

XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo

Buenos Aires 2022



*Suelos saludables,
sustento de la sociedad y el ambiente*

ACTAS Tomo 3

**Manejo y Conservación de Suelos y Aguas.
Riego y Drenaje**

ISBN: 978-987-48396-7-1

XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



XXVIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

RESÚMENES Y TRABAJOS EXPANDIDOS

Coordinadores

MARIO CASTIGLIONI

PATRICIA FERNÁNDEZ

SEBASTIÁN VANGELI

15 al 18 de noviembre de 2022

Buenos Aires – Argentina

Organizado por



Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo

XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo : Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente / coordinación general de Mario Castiglioni ; Patricia Fernández ; Sebastián Vangeli. - 1a edición especial - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - AACCS, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-48396-7-1

1. Biología del Suelo. 2. Conservación del Suelo. 3. Contaminación del Suelo. I. Castiglioni, Mario, coord. II. Fernández, Patricia, coord. III. Vangeli, Sebastián, coord. IV. Título.

CDD 631.407

Los trabajos de investigación, presentados al XXVIII CACS como resúmenes y como trabajos expandidos aquí publicados, fueron sometidos a evaluación por pares. Los compiladores no asumen responsabilidad alguna por eventuales errores tipográficos u ortográficos, por la calidad y tamaño de los gráficos, ni por el contenido de las contribuciones. Los trabajos de investigación se publican en versión online tal como fueron enviados en soporte informático por parte de los respectivos autores, con leves adaptaciones de sus formatos, con la finalidad de conferirles uniformidad entre ellos, de acuerdo con las normas previamente establecidas. La mención de empresas, productos y o marcas comerciales no representa recomendación preferente del XXVIII CACS-2022.

COMISIÓN DIRECTIVA DE LA AACS

Presidente: Mario Castiglioni

Vicepresidente: María Rosa Landriscini

Secretario: Raúl Cáceres Díaz

Prosecretaria: María Basanta

Tesorero: Osvaldo Barbosa

Protesorero: Daniel Riscosa

Secretaria de Actas: Patricia Carfagno

Miembros Vocales Titulares:

Mirta García (Coordinadora Comisiones Científicas)

Diego Cosentino

Sebastián Vangeli

Guillermo Studdert

Miembros Vocales Suplentes:

Alicia Irizar

Carolina Sotomayor

María Victoria Cremona

Silvia Imhoff

Revisores de Cuentas:

Marcos Bongiovanni

Federico Paredes

COMISIÓN ORGANIZADORA
XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Presidenta: Carina Álvarez (FAUBA)

Vicepresidenta: Patricia Carfagno (INTA)

Secretarias: Haydée Steinbach / Helena Rimski Korsakov (FAUBA)

Tesoreros: Federico Gómez / Mariela Echeverría (FAUBA)

Secretaria de Actas: María Marta Caffaro (FAUBA/CONICET)

Gestión de Contribuciones y Sesiones:

Mario Castiglioni (FAUBA)

Patricia Fernández (FAUBA/CONICET)

Filipe Behrends Kraemer (FAUBA/CONICET)

Sebastián Vangeli (FAUBA/INTA)

Federico Fritz (FAUBA/CREA)

Vocales:

Héctor Morrás (INTA/USal)

Luis Wall (UNQ/CONICET)

María Fernanda González Sanjuan (Fertilizar)

Celio Chagas (FAUBA)

Mónica Barrios (UNLZ)

Julieta Irigoin (INTA/UNLu)

Daiana Sainz (INTA/FAUBA)

Virgina Bonvecchi (UNLu)

Marcos Petrasek (UNLu)

Miguel A. Taboada (FAUBA/Carbon Group Agro-Climatic Solutions)

Raúl Lavado (FAUBA)

Comunicación visual y edición: Djasmine Deluca Alfano

NOMINA REVISORES DE RESUMENES TRABAJOS EXPANDIDOS Y SELECCIÓN PARA SU PRESENTACIÓN

Javier de Grazia

Haydée Steinbach

Julieta Irigoin

Marcos Petrasek

Luis Wall

Bárbara Mc Cormick

Virginia Bonvecchi

Johanna Ramírez

Ana Beatriz Wingeyer

Celio Chagas

Luis Lozano

Walter Carciochi

Liliana Suñer

Juan Manuel Martínez

Josefina Zilio

Nicolás Stahringer

Mónica Barrios

Maximiliano Eiza

Oscar Bravo

Lucas Moretti

Miriam Presutti

Cristina Angueira

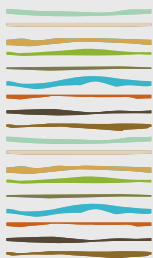
Cecilia Videla

Dorkas Andina

Gabriela Fernández

Laura Diez Yarade

Helena Rimski Korsakov



XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Patrocinan
Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

BUNGE

AMAUTA



Agradecemos el aporte económico de FONCyT - Agencia I+D+i Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, RC-2021-00062



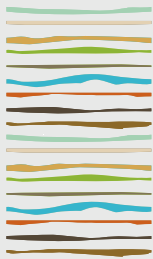


TABLA DE CONTENIDOS TOMO 3

MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS. RIEGO Y DRENAJE	928
EVALUACIÓN DE DIFERENTES GRAMÍNEAS INVERNALES COMO CULTIVOS DE COBERTURA ANTECESORES A MAIZ TARDIO	929
Aguirre, M.A. ^{1*} , M.R. Barraco ¹ , M.J. Rampo ² , P. Girón ³	
CRECIMIENTO Y RESPUESTA ANTIOXIDANTE DE SOJA SOBRE SUELOS SÓDICOS EN CONDICIONES DE MACETA Y CAMPO	935
Aimetta, M.B. ^{1*} , D.A. Bustos ² , V. Davidenco ³ , O.E. Gudelj ¹ , F. Salvagiotti ⁴	
TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y DE NDVI EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA Y SU RELACIÓN CON LOS ASCENSOS FREÁTICOS	941
Alsina, S.E. ^{1*} , E. G. Jobbágy ¹ , M. D. Nosetto ¹	
MAPAS TEMÁTICOS EN LA COLONIA HUACO DPTO. ANDALGALÁ. PROVINCIA DE CATAMARCA	942
Alurralde A.L. ¹ , C.S. ¹ , O. B. Pernasetti ¹ , C. E. Curchod, E. Cuenca ² , R. Kaen ³ , D. Prieto ⁴	
PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE	948
Alvarez C.R. ^{1*} , H.S. Steinbach ¹ , H. Rimski-Korsakov ¹ , E. A. Ciarlo ²	
LA INICIATIVA 4P1000: UNA META DIFÍCIL DE ALCANZAR EN SUELOS CULTIVADOS DE LA PAMPA ARGENTINA	953
Alvarez, Roberto	
CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE ESTEPAS EN PASTOREO QUE AFECTAN SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO	959
Aramayo, V. ^{1*} , B.M. García Falabella ² , M.V. Cremona ¹ , D.M. Nosetto ³	
FENÓMENO EL NIÑO Y PRODUCTIVIDAD DE PASTIZALES EN SUELOS CONTRASTANTES DE LA PAMPA DEPRIMIDA	960
Asad, J. ^{1*} , A.V. Eljall Qüesta ² , P. Preliasco ² , J.L. De Paepe ^{1,3}	



EFFECTO DEL DESMONTE SOBRE COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO Y LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA	966
Aschkar, G.M. ^{1*} , M.A. Luna ^{1,2} , G.I. Pellejero ¹ , L. Albrecht ¹ , J.C. Lobartini ³	
COSTRAS FÍSICAS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE ECOSISTEMAS SEMIARIDOS: IMPLICANCIA EN EL PROCESO DE EROSION EOILICA	967
F. AVECILLA ¹ , L.A. de Oro ^{1,2} , D. Rivas ² , E. Panebianco ¹ , D.E. Buschiazzi ¹	
EFFECTO DE DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ	968
Baigorria, T. ^{1*} , E. Balbi ¹ , V. Pegoraroni ¹ , B. Aimetta ¹ , J. Ortiz ¹ , P. Belluccini ¹ , M. Maury ¹	
EVALUACIÓN DE UN SUELO CON ALTA CONCENTRACIÓN DE SODIO INTERCAMBIABLE LUEGO DE APLICAR YESO AGRÍCOLA	973
Ballesteros J. ¹ , M. Barbazán ² , A. del Pino ³	
STOCK DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO EN SISTEMAS PASTORILES	974
Banegas, N.R. ^{1,2} , E. Viruel ^{1*} , J.A. Nasca ¹	
STOCK DE CARBONO EN DIFERENTES SECUENCIAS AGRÍCOLAS EN HAPLUDOLES DE LA PAMPA ARENOSA	975
Barraco, M.R. ^{1*} , P. Girón ²	
IMPACTO DEL MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ TARDÍO	976
Barraco, M. ^{1*} , C. Álvarez ² , P. Girón ³ , M.A. Aguirre ¹	
CARBONO ORGÁNICO Y ESTABILIDAD EN SECUENCIAS CON CULTIVOS DE COBERTURA EN SANTA FE REGIÓN CENTRO	982
Basanta, M. ^{1*} , G. Tugores ² , P. Bernardi ²	
EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA DENSIDAD APARENTE Y LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO	987
Basanta, M. ^{1*} , P. Bernardi ² , G. Tugores ²	
RESPIRACIÓN EN MUESTRAS DE SUELO RE-HUMEDECIDAS COMO INDICADOR DE SALUD EDÁFICA	994
Bassi L. ^{1,2*} , S. Tourn ² , N. Wyngaard ³ , G.V. García ^{2,3} , C. Crespo ^{2,3} , W.D. Carciochi ^{2,3} , C. Rivero ³ , H.R. Sainz Rozas ^{2,3} , G.A. Studdert ²	
DISEÑO Y CALIBRACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA	999
Bellanich, A.E. ^{1*} , P.E. Demin ¹ , I.P.M. Alvarez ¹	



ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES A FUTURO EN CAÑADA DE GÓMEZ, SANTA FE	1000
Dickie, M.J. ^{1*2} , V.A. Anibalini ² , A. Coronel ²	
ESTUDIO DE INFILTRACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS EN SUELO DE CORRALES DE FEEDLOT	1001
Diez, M. ^{1*} , M. Barraco ¹ , M.C. Sardiña ¹	
BALANCE DE CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE EN DIFERENTES USOS Y MANEJOS DEL SUELO	1006
Digüero, N. ^{1*} , M.A. Luna ¹ , L.M. Molina ¹ , H.J. Hernández ¹ , P.I. Pesatti ¹ , G.M. González ²	
EFFECTO DEL RIEGO SOBRE PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DE ARGIUOLES TÍPICOS DEL SUDESTE BONAERENSE	1007
Domínguez, G.F.*; M. de los A. Agostini	
EVALUACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO EN ESTABLECIMIENTOS CON DISTINTOS NIVELES DE INTENSIFICACIÓN	1008
Domínguez, G.F. ^{1*} ; M. de los A. Agostini ¹ , C. Crespo ^{1,2} ; D.R. Martínez ¹ ; M.R. Di Nápoli ³ ; J.H. Gonzalez Montaner ³	
UTILIZACIÓN DE CULTIVOS DE SERVICIO PARA MEJORAR SUELOS DEGRADADOS Y EL RENDIMIENTO DE <i>PHASEOLUS VULGARIS</i>	1009
Ducci, A. ^{1,2*} , C. Abán ¹ , J. Huidobro ² , M. Acreche ^{1,2} , y C. Pérez Brandan ^{1,2}	
EVALUACIÓN DE CULTIVOS DE SERVICIO INVERNALES PARA EL SUDOESTE BONAERENSE	1010
Duval, M.E. ^{1,2*} , M. De Lucia ¹ , E. Rodriguez ¹ , M. Bouza ¹ , L. Rodriguez ¹	
DETERMINACIÓN DEL CARBONO Y SUS FRACCIONES EN SISTEMAS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS EN SANTA FE, ARGENTINA	1017
Biggeri, M.E. ^{1*} , M.A. Arena Benavídez ¹ , J.A. Vetta ¹ , P.L. Fernández ^{1,2} , F. Behrends Kraemer. ^{1,2}	
USO DEL SUELO, ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL Y STOCKS DE C EN EL CENTRO BONAERENSE	1018
Bocchio, M.V. ¹ , S.A. Mestelan ^{1*} , A.G. Alonso ¹ , M. Curto ¹ , N.M. Ramos ¹ , A. Bertolami ¹ , J. Gutiérrez ¹ , J. Marchessi ¹ , E.C. Requesens ¹ , A. Lencina ^{1,2}	
ÍNDICE DE QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-HIDRICA DE SOLOS CULTIVADOS COM SOJA	1022
Bocuti, D.E. ^{1*} , Amorim, R. S. S. ² , DI Raimo, L. A. DI L. ¹ , Weber, O. L. S. ¹ , Azevedo, E. C. ¹ , Jardini, D. C. ¹	



PROPIEDADES Y PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN HUMEDALES COSTEROS DEL NORESTE BONAERENSE	1028
Boff, L.D. ^{1,2,*} , P. Ontivero ^{1,2} , E. Sosa Fabre ³ , J. Salduondo ^{1,3}	
CULTIVOS DE COBERTURA Y GESTIÓN DEL AGUA DEL SUELO EN EL BARBECHO	1034
BONVECCHI V.E. ^{1*} , N. NIVOIDA ¹ , J. IRIGOIN ¹ , L. BULOS ¹ , M. PETRASEK ¹ , J.A. RAMIREZ ¹ , G. FERNANDEZ ¹	
FERTILIZACIÓN Y CULTIVOS DE COBERTURA EN UN OLIVAR DEL SUDOESTE BONAERENSE	1040
M.A. Busso ^{1y2} , L.G. Suñer ^{1y2} , R.A. Rodriguez ¹	
IMPACTO ECONÓMICO Y PRODUCTIVO SOBRE EL PUERTO DE DIAMANTE AL SISTEMATIZAR UNA SUBCUENCA	1041
Cabrera, A.M. ^{1*} S.N. Roda ¹ , C.A. Heinze ¹ , M.F. Saluzzio ¹ , J.J. Gvozdenovich ^{1,2}	
ALTERNATIVAS DE MANEJO POSTERIOR A LA ROTACIÓN CON MANÍ EN EL SUDOESTE DE CÓRDOBA	1048
Canale A. ^{1*} , M. Toledo ¹ , J.C.Colazzo ²	
ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): I) REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN	1049
Cantero, C.C. ^{1*} , G.V. García ^{1,2} , S. Rodriguez ¹ , S.N. Tourn ¹ , G.A. Studdert ¹	
ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): II) REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	1055
Cantero, C.C. ^{1*} , G.V. García ^{1,2} , S. Rodriguez ¹ , S.N. Tourn ¹ , G.A. Studdert ¹	
EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES POR EROSIÓN HÍDRICA EN MONOCULTIVO DE SOJA	1061
Capurro, J.E. ^{1*} y S. Montico ²	
APORTES AL SUELO DE MACROELEMENTOS PROVENIENTES DE DIFERENTES ESPECIES DE CULTIVOS DE COBERTURA	1062
Capurro, J.E. ^{1*} y S. Montico ²	
COMPORTAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DE ENTRE RÍOS	1063
CASTIGLIONI, M.G. ^{1*} , E. GABIOUD ² , C. SASAL ² , M. WILSON ² , M. SEEHAUS ²	
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS EN UNA MICROCUENCA: EFECTO DEL USO DE LA TIERRA	1064
Castiglioni, M.G. ^{1*} , L.A. Gusmerotti ² , A. Espíndola ² , S. B. Havrylenko ² , J. C. Lisa ³ , J.D. Laghi ⁴ .	



QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA SOB ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO	1070
Centeno, B.M. ^{1*} , V.J.L.P. Simões ² , J.S. Ramos ¹ , R.D. Daneluz Rintzel ³ , T.H. Lima ⁴ , P.C.F. Carvalho ⁵	
CARBON SCALED-NITROUS OXIDE EMISSIONS FROM SOYBEAN AND MAIZE IN THE ARGENTINE DRY CHACO REGION	1075
Chalco-Vera, J. ^{1*} , M. Acreche ¹	
STOCK DE CARBONO ORGÁNICO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE	1076
Ciarlo, E. A. ^{1*} , H. S. Steinbach ² , C. R. Alvarez ² , H. Rimski-Korsakov ²	
EROSION EN CÁRCAVAS EN SIERRAS Y LLANURAS: TIPOS, DINÁMIC Y UMBRAL TOPOGRÁFICO	1081
Cisneros J.M. ¹ , A.J. Degioanni ¹ , J.G. González ¹ , S. Cabrera ¹ , J.A. Corigliano ¹ , C. Bozzer ¹ , L. Bergesio ¹ y C.G. Cholaky ¹	
CULTIVOS DE COBERTURA Y CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA EN SUELOS DE DIFERENTE GRANULOMETRÍA	1087
Colazo, J.C. ^{1,2*} , M.I. Genero ³ , M. Monetti ⁴ , P. Peralta ¹	
RIESGO A LA EROSIÓN EÓLICA EN DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL SUR DE CÓRDOBA	1090
Colazo, J.C. ^{1,2*} , E. Scherger ³ , R. Torregrossa ⁴ , C. Álvarez ⁵ , S. Almirón ⁶	
EFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LAS FRACCIONES DE AZUFRE Y NITRÓGENO EN EL SUELO	1094
CRESPO, C. ^{1,2*} , N. WYNGAARD ^{1,2} , H.R. SAINZ ROZAS ^{1,2,3} , G.A. STUDDERT ¹ , M. BARRACO ⁴ , V. GUDELJ ⁵ , P. BARBAGELATA ⁶ , P.A. BARBIERI ^{2,3}	
EFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO	1099
Crespo, C. ^{1,2*} , N. Wyngaard ^{1,2} , H.R. Sainz Rozas ^{1,2,3} , G.A. Studdert ¹ , M. Barraco ⁴ , V. Gudelj ⁵ , P. Barbagelata ⁶ , P.A. Barbieri ^{2,3}	
APORTE DE CARBONO ORGANICO DE DIFERENTES CULTIVOS DE SERVICIO INVERNALES EN CATAMARCA	1105
Curchod C. S.* ¹ , S. R. Viale ² , J. D. Plaza ² , O. B. Pernasetti ¹ , S. Bustos ³ , D. Rivera ⁴ , A.F. Cordoba ¹	
EROSIÓN Y ERODABILIDAD EN EL ENTRE SURCO EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO PERGAMINO	1106
Darder, M.L. ¹ , C. Sasal ² , A. Andriulo ¹ , M.G. Castiglioni ^{3*}	



EFFECTO DE DESMONTES Y ABANDONO DE OLIVARES EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL SUELO	1112
de Bustos, M.E. ^{1*} , A.E. Bellanich ¹ , E.R. Quiroga ¹ , R.J. Ahumada ¹	
DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EN SEDIMENTOS SALTABLES DE SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD	1113
DE ORO, L.A. ^{1,3} , P. HERNANDEZ ¹ , L.A. ITURRI ^{2,3} , D.E. BUSCHIAZZO ³	
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ANEGAMIENTO PARA EL CULTIVO DE TRIGO EN LA REGIÓN PAMPEANA	1114
De San Celedonio, R.P. ^{1*} , S. Alvarez Prado ^{2,3} , J.R. Micheloud ^{1,4,5} , J.P. Cileiro ^{6,7}	
BIOACUMULACIÓN DE PLAGUICIDAS EN BIOFILMS EPILÍTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO QUEQUÉN GRANDE, ARGENTINA	1120
Fernandes, G. ^{1*} , V.C. Aparicio ^{2,3} , E. De Gerónimo ^{2,3} , D. Santos ² , J.L. Costa ² , D. Rheinheimer Dos Santos ¹	
EL USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS COMO ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS TABACALEROS	1121
Fernandez, G.S. ^{1*2} , G. del C. Zankar ² , F.E. Altamirano ^{2,3} , L.G. Diez Yarade ² , J. Zubieta ¹ , W. Segovia Salazar ¹ , R. Kunz ³ , R. Sato ² y C. Ceballos ⁴	
EFFECTO DE LA DESCOMPACTACIÓN DE SUELO SOBRE LA BIOMASA DE RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA	1122
Fernández, R. ^{1,2} , I. Frasier ^{1,3} , C. Álvarez ¹ , A. Quiroga ^{1,2}	
FERTILIZACIÓN DE PASTURA DE ALFALFA EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA	1126
Fernández, R. ^{1,2*} , C. Álvarez ¹ , M. Saks ³ , A. Quiroga ^{1,2}	
INFLUENCIA DE MANEJOS DE CONTROL DE MALEZAS SOBRE PROPIEDADES HIDRAULICAS EN SUELOS KANDIUDULTES DE MISIONES	1132
Florentin J.L. ^{1*} , S.E. Barbaro ¹ , C.I. Chagas ²	
CONTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA A LAS RESERVAS DE CARBONO DEL SUELO	1133
Frasier, I. ^{1,2*} ; S. B. Restovich ³	
ESTUDIO DEL SI EN LA INTERACCION CON METALES PESADOS DEL CULTIVO DE <i>TRITICUM AESTIVUM</i> Y SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE.	1139
Frayssinet, C. ^{1,2*} , L. Hernandez-Apaolaza ³ , M. Osterrieth ² , V. Echevarría ³ , N. Borrelli ^{1,2} , M. Fernández Honaine ^{1,2} , J.E. Marcovecchio ⁴ .	



MONITOREO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL SUELO EN ÁREAS DE RESGUARDO AMBIENTAL CON CONTROL MECÁNICO DE MALEZAS	1140
Gabioud, E.*; M. Seehaus, N. Van Opstal, C. Sasal, M. Wilson, A.B. Wingeyer, R.J. Crespo	
NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): ¿ES POSIBLE REDUCIR EL TIEMPO DE INCUBACIÓN A DOS DÍAS?	1141
García, G.V. ^{1,2,*} , N. Wyngaard ^{1,2} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} ; G.A. Studdert ¹	
RESISTENCIA DEL SUELO A LA PENETRACIÓN BAJO SISTEMAS DE LABRANZA EN LA PRODUCCIÓN MECANIZADA DE GRANOS	1147
García, R. ¹ , C.A. Leguizamón ^{1*} , J.C. Lochs ² , S. Holzbach ³ , N.A. Céspedes ¹ , M. Samaniego ¹	
EFFECTO DE LA FUENTE Y DOSIS DE YESO SOBRE LA SALUD FÍSICA EN SUELOS REGADOS	1151
García, G.V. ^{1,2,*} , W.D. Carciochi ^{1,2} , J. Chevallier Boutell ¹ ; N. Diovisalvi ³ ; P. Iglesias ¹ ; N. Wyngaard ^{1,2} ; C. Crespo ^{1,2} ; H.R. Sainz Rozas ^{1,2,4} ; N.I. Reussi Calvo ^{1,2}	
MANEJO POR AMBIENTES EN SUELOS MARGINALES: EFECTOS DE LA ALCALINIDAD EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ	1157
Garello, F.J. ^{1*2} , M. Cicchino ¹ , E.M. Melani ¹	
AGRICULTURA EN LA PAMPA INUNDABLE: ¿QUE SUCEDE CON LAS SALES?	1161
Garello, F.J. ^{1*2} , E.M. Melani ¹ , M.A. Taboada ²	
¿INFLUYE EL PASTOREO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE EL FÓSFORO DEL SUELO?	1165
Giannini, A.P. ¹ , D.C. Hortis ² , S. B. Restovich ¹ , J. O. Scheneiter ³ , J. Mattera ³ , E. Pacente ³ , L. Garro ⁴⁵	
INDICADORES DE CAMBIOS EN PROPIEDADES EDÁFICAS BAJO RIEGO COMPLEMENTARIO BASADOS EN MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	1166
Gómez, A. ¹ , M. S. Iseas ¹ , C.M. Sainato ^{1*} .	
PLANTAS DE COBERTURA DE OTOÑO-INVIerno EN LA PRODUCCIÓN DE GRANOS DE SECANO EN CAMPOS BAJOS DE MISIONES, PARAGUAY	1167
González, A.F. ¹ , C.A. Leguizamón Rojas ^{1*} , M.M. Cubilla ² , G. Heisecke ³ , P. Villalba ¹ , Ch. González ¹ , M.D. Samaniego ¹	
CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR GEOMORFOLÓGICA Y PEDOLÓGICA DE UNA MICROCUENCA AGROPECUARIA	1168
Gregorini, C.A. ^{1,2*} , M.G. Ares ^{1,2,3} , C. Chagas ⁴ , M.J. Arrouy ¹ , D. Moris ³ , Y. Aispún ³	



EMISIONES DE OXIDO NITROSO EN SECUENCIAS AGRICOLAS CON DIFERENTE CONFIGURACIÓN	1174
Gregorutti, V.C. ^{12*} , V. Hasenauer ² , L.E. Novelli ¹² , O.P. Caviglia ²	
BENEFICIO DE LA SIEMBRA VARIABLE DE MAÍZ EN UN SUELO CON HORIZONTE PETROCÁLCICO	1175
Grosso, J.A. ^{1*} , L. Lázaro ¹ , C. Bongiorno ¹ , J.M. Ressia ^{1 1175}	
EVALUACIÓN DEL ENCALADO SOBRE LA ACIDEZ DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	1181
Gudelj, V. J. ¹ , H. Ghío ² , M. Castagnino ² , J. Orazi ² , R. Garcia ² , M. Pelagagge ² , J. Aletta de Sylvas ³ , F. Bardeggia ² , G. Beltramo ² , M.B. Conde ¹ , O.E. Gudelj ¹ , C.A. Lorenzon ¹ , R.D. Seravalle ¹ , L.A. Pereyra ¹ , F. Garcia ⁴	
UNA PROPUESTA PARA LA SISTEMATIZACION DE 70.000 HECTÁREAS EN LA MICROREGIÓN CRESPO Y SUS ALDEAS	1187
Gvozdenovich, J.J. ^{1,2} , M. Saluzzio ² , R. De Carli ¹ , E. Behr ¹ , R. Melchiori ¹ ; L. Novelli ^{1,2} , C. Píoto ¹ , M. Martinez ¹ , A. Farall ³ , M. Farall ⁴ , N. Florencio ⁴ , A. Mendez ⁵ , A. Alanis ⁶ , M. Gallinger ⁷ , M. Sonzogni ⁸ , G.A. Piérola ² , L.R. Steger ² , C.A. Heinze ²	
EL NAN Y EL N-POM COMO EVALUADORES DE SISTEMAS AGRONÓMICOS INTENSIVOS	1188
Hapel L. ¹ , A. Herrera Tobón ¹ , M. Semmartín ^{1,2} , B. Benedit ³ , A. Peper ³ , D.Cosentino	
EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN SECUENCIAS CON DIFERENTE INTENSIFICACIÓN	1189
Hasenauer, V.B. ^{1*} , V.C. Gregorutti ^{1,2} , L.E. Novelli ^{1,2}	
IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL ARROYO DE LA ENSENADA	1190
Heinze, C.A. ¹ , J.J. Gvozdenovich ^{1,2} , M.F. Saluzzio ¹	
EL PASTOREO DE CULTIVOS DE COBERTURA: ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN Y CONSERVAR EL SUELO	1196
Hortis, D.C. ¹ , S. B. Restovich ^{2*} , J. O. Scheneiter ^{1,3} , J. Mattera ³ , E. Pacente ³ , M.J. Beribe ^{1,4} , L. Garro ⁵ Huespe, D.S. ^{1*} , J.A. Galantini ² , C. Álvarez ³	
LECHUGA REGADA CON AGUA DE DIFERENTE CALIDAD. EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO	1202
Huespe, D.S. ^{1*} , J.A. Galantini ² , C. Alvarez ¹	
CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO POR INTRODUCCIÓN DE MISCANTHUS X GIGANTEUS	1207
Irizar, A. ^{1*} , L. Milesi ¹ , A. Andriulo ¹ , F. Villalba ¹ , D. Colombini ¹ , F. Rimatori ¹	
COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA DETERMINACIÓN DE BIOMASA DE RAÍCES	1208
Kehoe, E ¹ , F. Salvagiotti ¹	



CAMBIOS EN EL CARBONO ORGANICO DEL SUELO POR INTENSIFICACION DE ROTACIONES	1209
Kehoe, E. ^{1,2} , S. Bacigaluppo ² , J.M Enrico ² , F. Salvagiotti ^{1,2*}	
ACIDEZ ATIVADA E POTENCIAL DO SOLO COMO INDICADOR DE SUA QUALIDADE COMO DIFERENTES MANEJOS EM UMA PLANÍCIE ALUVIAL NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE (SUL DO BRASIL)	1210
Kroner Bresciani Teixeira, A. ^{1*} , E. Ribeiro ² , A.P. Martins ³ , P.C. Nascimento ⁴	
EFFECTOS DE RIEGO COMPLEMENTARIO SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE ARGIUDOS DEL SUDESTE BONAERENSE	1214
López de Sabando, M.J. ¹ , J.M. Gutierrez ² , C. R. Alvarez ³ , H Rimski-Korsakov ³ , M. Díaz-Zorita ⁴	
APLICACION DE INDICADORES DE SUELOS Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LA GESTION DEL RIEGO COMPLEMENTARIO	1220
López de Sabando, M.J. ¹ , J.M. Gutierrez ² , M. Díaz-Zorita ³	
PRODUCTIVIDAD DE ALFALFARES EN GRADIENTES DE PROFUNDIDAD Y DIFERENTES CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS NAPAS EN UN PAISAJE SEMIÁRIDO DE SAN LUIS	1226
Lorenzo S. ^{4*} , J.C. Colazo ^{1,2} , J.M. de Dios Herrero ^{3,6} , C. Saenz ¹ ; E.G. Jobbagy ⁵ , J. Houspanossian ⁵ , P. Peralta ⁴	
EFFECTO A LARGO PLAZO DE DIFERENTES LABRANZAS SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS DE UN PALEUDOL PETROCALCICO	1232
Manso, M.L. ^{1,*}	
EFFECTO DE AGRICULTURA CONTINUA Y CULTIVO DE COBERTURA EN UN SUELO DEL CENTRO-SUR BONAERENSE. I-PROPIEDADES FÍSICAS	1233
Zamora, M.S. ^{1*} , M.L. Manso ¹ ; R. Caro ² , D. Croce ²	
EVALUACIÓN DE LA DURACIÓN DEL BARBECHO COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD EN LA AGRICULTURA PAMPEANA	1234
Marconato, U. ^{1,2*} , G. Posse ¹	
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	1240
Micheloud, E.N. ^{1*} , J. Bocco ² , R.P. Marano ^{1,2}	
CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS FRANCOLIMOSOS COMO ANTECESORES DE ALGODÓN EN SIEMBRA DIRECTA	1241
Mieres L.N. ^{1*} , M.S. Roulet ² , M.J. Sandoval ¹ , H. Lorenzini ¹ , J.M. Spontón ¹	
TASAS DE SECUESTRO SIMULADAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS Y MANEJOS	1242
Milesi Delaye, L.A. ¹ , A. Irizar ¹ , S. Restovich ¹ , A. Andriulo ¹	



FERTILIZACIÓN Y ASOCIACIÓN DE CULTIVOS HORTI-FLORICOLAS: IMPACTO SOBRE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y CARBONO TOTAL DEL SUELO	1243
Mónaco, J.M. ¹ , A.C. Sokolowski ^{1*} , B. Prack Mc Cormick ¹ , H. Rodriguez ¹ , J. Wolski ¹ , M. Barrios ¹ , J. De Grazia ¹ , I. Paladino ^{1,2} , S. Debelis. ¹	
DINÁMICA DEL AGUA EN EL CULTIVO DE MAÍZ: EFECTO DEL RIEGO POR SURCOS ALTERNOS	1244
Neffen, E. ^{1,2} , R.S. Martínez ^{1,2} , L.G. Reinoso ^{1,2}	
RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS CON CULTIVO DE NOGAL EN BELÉN, CATAMARCA	1249
Nieto, M.I. ^{1*} , M.E. de Bustos ¹ , O. Bulacios Muñiz ² , L. Brizuela ¹ , A.E. Bellanich ¹	
¿CÓMO AFECTA LA SALINIDAD DEL AGUA FREÁTICA A LOS CULTIVOS DE SOJA, MAÍZ Y TRIGO?	1250
Nosetto, M.D. ^{1*} , S. Alsina ¹ , S.I. Ballesteros ¹ , M.E. Beget ² , R. Giménez ¹ , J. Houspanossian ¹ , J.I. Whitworth-Hulse ¹ , R.A. Páez ¹ , M. Poca ¹ , E.G. Jobbágy ¹	
EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y SU PASTOREO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA ÚTIL	1251
Parra, B.J. ^{1*} , R. Marzari ^{1,2} , M. Rodríguez ¹ , F.S. Cabrera ¹ , M.D. Bongiovanni ^{1,2} .	
ENMIENDAS ORGÁNICAS Y CULTIVO DE COBERTURA: SU IMPACTO SOBRE EL SUELO	1252
Pellegrini, A.E. ^{1*} , A.M. Chamorro ² , R. Bezus ² , A. Voisin ^{3,4} , B. Iltis ¹ , I. Falcon ¹ , S.I. Golik ⁴	
EFFECTO DE LA CLAUSURA SOBRE UN SUELO CON PASTREO CONTINUO	1257
Pellegrini, A.E. ^{1*} , A. Frias Calvo ¹ , V.R.A. Bolaños ² , R.A. Golluscio ³ , M.C. Vecchio ²	
EVALUACIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURA FRENTE A LA EROSIÓN EÓLICA EN LA CUENCA EL MORRO	1262
Peralta, P.E. ^{1*} & J.C. Colazo ^{1,2}	
CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA CON CULTIVOS DE COBERTURA EN LA CUENCA EL MORRO (SAN LUIS)	1263
Peralta, P.E. ^{1*} , S. Lorenzo ¹ & J.C. Colazo ^{1,2}	
IMPACTO DE LA LEGISLACIÓN CONSERVACIONISTA EN UNA CUENCA DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	1268
Pérez, M.R. ^{1*} , M.E. Vicondo ²	



VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS Y AGUA LUEGO DE 12 AÑOS DE AGRICULTURA CONTÍNUA EN DOS SUBCUENCAS DE ENTRE RÍOS	1269
Piérola G.A.* ¹ , L.R. Steger ^{1,2} , C.A. Heinze ¹ , M.F. Saluzzio ² , J.J. Gvozdenovich ^{1,2}	
VALIDACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE ESCENARIOS DE COBERTURAS. CUENCA ARROYO ESTACAS (ENTRE RÍOS)	1275
Pighini, R.J. ^{1*} , A.B. Wingeyer ^{1,2} , M.G. Wilson ² , L.B. Rodriguez ³	
PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN DE BOSQUES NATIVOS (PNRBN)	1276
Portocarrero, R. ^{1*} , H. Sanchez ¹ , M. Seehaus ² , E. Gabioud ² , C. Sasal ²	
CULTIVOS DE COBERTURA Y EMISIONES DE N₂O EN LA REGIÓN HUMEDA Y SEMIÁRIDA PAMPEANA	1277
Posse, G. ^{1*} , I. Frasier ^{2,4} , S. Restovich ³ , S. Vangeli, S ^{1,4,5} . S. Vargas Gil ^{4,6}	
ESTIMACIÓN DEL APOORTE DE CARBONO HUMIFICADO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE	1282
Presutti, M.E. ¹⁻³ , L.A. Gusmerotti ¹ , E.A. Abbona ²⁻³	
APOORTE DE CARBONO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE	1288
Presutti, M.E. ¹⁻³ , L.A. Gusmerotti ¹ . E.A. Abbona ²⁻³	
INTENSIFICACIÓN CON CULTIVOS DE SERVICIO: ECONOMÍA DEL AGUA Y APOORTE DE CARBONO DE LA BIOMASA	1293
Prieto-Angueira, S. ^{1,2*} , E. Schefer ³ , M.C. Berton ³ , M. Lescano ¹ , M.C. Ochoa ² , A. Azar ¹ , P. Savino ¹ , A. Anriquez ²	
LA MEJORA EN LA REPOSICIÓN DE AGUA EN SUELOS Y ACUÍFERO FREÁTICO EN EL SUDESTE BONAERENSE. PRIMEROS RESULTADOS	1294
Puricelli, M.M. ¹ , M.J. Eiza ¹	
CONTRIBUCIONES DEL SISTEMA RADICULAR DEL BIOMA PAMPA CONTRA LA PERDIDA DE SUELO POR EROSION HIDRICA	1295
Quicaña, A.D.C. ^{1*} , C.G. TORNQUIST ² , C.H. GAMBOA ¹ , F.C.B. VIEIRA ³	
CARACTERIZACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO Y SUBCUENCAS EN LA PAMPA INTERIOR	1296
Rainhart, L. ¹ ; Peinetti, H.R. ¹ ; Noellemeyer, E.J. ¹	
CULTIVOS DE COBERTURA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS SIMPLIFICADOS PARA MEJORAR LA AGREGACIÓN DEL SUELO	1302
Ramírez, J.A. ^{1*} , J. Irigoín ¹ , L. Bulos ¹ , M.R. Petrasek ¹ , V.E. Bonvecchi ¹	



AUMENTO EN LA SUPERFICIE OCUPADA POR DOS ARROYOS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS	1303
Regner, G. ^{1*} ; S.A. Gianotti ¹ ; J.D. Marticorena ¹ ; E. Lonardi ¹ ; M.F. Saluzzio ¹ ; G.A. Piérola ¹ ; L.R. Steger ¹ ; C.A. Heinze ¹ ; J.J. Gvozdenovich ^{1,2}	
CULTIVOS DE COBERTURA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA: IMPACTO A LARGO PLAZO SOBRE LAS RESERVAS ORGÁNICAS EDÁFICAS	1304
Restovich, S.B. ^{1*} , S.I. Portela ¹ , A.E. Andriulo ¹ , F. Ferchaud ² , N. Beaudoin ²	
MONITOREO EDÁFICO EN SITUACIÓN DE MANEJO DE BOSQUES CON GANADERIA INTEGRADA EN EL ESPINAL CORRENTINO	1309
Rey Montoya, T.S. ^{1,2*} , J.P. Matteio ¹ , C.E. Grancic ^{1,2} , G.M. Pereyra ² , M.V. Maurig ³	
CAMBIOS EN EL TIEMPO DE AGITADO PARA DETERMINAR CARBONO OXIDABLE CON PERMANGANATO DE POTASIO (COXP)	1310
Ricciuto, D.J. ^{1*} , S. Rodriguez ¹ , S.N. Tourn ¹ , G.V. Garcia ^{1,2} , G.A. Studdert ¹	
CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN PARA DETERMINAR CARBONO OXIDABLE CON SOLUCIÓN DE PERMANGANATO DE POTASIO (COXP)	1316
Ricciuto, D.J. ^{1*} , S. Rodriguez ¹ , S.N. Tourn ¹ , G.V. Garcia ^{1,2} , G.A. Studdert ¹	
CARBONO ORGANICO Y FRACCIONES BAJO DIFERENTES USOS EN SUELOS DE LA RESERVA PROVINCIAL "SANTA CATALINA"	1321
Rodriguez, H.A. ^{1,2*} , J. De Grazia ^{1,2} , F.T. Blanco Rodriguez ¹ , B.P. Prack McCormick ^{1,2} , A.C. Sokolowski ^{1,2} , I.R. Paladino ^{1,3} , S.P. Debelis ^{1,2} , M.B. Barrios ^{1,2}	
SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA Y SU RELACIÓN CON PARÁMETROS EDÁFICOS EN PATAGONES	1322
Rodriguez, E. ¹ , J.C. Colazo ² , J.I. Vanzolini ^{3,1} , L. Zubiaga ³	
CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO BAJO CAMPO NATURAL Y MEJORAMIENTOS DEGRADADOS EN EL LARGO PLAZO	1328
Rogel, L. ^{1*} , L. Salvo ² , M.V. Pravia ¹	
IMPACTO DE SECUENCIAS CON CENTENO Y VICIA EN EL CARBONO DEL SUELO	1329
Rojas, J.M. ^{1*} , L.S. Czyruk ^{1,2*} , M.F. Roldán ^{1,2} , M.B. Burdyn ²	
TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA APLICADA A LA INFILTRACION EN SUELOS AGRIETADOS	1330
Romay, C. ^{1*} , B.N. Losinno ^{1*} , F. Lemeillet ^{1*}	



USOS DE LA TIERRA QUE PERMITEN SOSTENER EROSIÓN TOLERABLE EN UNA CUENCA DE PAMPA ONDULADA	1331
Romo, S.M. ¹ , S. Vangeli ^{1,2} , F.B. Kraemer ^{1,3} , C.I. Chagas ¹	
ANÁLISIS DE LA HETEROGENEIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOS-HIDROLÓGICOS DEL SUELO EN DISTINTOS CULTIVOS DEL SUDESTE BONAERENSE	1332
Ronco, J.L. ¹ , P.A. Barbieri ¹ , F. Covacevich ² , M. Puricelli ^{1*}	
CULTIVOS DE COBERTURA: EFECTOS SOBRE EL ESTADO HÍDRICO DE UN ARGUJOL DEL SUDOESTE BONAERENSE	1338
de Sá Pereira, E. ¹ , G. Arroquy ¹ , G. Minoldo ² , J. Iglesias ² , D. Morris ¹ , J. Galantini ³	
CULTIVO DE SERVICIO: EFECTO SOBRE LA INFILTRACIÓN EN UN ARGUJOL DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	1339
Sainz, D. ^{1,2*} , C. Contreras ³ , L. Magri ³ , M. Beltran ^{1,4} , F. Becerra ¹ y P. Carfagno ¹	
EVALUACIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVO EN SISTEMAS SIN LABRANZAS BAJO RIEGO	1340
Salgado, R. ^{1*} , M.C. Sánchez ^{1,2} , J.I. Salvatierra ¹ , E. Raña ²	
EVALUACIÓN DE GRAMÍNEAS ESTIVALES PARA EMPASTADO DE CANALES COLCETORES	1346
Saluzzio, M. ¹ , J.J. Gvozdenovich ^{1,2} , M. Rey. ¹	
DISTRIBUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO BAJO SECUENCIAS AGRÍCOLAS CON RIEGO EN UN SUELO DEL CHACO SEMIÁRIDO	1351
Sanchez María C. ^{1*2} ¹³⁵¹	
EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LA SECUENCIAS MAÍZ- SOJA INCLUYENDO DISTINTOS CULTIVOS DE SEVICIO	1356
Sanmarti N., Y.Z. ^{1*} , S. Bacigaluppo ¹ , R. Pozzi ² , E. Tecco ² , M Treu ² , F. Salvagiotti ^{1,3}	
CONSUMO Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN SECUENCIAS AGRÍCOLAS CON DISTINTO GRADO DE INTENSIFICACIÓN	1357
Sanmarti, N ^{1*} , S. Bacigaluppo ¹ , F. Salvagiotti ^{1,2}	
RELACIÓN ENTRE VARIABLES ATMÓSFERICAS, PROPIEDADES Y RESPIRACIÓN DEL SUELO POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE POLIETILENGLICOL	1358
Santos A. I. ^{1,2,*} , K.F.F. Canteral ¹ , W.B. De Lucena ¹ , M.E. Vicentini ¹ , F.L. Siansi ¹ , J.C. Guerra ¹ , A.R. Panosso ¹ , N. La Scala Jr. ¹ .	
¿SE REDUCEN LAS PERDIDAS DE CARBONO DEL SUELO VIA CO₂, AUMENTANDO LA VISCOSIDAD DEL AGUA?	1359
Santos, A. I. ^{1,2,*} , K.F.F. Canteral ¹ , W.B. De Lucena ¹ , M.E. Vicentini ¹ , F.L. Siansi ¹ , J.C. Guerra ¹ , A.R. Panosso ¹ , N. La Scala Jr ¹ .	



INFLUENCE OF THE APPLICATION OF BY-PRODUCTS FROM LIME MINING ON SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES	1360
Santos, L. B. M. ^{1*} Moura, J. B. ^{1,2} Souza, R. F. ^{1,3} Santos, J. M. ¹ Dias, T. V. ¹ Barbosa, T. S. ¹	
ANÁLISIS ESPACIAL ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA Y PROPIEDADES DEL SUELO USANDO HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN	1361
Sartor, P.D. ^{1*} , M.L. Masseroni ¹ , C.M. Aumassanne ¹ , D.R. Fontanella ¹ , D.S. Sainz ^{2,3} , C.D. Zamora ¹ , C.O. Álvarez ⁴ , C.M. Di Bella ⁵	
INFLUENCIA DE LAS CONSTANTES HIDRICAS DEL SUELO SOBRE LA PRODUCCION DE ALFALFA BAJO RIEGO EN 25 DE MAYO, LA PAMPA	1362
Sartor, P.D. ^{1*} , M.L. Masseroni ¹ ; D.S. Sainz ^{2,3} , C.M. Aumassanne ¹ , D.R. Fontanella ¹ , C.D. Zamora ¹ , C.O. Álvarez ⁴ , M.A. Taboada ⁵	
EFFECTO EN EL TIEMPO DE LA DESCOMPACTACIÓN MECÁNICA EN UN HAPLUSTOL IRRIGADOS BAJO SIEMBRA DIRECTA	1363
Savino, P. ^{1*} , N.A. Gomez ¹	
CAMBIOS A CORTO PLAZO EN VARIABLES FÍSICAS Y CARBONO DEL SUELO EN SECUENCIAS ROTACIONALES CON SOJA	1367
Scaglione, J. ^{1*} , S. Montico ^{1,2} , G.A. Montero ^{1,2}	
¿EL CAMBIO CLIMÁTICO Y USO DEL SUELO, TIENEN IMPACTO EN EL NIVEL FREÁTICO?	1372
Scarabotti, D.S. ¹ . R.P. Marano ² , H. A. Busilacchi ³	
FORESTACIÓN DE PASTIZALES: EVALUACIÓN DEL STOCK DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO TOTAL DEL SUELO	1373
Schmidt, E. ^{1*} , M. Garay ¹	
ESCURRIMIENTO Y PÉRDIDAS DE SUELO EN SISTEMAS EN TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA CON CONTROL MECÁNICO DE MALEZAS	1379
Seehaus, M.S. ^{1*} , E.A. Gabioud ¹ , M.C. Sasal ¹ , A. Cuatrin ¹ , N.V. Van Opstal ¹ , M.G. Wilson ¹ , A.B. Wingeyer ¹	
ÍNDICES PARA ESTIMAR LA DURACIÓN ANUAL DE LA COBERTURA VEGETAL VIVA EN ÁREAS AGRÍCOLAS	1380
Sirimarco, X. ^{1,3*} , M.P. Barral ¹ , S.H. Villarino ^{2,3}	
PROYECTO SOILGUARD: GESTIÓN DE LOS SUELOS PARA LA CONSERVACIÓN DE SU BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	1381
Sirimarco, X. ^{1,2*} , L. Worcel ³ , J. Gaitán ¹ , A. Auer ^{1,4} , M.P. Barral ²	
LA BIOMASA Y DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN ESPONTÁNEA DEPENDE DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN PREVIO	1382
Sokolowski, A.C. ^{1*} , J. Wolski ¹ , A. Mollá Kralj ¹ , B. Prack Mc Cormick ¹ , H. Rodríguez ¹ , M. Barríos ¹ , E. Rodríguez Frers ¹ , J. De Grazia ¹ , S. Debelis. ¹	



RESPUESTA EN MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ AL RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN EL NOA	1383
Sosa, F.A. ¹ , M.A. Lazarte ¹ , J.R. Sanchez ¹ , F. Scarola ¹ , O.R. Correa ¹ , D. Gamboa ¹ , A. Sanzano ¹ y F. Ledesma ¹ .	
IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y SUS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN EN UNA MICRORREGIÓN AVÍCOLA	1390
Sosa, A. ^{1*} , L.F. Peltzer ¹ , A. Cabrera ¹ , S. Roda ¹ , C. Heinze ¹ , M. Saluzzio ¹ , J.J. Gvozdenovich ^{1,2}	
PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE	1396
Steinbach, H.S. ^{1*} , C.R. Alvarez ¹ , H. Rimski-Korsakov ¹ , E. A. Ciarlo ²	
EL FENÓMENO EL NIÑO OSCILACIÓN SUR Y EL RENDIMIENTO DE TRIGO: ANÁLISIS TEMPORAL A LO LARGO DE UN GRADIENTE TEXTURAL	1400
Todarello, J. ^{1*} , G. Berhongaray ^{2,3} , J.L. De Paepe ^{1,3}	
AGREGACIÓN DEL SUELO Y ESTABILIZACIÓN DEL CARBONO EN UN PAISAJE DE LA PAMPA ONDULADA	1401
Urrutia Larrachea, I. ¹ , S.L. Poggio ^{1,2} , D.J. Cosentino, M. Semmartin ¹	
SUGARCANE ROOT BIOMASS PRODUCTION WITH AND WITHOUT HARVEST RESIDUES REMOVAL	1402
Valencia-Molina C.M. ¹ , J.D. Alfaro ² , J.M. Ortiz ³ , L. Martínez-Calsina ³ , M. Acreche ⁴ , J. Chalco-Vera ^{4*}	
INDICADORES EDÁFICOS EN VIÑEDOS REGADOS CON EFLUENTES DE BODEGA EN MENDOZA-ARGENTINA	1408
Vallone, R.C. ^{1*} , M. Arreghini ² , M.L. Flores Cáceres ¹ , M. Peña Cervera ² , I. Mesa Arzalluz ¹ , J. Segura Zuin ¹ , A.C. Longo ¹ , L.E. Martinez ³ , A. Manduca ¹ , T. Martín ¹	
COSTO HÍDRICO DE CULTIVOS DE SERVICIO EN AÑO NIÑA (ENSO)	1414
Molina Ordoñez, L.I. ¹ , C.I. Vettorello ^{1,*} , L. Salvo ¹ , M.R. Ateca ¹	
SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA DE LA REGIÓN MANISERA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA)	1419
Vicondo, M.E. ^{1,2,*} , J.M. Villar Mir ³ , J.C. Colazo ^{1,4}	
MODELACIÓN DEL USO DE LA TIERRA E INFRAESTRUCTURA EN LA CUENCA ALTA DE LA PICASA (CÓRDOBA)	1420
Videla-Mensegue, H. ^{1*} , J. Corigliano ² , A. Macchiavello ¹ , A. Veldhuizen ³ , T. Kroon ⁴ , B. Romero Verastegui ⁴ , J. Alvarez ⁵ , S. López ⁵ , N. Guillén ^{5,6} y C.M. García ⁵	
ESTADO DE SALUD DE LOS SUELOS DEL ÁREA DE BOSQUES NATIVOS DEL ESPINAL	1421
Wilson, M.G. ^{1*} , A.B. Wingeyer ^{1,2} , E.A. Gabioud ¹ , M.C. Sasal ¹ , S.M.J. Sione ^{2,3} , L. Lezana ^{1,3}	

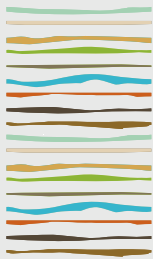


ACIDIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS BAJO MONTES DE PINO	1422
Zalba, P. ¹ , C. Zalba ¹ , E. Schmidt ¹	
PROFUNDIDAD DE LA NAPA DURANTE EL CULTIVO DE TRIGO EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO	1427
Zubiaga, L. ^{1*} , J. Vanzolini ¹ , L. Dunel ¹ , R. Storniolo ¹ , D. Ombrosi ¹ , C. Álvarez ² , M.A. Cantamutto ¹ & J.A. Galantini ³ .	
CALIDAD DE LA NAPA DURANTE EL CULTIVO DE TRIGO EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO	1433
L. Zubiaga ^{1*} , Dunel, L. ¹ , J. Vanzolini ¹ , R. Storniolo ¹ , D. Ombrosi ¹ , C. Álvarez ² , M.A. Cantamutto ¹ & J.A. Galantini ³ .	
LECHUGA REGADA CON AGUA DE DIFERENTE CALIDAD. EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO	1439
Huespe, D.S. ^{1*} , J.A. Galantini ² , C. Alvarez ¹	
EVALUACIÓN DE AQUACROP PARA SIMULAR AGUA EDÁFICA EN SOJA CULTIVADA BAJO DISTINTA DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y RADIATIVA	1444
Peirone, L.S. ^{1-3-4*} , G. Ovando ² , F.A. Raspa ³ , C.R.C. Vega ³	



Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje





EVALUACIÓN DE DIFERENTES GRAMÍNEAS INVERNALES COMO CULTIVOS DE COBERTURA ANTECESORES A MAÍZ TARDÍO

Aguirre, M.A.^{1*}, M.R. Barraco¹, M.J. Rampo², P. Girón³

¹Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria;

²Actividad Privada;

³Bayer Crop Science.

E-mail de contacto: aguirre.mariano@inta.gob.ar

RESUMEN

Los cultivos de coberturas (CC) han ganado terreno en el último tiempo, incorporándose bajo diferentes alternativas, por ejemplo, gramíneas antecesoras de maíces tardíos. Con el fin de estudiar el impacto de esta práctica, se instaló un ensayo en la EEA INTA General Villegas con los siguientes tratamientos: Centeno Don Ewald (CDE), Avena Elizabeth (AVE) y Triticales: Don Santiago (DS), Barbol (BAR), Molle (MOL), Concor (CON) y Exp 70 y Testigo (sin CC). Se utilizó un diseño en bloques aleatorizados. Luego del secado de los CC, y con un barbecho previo, se implanto maíz. Se evaluó la duración del ciclo (Ddc) de cada especie y su biomasa aérea (BA), agua disponible (AD) previo y post CC. Se estimó la eficiencia en el uso del agua (EUA) y el uso consuntivo (UC). También previo a la siembra del maíz se midió el AD y el contenido de nitrógeno como nitrato (N). Los tratamientos tuvieron diferentes comportamientos en cuanto al largo del ciclo (de 123 a 173 días) pero no se diferenciaron en cuanto a la producción de BA, logrando un valor promedio de 11388 kg MS ha⁻¹. Hubo una tendencia de las especies más precoces a tener menores UC, y dejar mayores niveles de AD al secado. En el mismo sentido, el contenido de N como nitrato a la siembra del maíz fue mayor en los tratamientos más precoces y el mayor valor fue para el Testigo. Debido a las precipitaciones post secado no se observaron diferencias en el AD a la siembra del maíz. Sin embargo, el rendimiento de maíz se vio afectado por los CC, sin diferencias significativas entre especies. Esto podría explicarse por los bajos contenidos de N a la siembra del cultivo, ya que se vio una relación lineal positiva entre este parámetro y el rendimiento de maíz ($r^2=0,90$).

Palabras clave: rendimiento, nitrógeno, agua disponible.

INTRODUCCIÓN

Los CC han tenido una gran difusión en los últimos años en la región del noroeste bonaerense. Diversos trabajos regionales e internacionales reportan que la participación de estos en las rotaciones agrícolas mejora las propiedades de los suelos al disminuir las pérdidas de carbono del mismo, (Villamil et al., 2006; Crespo et al., 2021).

Una proporción de los CC se utiliza como antecesoras de maíz tardío, siendo variables los efectos que tienen sobre su rendimiento, según la especie y/o el ciclo. En particular, hay trabajos que reportan disminuciones de rendimiento en maíces cuando son sembrados sobre gramíneas (Cazorla et al., 2018). Esta disminución en el rendimiento podría estar relacionada con diversos factores, entre los que se mencionan, un efecto negativo del CC gramínea sobre la dinámica del nitrógeno (N), provocando una mayor inmovilización del nutriente, relacionado al momento de secado del CC (Blanco-Canqui et al., 2015). Otro factor puede ser el consumo de agua que afecta el contenido de agua disponible (AD) en el momento de la siembra del cultivo de verano en regiones semiáridas o subhúmedas (Blanco-Canqui et al., 2015). En relación a este último factor, el efecto del



CC va a ser distinto según la especie y/o variedad, ya que la duración del ciclo (hasta alcanzar el momento óptimo de secado) y la eficiencia en el uso del agua (EUA) son distintas, dando como resultado diferentes usos consuntivos y contenidos finales de AD. Con respecto a esto hay bibliografía que sostiene que es necesario, que para que los CC no tengan efectos adversos, asegurarse un periodo mínimo de barbecho, para la recarga de agua del perfil del suelo. (Fargioni et al., 2012).

En la actualidad no se cuenta con información suficiente respecto a las diferentes especies de gramíneas que se están utilizando como CC, en cuanto a su largo de ciclo, acumulación de BA y EUA, ni como esto repercute en las variables que afectan al cultivo de maíz. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de diferentes especies de gramíneas usadas como CC y su efecto sobre la dinámica de N, el contenido de AD y el rendimiento del cultivo de maíz posterior.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló durante la campaña 2021-2022 en la EEA INTA General Villegas, (Bs As) sobre un suelo Hapludol Típico (570 g kg⁻¹ de arena, 23,8 g kg⁻¹ de materia orgánica, 12 mg kg⁻¹ de fósforo (Bray 1), pH de 5,8 y con una disponibilidad de 143 kg ha⁻¹ de N como nitrato en la capa de 0-60 cm. Previo a la siembra de los CC se determinó el contenido de AD (Agua medida – PMP) en mm hasta los 200 cm, a través de muestreos cada 20 cm. El 21/4/2021 se sembraron siete especies de gramíneas: Centeno Don Ewald (CDE), Avena Elizabeth (AVE) y Triticales: Don Santiago (DS), Barbol (BAR), Molle (MOL), Concor (CON) y Exp 70. Las tres primeras corresponden a variedades de amplia difusión como CC o verdeos invernales, mientras que BAR, MOL y CON son cultivares recientemente inscriptos por INTA Marcos Juárez (Donaire et al., 2019) y Exp 70 corresponde a un material experimental de INTA Bordenave. Se implantaron con una sembradora experimental de cinco surcos distanciados a 20 cm y con una densidad de siembra de 280 semillas m⁻². Al momento de la siembra se aplicaron 140 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio (0-46-0), mientras que el 5/5/2021 se aplicaron 86 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0). El ensayo presentó un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones, con parcelas de 24 m². Se determinó la biomasa acumulada (BA), mediante cortes con aro de 0,25 m² y posterior secado en estufa y pesada, a los 40, 62, 84, 109, 123, 141, 155 y 173 días desde la siembra (DDS). Los cultivares se secaron con glifosato a medida que alcanzaban el estadio Z6.5 (Zadoks et al., 1974). Al secado de cada especie se determinó el AD del suelo hasta los 200 cm de profundidad para estimar su uso consuntivo (UC) y la EUA para la producción de BA. El UC se calculó como la suma del AD a la siembra del CC, más las precipitaciones durante el ciclo del mismo menos el AD al secado del CC. La EUA se obtuvo como la relación entre BA y el UC de cada tratamiento.

Previo a la siembra del cultivo de cosecha se evaluó nuevamente el contenido hídrico de los suelos y la disponibilidad de N como nitrato en la capa 0-60 cm. El 2/12/2021 se sembró el maíz tardío, con una sembradora Agrometal a 52,5 cm. El híbrido utilizado fue Nidera AX7761, con una densidad de 68000 plantas ha⁻¹ y se fertilizó con 75 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico (10-50-0) a la siembra. En el estadio de V4 (Ritchie & Hanway, 1982) se aplicaron 200 kg ha⁻¹ de urea al voleo. La cosecha se llevó a cabo el 15/6/2022 con cosechadora experimental. Se cosecharon dos surcos de 5 m y los resultados se corrigieron a contenidos de humedad de 145 g kg⁻¹.

Se realizaron análisis de varianza y test de comparación de medias de Tukey (p<0,05) con el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El AD en el suelo al momento de la siembra fue de 156 mm (un 65 % de capacidad de campo), pero las precipitaciones ocurridas durante el mes de mayo permitieron recargar el perfil (Tabla 1) y lograr un adecuado desarrollo de los CC.



Tabla 1: Precipitaciones mensuales en mm durante el desarrollo del estudio (2021) e históricas (Hist)

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
2021	76	83	3	0	24	45	85	115
Hist	72	39	24	22	22	46	91	95

Se encontró diferencias en días totales de CC: CDE fue el de ciclo más corto, seguido por BAR, AVE y MOL. Entre los más largos están CON, Exp 70 y DS (Tabla 2). La producción de BA no mostró diferencias significativas entre tratamientos, a pesar de los distintos periodos de crecimiento (Tabla 2). Esto coincide con resultados publicados por Scianca et al. (2010) en la misma región, donde no se encontraron diferencias entre centeno y avena. No obstante, se observaron diferencias en las tasas de crecimiento a lo largo del ciclo y en cuanto al tiempo que le llevó acumular dicha biomasa a cada tratamiento (Figura 1). CDE y BAR, alcanzaron su producción total a los 123 y 145 días respectivamente, adelantando favorablemente el momento del secado y permitiendo un mayor periodo de barbecho (92 días promedio de barbecho). Estos datos son importantes, ya que nos definen el periodo de barbecho previo al cultivo estival, señalado por otros autores como factor fundamental para que no haya un efecto negativo del CC sobre el cultivo de cosecha (Fargioni et al., 2012). Frente a esto, variedades de ciclos más cortos que no resignen producción de BA como es el caso de CDE, BAR o AVE, serían las adecuadas para este tipo de práctica.

En cuanto al AD al secado del CC, se observaron en general mayores contenidos en los cultivares de menor duración de ciclo, mostrando mayor disponibilidad en BAR con respecto a MOL, CON, Exp 70 y DS ($p < 0,05$), (Tabla 2). Estos resultados coinciden con lo descrito por Lardone et al. (2014), que observaron mayores contenidos de AD en fechas de secado temprano y una diferencia de agua al secado a favor del centeno por sobre la avena, sin que resulte estadísticamente significativa.

En el UC se observaron diferencias significativas de los materiales más precoces (CDE y BAR) con respecto a los demás tratamientos ($p < 0,05$). Estos presentaron los valores más bajos (Tabla 2). El valor alcanzado por el CDE, resultó elevado con respecto a valores de 88 mm encontrados por Fernández et al. (2012a), en la región semiárida pampeana. Con respecto a la EUA, BAR presentó los mayores valores difiriendo del resto. En contra posición, MOL y CON fueron los que menos EUA lograron. En segundo lugar, se ubicó el CDE, que obtuvo mayor EUA que los demás tratamientos, excepto que BAR. Estos resultados coinciden en forma parcial con los de otros trabajos donde los centenos logran mayor BA, con mayores EUA. (Cazorla et al., 2018).

Tabla 2: Duración del ciclo, Producción de biomasa y dinámica del agua para las especies estudiadas.

Tratamiento	DdC	BA	AD CC	UC	EUA
CDE	123	10278 A	119 AB	212 B	49,2 AB
BAR	145	10440 A	145 A	193 B	54,3 A
AVE	157	10360 A	109 AB	273 A	38,4 AB
MOL	157	10537 A	89 B	294 A	36,23 B
CON	173	10788 A	90 B	296 A	36,5 B
Exp 70	173	13848 A	93 B	292 A	47,9 AB
DS	173	13467 A	81 B	304 A	44,8 AB

DdC: Duración del ciclo (días), BA: Biomasa aérea (kg MS ha^{-1}), AD CC: Agua disponible al secado del CC (mm), UC: Uso consuntivo (mm), EUA: Eficiencia en el uso del agua ($\text{kg MS mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$). CDE: Centeno Don Ewald, AVE: Avena Elizabeth. Triticales: DS: Don Santiago, BAR: Barbol, MOL: Molle, CON: Concor y Exp 70.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).



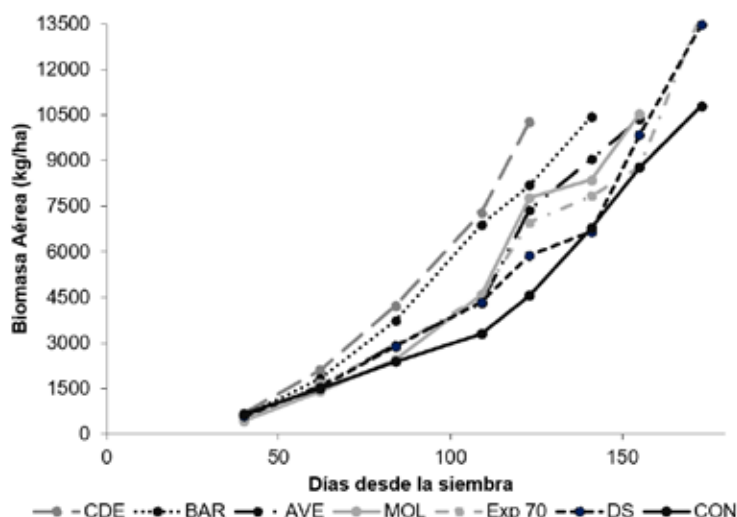


Figura 1: Producción de biomasa aérea a lo largo del ciclo de crecimiento de los distintos tratamientos. CDE: Centeno Don Ewald, AVE: Avena Elizabeth. Triticales: DS: Don Santiago, BAR: Barbol, MOL: Molle, CON: Concor y Exp 70.

El valor de AD a la siembra de maíz varió entre 194 y 242 mm, encontrándose diferencias significativas entre CDE (CC de menor ciclo) y DS (CC de mayor duración de ciclo) y valores intermedios para los demás tratamientos y testigo (Tabla 3). Todos los tratamientos lograron recargar el perfil, debido a los 200 mm precipitados desde el secado a la siembra del maíz (Tabla 1). Los resultados obtenidos concuerdan con los publicados por Cazorla et al. (2018), que no encontraron diferencias entre CC y el testigo con respecto a AD a la siembra del cultivo de verano.

El contenido de N como nitrato a la siembra del maíz varió desde 48 a 114 kg N ha⁻¹, (Tabla 3). En este caso el testigo obtuvo el mayor valor diferenciándose de los demás tratamientos, excepto de CDE ($p < 0,05$). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Scianca (2010) trabajando en suelos Hapludoles Thapto-árgicos. Se encontró relación entre la duración del periodo de crecimiento y el contenido de N como nitrato, a favor de los cultivares más precoces. Esto coincide con lo observado por Fernández et al. (2012b), quienes encontraron que el contenido de N como nitrato a la siembra del cultivo de verano es menor a medida que se retrasa el quemado del CC. En general el contenido de N como nitrato a la siembra del maíz fue bajo, lo cual refleja dos características de las gramíneas como especie, como son la alta demanda de N durante el periodo de crecimiento y la inmovilización del mismo por la elevada relación C/N de los residuos.

En cuanto al rendimiento de maíz, el mayor valor se obtuvo en el testigo, valores intermedios para CDE y MOL y una clara disminución en el resto de los tratamientos (Tabla 3). La disminución de rendimiento sobre los CC gramíneas coincide con los resultados obtenidos por Cazorla et al. (2018), quienes vieron disminuciones de rinde cuando este se sembró sobre centeno, condicionado por los bajos contenidos de N como nitrato que dejan las gramíneas y los altos niveles de la relación C/N que provoca la inmovilización de dicho nutriente. El rendimiento estuvo asociado en gran medida con el contenido de N como nitrato a la siembra del maíz, observándose una relación lineal entre estas variables (Figura 2).

Tabla 3: Agua disponible y Nitratos a la siembra de Maíz y su rendimiento para cada tratamiento.

Tratamientos	AD Mz	N NO3 Mz	Rinde Maíz
CDE	242 A	88 AB	10956 AB
BAR	234 AB	70 BC	10379 B
AVE	224 AB	52 C	9955 B
MOL	223 AB	54 C	10439 AB
CON	220 AB	48 C	9860 B
Exp 70	209 AB	52 C	9520 B
DS	194 B	52 C	9515 B
TESTIGO	225 AB	114 A	12737 A

AD: Agua disponible a la siembra del maíz (mm); N NO3 Mz: Nitrógeno como nitrato a la siembra del maíz (kg ha⁻¹); Rd Mz: Rinde maíz (kg ha⁻¹). CDE: Centeno Don Ewald, AVE: Avena Elizabeth. Triticales: DS: Don Santiago, BAR: Barbol, MOL: Molle, CON: Concor y Exp 70. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

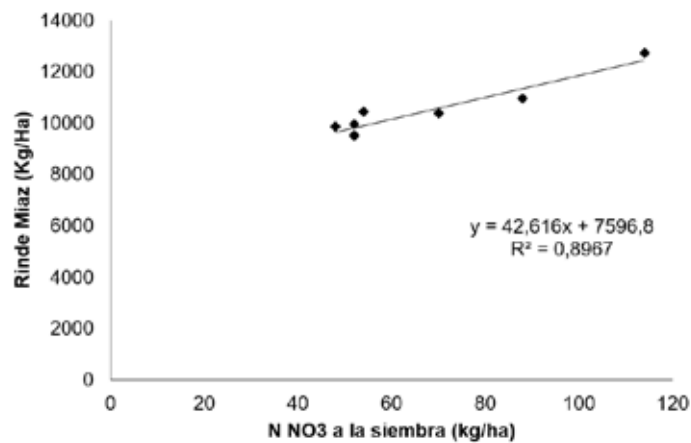


Figura 2: Relación entre el contenido de nitrógeno (N) como nitrato (0-60 cm) a la siembra y los rendimientos de maíz.

CONCLUSIONES

Los CC gramíneas de ciclo más corto lograron mayores EUA y mayores contenidos de AD al secado, sin resignar producción de BA. Esto cobra importancia en años donde las precipitaciones en el barbecho previo al cultivo de verano son escasas, ya que alarga dicho periodo y la posibilidad de recargar los perfiles de suelo. En el mismo sentido, en dichas especies se vieron los mayores niveles de N como nitrato a la siembra de cultivo de verano. A raíz de esto, al utilizar gramíneas como CC previos a maíz, las especies de ciclos más cortos serían las más favorables.

El rendimiento del maíz no estuvo afectado por el contenido de AD a la siembra, ya que los perfiles se recargaron como consecuencia de las precipitaciones ocurridas en el barbecho. No obstante, es importante tener en cuenta el periodo de barbecho que queda previo al próximo cultivo y el pronóstico del ciclo estival (niño, niña, o neutro) para definir el momento de secado y permitir la recarga de los perfiles de suelo. La disminución en los rendimientos de maíz frente a menores contenidos de N como nitrato destaca la necesidad de ajustar el manejo de la fertilización nitrogenada cuando se utiliza este tipo de CC antecesores de maíz.

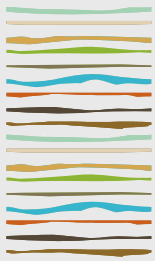
BIBLIOGRAFÍA

Blanco-Canqui H; T Shaver; J Lindquist; C Shapiro; R Elmore; C Francis; G Hergert. 2015. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. En: Agronomy Journal. Vol 107 n°6: 2449-2474.



- Cazorla, C; T Baigorria; H Videla; A Canal; J Ortiz; V Pegoraro. 2018. Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del su-
deste de Córdoba (Argentina). En: IAH 29. Buenos Aires. Argentina.
- Crespo C; N Wyngaard; H Sainz Rozas; G Studdert; M Barraco; V Gudelj; P Barbagelata; P Barbieri. 2021. Effect of the intensification of
cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. En: CATENA 200: 105145
- Donaire G; C Bainotti; J Salines; J Frascina; E Alberione; M Conde; M Formica; T Doniso. 2019. Nuevas variedades de triticale forrajero:
Barbol INTA, Molle INTA y Concor INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/nuevas-variedades-de-triticale-forrajero-barbol-inta-molle-inta-y-concor-inta>. Consultado el 3/8/2022.
- Fargioni, M; C Vega; T Baigorria; J Pietrantonio; C Cazorla. 2012. Efecto de los cultivos de cobertura sobre la disponibilidad hídrica y
nitrogenada a la siembra y el rendimiento de maíz. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-intamjz_cc_fargioni12.pdf. Consultado el 3/8/2022
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer. 2012a. Cultivos de cobertura ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? En:
Ciencia del Suelo 30(2): 137-150. (a)
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer; M Saks; F Arenas; C Antonini. 2012b. Inclusión de cultivos de cobertura en sistemas de produc-
ción de la región semiárida pampeana. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Ed 2012. Cap 5: pp 55-65. Anguil, La Pampa,
Argentina. (b)
- Lardone A; C Scianca; M Barraco; W Miranda; C Álvarez; A Quiroga; F Babinec. 2014. Momento de secado de especies de cultivos de
cobertura. En: Memoria técnica INTA 2013-2014. pp 16-20.. General Villegas, Buenos Aires. Argentina.
- Scianca C. 2010. Cultivos de cobertura en molisoles de la región pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua
y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
Argentina. 134 pp.
- Scianca C; M Barraco; C Álvarez; A Quiroga. 2010. Cultivos de cobertura en hapludol thapto argico: análisis de cinco campañas. En:
Memoria técnica INTA 2009-2010. General Villegas. Buenos Aires. Argentina. pp 14-16.
- Villamil M; G Bollero; R Darmody; F Simmons; D Bullock. 2006. No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops: Effects on
Soil Properties. En: Soil Science Society of America Journal. Vol 70: 1936- 1944 p.





CRECIMIENTO Y RESPUESTA ANTIOXIDANTE DE SOJA SOBRE SUELOS SÓDICOS EN CONDICIONES DE MACETA Y CAMPO

Aimetta, M.B.^{1*}, D.A. Bustos², V. Davidenco³, O.E. Gudelj¹, F. Salvagiotti⁴

¹ EEA INTA Marcos Juárez;

² Instituto de fisiología y recursos genéticos vegetales (IFRGV) CIAP;

³ Universidad Nacional de Córdoba,

⁴ EEA INTA Oliveros

*Ruta Provincial 12, km 36, Marcos Juárez, Córdoba, aimetta.bethania@inta.gob.ar

RESUMEN

Con el objetivo evaluar el efecto del sodio sobre variables morfológicas y estrés oxidativo en genotipos de soja de origen comercial NA 5009 como tolerante y SYG 5X1 como sensible y el no comercial SIXTH MOON tolerante, materiales previamente caracterizados, se realizó un experimento de maceta (PSI: 38.74%) y otro a campo (PSI 24.97%). En estadio fenológico V2 se evaluó altura, biomasa, FRAP y MDA en hoja y en R5 biomasa y partición. La sodicidad en etapa temprana disminuyó el crecimiento independientemente del genotipo y la escala, mientras que en R5 redujo la producción en los comerciales. El FRAP disminuyó en maceta y a campo (con valores superiores) solo se redujo en el genotipo sensible. El MDA no se vio afectado en ninguna condición. SIXTH MOON no mostró beneficios sobre las variables morfofisiológicas evaluadas. Los resultados mostraron diferencias en función del sistema experimental y solo las variables morfológicas permitieron diferenciar genotipos.

Palabras clave: diferencia genotípica, FRAP, MDA

INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* L.) fue introducida en Argentina y seleccionada sobre la base de un grupo reducido de cultivares de gran plasticidad (Kopp et al., 1983) y alta variabilidad genética (Xu & Gai, 2003), estrechando la base genética y haciéndola vulnerable a los efectos adversos como la salinidad-sodicidad (Salines, 1997). Aunque la soja es moderadamente sensible a la salinidad (Katerji et al., 2003), existe variabilidad genética dentro de la especie (Velagaleti & Schweitzer, 1993). En estas condiciones se reduce el crecimiento (Amirjani, 2010; Essa, 2002) y disminuye la producción (Bustingorri & Lavado, 2013, 2011). Además, se altera la homeostasis y se acumulan especies reactivas del oxígeno (ERO: O₂⁻, OH⁻ y H₂O₂) (Miller et al., 2010) que no alcanzan a ser degradadas por la defensa antioxidante y comienzan a oxidar diversos componentes celulares (Fridovich, 1986) como los lípidos. El sistema antioxidante es vital para evitar el estrés oxidativo aumentando la tolerancia (Chakraborty et al., 2018), y se puede evaluar mediante el contenido de FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) (Benzie & Strain, 1996), así como el daño de lípidos de membrana través de la concentración de malondialdehído (MDA) en los tejidos (Gill & Tuteja, 2010).

Una estrategia para el mejoramiento de soja en condiciones de sodicidad, podría ser encontrar variabilidad en la tolerancia utilizando genotipos silvestres (Xu et al., 2002) *Glycine soja* Sieb. & Zucc., in East Asia. In order to address the questions concerning the evolution and maternal lineage of soybean, we surveyed the variation in chloroplast DNA simple sequence repeats (cpSSR (no comerciales) identificados como tolerantes a salinidad (Chen et al., 2013) y que manifiesten una mayor defensa antioxidante y limitado daño de lípidos



(Chen et al., 2013) e incluirlos en programas de mejoramiento.

El objetivo fue evaluar el efecto del suelo sódico sobre variables morfológicas y estrés oxidativo en genotipos de soja de origen comercial y no comercial en condiciones de maceta y campo

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones generales y diseño experimental

El experimento en macetas se realizó en 2017, en el Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (IFRGV) del INTA. En invernadero naturalmente iluminado, con control de la temperatura del aire (27.7 ± 0.2 °C) y la radiación fotosintéticamente activa ($342 \pm 0.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con equipamiento Cavadevices SA™ (Buenos Aires, Argentina). Con iluminación suplementaria con lámpara Powerstar HQI-T 400W/D (OSRAM), fotoperiodo 16:8 luz:oscuridad. El suelo se extrajo de los 20 cm superficiales en un complejo Co10 (sódico) con CU VIws y de un suelo no sódico (control) de la serie Marcos Juárez con CU I (Tabla 1). Con diseño completamente aleatorizado y dos factores: suelo con dos niveles (sódico y no sódico) y genotipo con 3 niveles. Cada tratamiento fue replicado 3 veces y en cada maceta de 8 kg se trasplantaron 3 individuos de cada genotipo con semillas pre-germinadas en cámara húmeda a 28 °C durante 3 días. La humedad del sustrato se mantuvo a capacidad de campo.

Tabla 1: Características químicas del suelo en la profundidad 0-20 cm utilizado en el experimento de maceta y a campo.

Parámetro	Suelo Maceta		Suelo Campo	
	No sódico	Sódico	No sódico	Sódico
pH (1:2.5)	5.92	8.64	6.59	8.35
Ce (dS.m ⁻¹)	0.195	0.482	0.18	0.41
Cationes de intercambio (meq cada 100 g)				
Calcio	9.33	8.26	8.87	5.81
Magnesio	4.8	4.26	3.27	3.47
Sodio	0.48	8	1.66	6.87
Potasio	0.83	1	2.09	1.75
CIC	24.54	20.65	26.36	27.71
PSI (%)	1.96	38.74	6.05	24.97

El experimento de campo se realizó en la localidad de San Marcos Sud, departamento Unión, en la provincia de Córdoba (32.616346° S, 62.441489° W con 115 msnm). Posee temperatura media anual de 17,05 °C y régimen de precipitaciones de 793 mm anuales. El suelo es un complejo (Co 10) con 50% de suelos alcali-no-sódicos (INTA, 1979) (Tabla 1). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con dos factores, suelo y genotipo, replicado 4 veces. Se realizó una selección previa de los bloques "manchones" con sodio y no sódico (control) según el crecimiento aéreo de avena. La capa freática sulfatada-sódica se encontraba al metro de profundidad durante todo ciclo. La siembra en 2019 fue en parcelas de 4 surcos de 6 metros y distancia entre surcos de 0.52 cm, con 35 semillas.m⁻¹ lineal.

Los genotipos de soja utilizados fueron dos comerciales de buen comportamiento productivo en la RECSO del sudeste de Córdoba (2015-2016), de los cuales uno fue tolerante a sodicidad (NA 5009) y otro sensible (SYG 5X1) según ensayos previos, y un genotipo no comercial tolerante a salinidad (SIXTH MOON) proveniente del banco de germoplasma del USDA almacenado en INTA Marcos Juárez.

Mediciones realizadas

En condiciones de campo y en maceta se determinó:

- Altura de plantas (cm) a los 23 días, desde el nudo cotiledonar hasta el ápice.
- Peso seco de la biomasa aérea a los 23 días, se cosechó una planta en V2-V3, cortando en el nudo cotiledonar y se llevaron a 60 °C en estufa hasta peso constante.



- Variables asociadas al estrés oxidativo: a la cosecha en V2-V3 se extrajo el foliolo central de la segunda hoja trifoliada de cada planta, se colocó en N líquido y se conservaron a -80°C . A partir de 1 g de peso fresco de hoja se realizó una extracción alcohólica, para la cuantificación de la capacidad antioxidante total por FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) (Benzie & Strain, 1996) y la concentración de malondialdehído (MDA) (Hodges *et al.*, 1999; modificado por Taulavuori *et al.*, 2001).

Además, en los experimentos a campo se determinó:

- Biomasa y partición ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) en R5 (85 días): se cosecharon 1.04 m^2 de plantas separando biomasa vegetativa de la biomasa reproductiva, se contó el n° de vainas. m^2 y se secaron a 60°C con estufa hasta peso constante.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron a través de un ANAVA utilizando el software Infostat (Di-Rienzo *et al.*, 2017). Se analizó con como modelos mixtos (MLM), considerando suelo, genotipo y la interacción *suelo x genotipo* como factores fijos, mientras que repetición/bloque se consideró como aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

La altura y biomasa aérea medida en el estado de V2-V3 en maceta disminuyeron un 34 y 68% respectivamente en suelo sódico respecto al control no sódico (Tabla 2). Además, se encontraron diferencias entre genotipos solo en altura, donde el de mayor valor fue el no comercial SIXTH MOON que superó en 2.9 cm la altura promedio. Estudios previos mostraron, luego de 4 semanas, reducciones en la altura y la biomasa aérea en 38 genotipos de soja sometidos a 80 Mm ($\approx 7.8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) de NaCl (Hasan *et al.*, 2016). Si bien los antecedentes en sodicidad/alcalinidad son escasos, Coale *et al.* (1984) soybean performance was affected to a greater extent by changes in SAR than by changes in EC. Dry matter production decreased with increasing SAR under low EC soil conditions. In a second experiment, saline-sodic soil was amended with four rates of gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con diferentes suelos sódicos y salino-sódicos en macetas detectaron que las plantas no prosperaron con $6.8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de Ce y 75% de PSI. Además, encontraron disminuciones de hasta un 44% en el peso de la biomasa con un suelo de 55% de PSI y $3.20\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

En el experimento en condiciones de campo, se observó interacción *suelo x genotipo* significativa para la altura de las plantas ($p < 0.05$) en V2-V3 (Tabla 2). El genotipo no comercial mostro la mayor altura en el suelo control, mientras que en suelo sódico la altura fue similar en todos los genotipos. Al igual que en el experimento en macetas, la biomasa en suelo sódico disminuyó un 60%, sin diferencias entre los genotipos. En condiciones similares de cultivo a campo Gill (2010), reportó que la acumulación de biomasa aérea fue afectada conforme al incremento en la sodicidad en una relación casi lineal.

En el experimento en condiciones de campo los materiales alcanzaron la etapa reproductiva, permitiendo evaluar los efectos del sodio en estado avanzado. Según Board & Tan (1995), el periodo de R1 a R5.5 es el más sensible ante un estrés ambiental en la determinación del número de vainas, y se correlaciona con el rendimiento final del cultivo. En R5 la biomasa aérea en el suelo sódico cayó un 87% respecto al control (Tabla 2). El número y peso de las vainas manifestó una interacción significativa *suelo x genotipo*, dada por los valores mínimos obtenidos para SIXTH MOON en ambos suelos (Figura 1). Los comerciales disminuyeron el número y peso de las vainas en suelo sódico un 87 y 92% respectivamente en NA 5009 y un 83 y 87% respectivamente en SYG 5X1. Además, ambos comerciales se comportaron igual a pesar de la sensibilidad de SYG 5X1 en maceta. Antecedentes previos han mostrado caídas en el número de plantas, altura, biomasa y de hasta el 50% en la producción de granos (Aimetta *et al.*, 2017; Gill, 2010; Milán & Bonadeo, 2017).

Variables fisiológicas

En ambos genotipos tolerantes NA 5009 y SIXTH MOON los valores de FRAP se redujeron en el suelo sódico un 45% respecto al suelo no sódico (Figura 2).



La evaluación a campo con los tres genotipos manifestó una interacción *suelo x genotipo* significativa ($p < 0.05$) donde el FRAP en SYG 5X1 fue un 35% menor en suelo sódico respecto al no sódico (Figura 2), mientras que los genotipos NA 5009 y SIXTH MOON no mostraron diferencias entre suelos. Resultados similares fueron reportados por Ergo *et al.* (2018) en condiciones de campo durante el llenado de granos, con disminuciones en FRAP del 27 y 23% en respuesta a estrés térmico e hídrico respectivamente.

En el experimento en maceta, el daño de lípidos de membrana no presentó cambios debido al suelo o genotipo (Figura 2), aun cuando otros autores informaron que el MDA aumentó en el genotipo sensible ante estrés hídrico (Guzzo *et al.*, 2020) y también en condiciones de salinidad (Malekzadeh, 2015), en contraste a lo observado por Chen *et al.* (2013) que detectaron menor MDA en un genotipo silvestre respecto al cultivado en concentraciones altas de NaCl.

Tabla 2: Valores medios de las variables morfológicas en estado de V2-V3 y R5 de los genotipos por suelo en condiciones de maceta y campo.

Factor	Maceta (V2-V3)		Campo (V2-V3)		Campo R5	
	Altura (cm)	Biomasa (g.planta ⁻¹)	Altura (cm)	Biomasa (g.pta ⁻¹)	Biomasa (g.m ⁻²)	
Suelo	No sódico	13.73 a	0.85 a	8.1	0.57 a	155 a
	Sódico	9.03 b	0.27 b	7.1	0.23 b	19.8 b
Genotipo	NA 5009	10.84 b	0.59 a	7.6 ab	0.34 a	90.2 a
	SYG 5X1	9.04 b	0.49 a	6.2 b	0.41 a	95.6 a
	SIXTH MOON	14.25 a	0.59 a	9 a	0.45 a	76.5 a
Tipo de suelo	0.0001	<0.0001	0.0817	0.0008	0.0001	
Genotipo	0.0009	0.1431	0.0041	0.5229	0.8313	
Tipo de suelo x Genotipo	0.5433	0.3292	0.0454	0.2786	0.569	

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según MLM y test LSD Fisher.

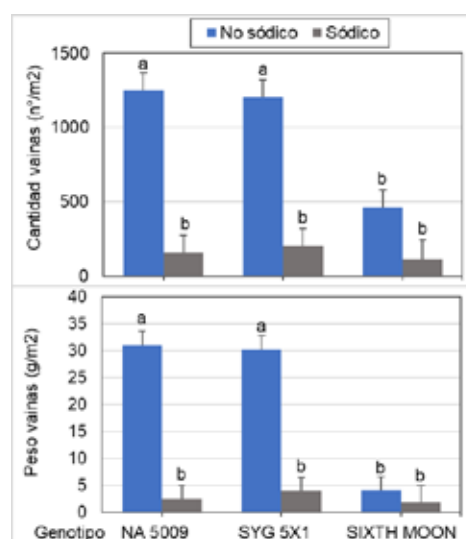


Figura 1: Valores medios del número y peso de vainas en R5 de los genotipos en condiciones de campo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según MLM y test LCD de Fisher. Las barras indican el error estándar.



A pesar de las variaciones encontradas en FRAP, no fue posible detectar diferencias significativas en el MDA a campo (Figura 2). Si bien la prueba de MDA es muy sensible, en estrés severo la reacción puede carecer de precisión y especificidad (Davey et al., 2005). Es un metabolito intermedio que puede reaccionar con otros compuestos produciendo interferencias espectrofotométricas (Kosugi & Kikugawa, 1989) Antecedentes en condiciones de estrés hídrico no han detectado cambios en MDA (Ergo et al., 2018), mientras que otros reportan incrementos en el sensible y mantenimiento en el tolerante NA 5009 (Guzzo et al., 2020).

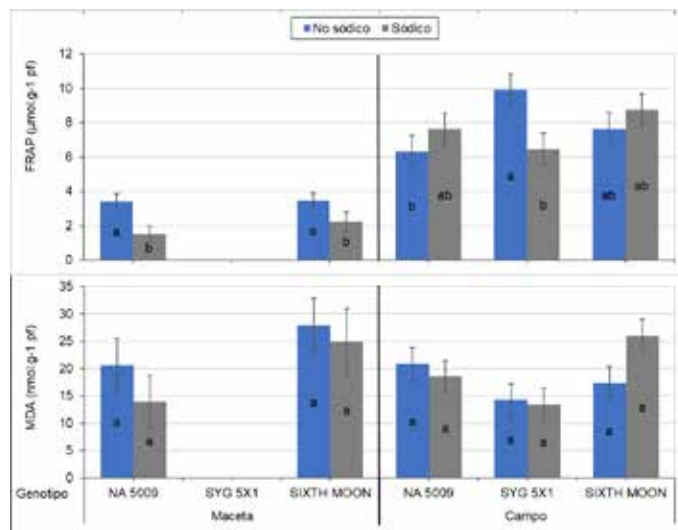


Figura 2: Valores de FRAP y MDA de los genotipos en suelo no sódico y sódico de maceta y campo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según MLM y test LCD de Fisher. Las barras indican el error estándar.

CONCLUSIONES

La sodicidad afectó a los genotipos según el estado de desarrollo, en etapa temprana disminuyó el crecimiento independientemente del genotipo y la escala. En el ensayo a campo se observó una reducción en la producción de los genotipos comerciales. El FRAP disminuyó en suelo sódico en maceta, pero a campo (con valores superiores) solo se redujo en el genotipo sensible, mientras no afectó el MDA en cualquier condición. Los resultados mostraron diferencias en función del sistema experimental y las variables morfológicas permitieron diferenciar genotipos.

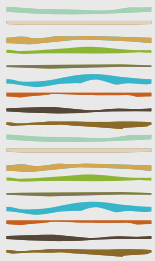
BIBLIOGRAFÍA

- Aimetta, M. B., Villarruel, D., Murgio, M., Carrio, A., Muñoz, S., Cazorla, C., Baigorria, T. (2017). Efecto de la variabilidad de suelos manchoneados sobre el crecimiento y producción del cultivo de soja. Actualización Técnica de soja N° 9, 73–80.
- Amirjani, M. (2010). Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. American Journal of Plant Physiology, 5(6), 350–360.
- Benzie, I., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239(1), 70–76.
- Board, J. E., & Tan, Q. (1995). Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. Crop Science, 35, 846–851.
- Bustingorri, C., & Lavado, R. (2013). Soybean response and ion accumulation under sprinkler irrigation with sodium-rich saline water. Journal of Plant Nutrition, 36(11), 1743–1753.
- Bustingorri, C., & Lavado, R. S. (2011). Soybean growth under stable versus peak salinity. Sci.Agric., 68(January February), 102–108.
- Chakraborty, K., Basak, N., Bhaduri, D., Ray, S., Vijayan, J., Chattopadhyay, K., & Sarkar, R. K. (2018). Ionic basis of salt tolerance in plants: nutrient homeostasis and oxidative stress tolerance. In M. Hasanuzzaman, M. Fujita, H. Oku, K. Nahar, & B. Hawrylak-Nowak (Eds.), Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance (pp. 325–362). Springer.
- Chen, P., Yan, K., Shao, H., & Zhao, S. (2013). Physiological mechanisms for high salt tolerance in wild soybean (*Glycine soja*) from Yellow river delta, China: photosynthesis, osmotic regulation, ion flux and antioxidant capacity. PLoS ONE, 8(12), e83227.



- Coale, F. J., Evangelou, V. P., & Grove, J. H. (1984). Effects of saline-sodic soil chemistry on soybean mineral composition and stomatal resistance. *Journal of Environment Quality*, 13(4), 635.
- Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., & Swennen, R. L. (2005). High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Anal. Bioch.*, 347, 201–207.
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2017). Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ergo, V. V., Lascano, R., Vega, C. R. C., Parola, R., & Carrera, C. S. (2018). Heat and water stressed field-grown soybean: A multivariate study on the relationship between physiological-biochemical traits and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 148(December 2017), 1–11.
- Essa, T. A. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* (L.) merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, 86–93.
- Fridovich, I. (1986). Biological effects of the superoxide radical. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 247(1), 1–11.
- Gill, H. (2010). Effects of soil sodicity on the germination, growth and productivity of Soybean (*Glycine max*). 19th World Congress of Soil Science.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930.
- Guzzo, M. C., Costamagna, C., Salloum, M. S., Rotundo, J. L., Monteoliva, M. I., & Luna, C. M. (2020). Morpho-physiological traits associated with drought responses in soybean (*Glycine max* L.). *Crop Science*.
- Hasan, M. K., Nasiruddin, K. M., & Hossain, A. K. M. S. (2016). In vitro screening of soybean genotypes under salinity stress. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 4(2), 207–212.
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds, 207, 604–611.
- INTA. (1979). Carta de suelos de la República Argentina Hoja 3363-11 Leones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro de Investigación de Recursos Naturales.
- Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 62(1), 37–66.
- Kopp, V. J., Sierra, E., & Murphy, G. M. (1983). Orígenes de los cultivares de soja más difundidos en la Argentina. VIII Reunión Técnica Nacional de Soja, 27–46.
- Kosugi, H., & Kikugawa, K. (1989). Thiobarbituric acid-reactive substances from peroxidized lipids. *Free Radical Biology and Medicine*, 7, 205–207.
- Malekzadeh, P. (2015). Influence of exogenous application of glycinebetaine on antioxidative system and growth of salt-stressed soybean seedlings (*Glycine max* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21, 225–232.
- Milán, C., & Bonadeo, E. (2017). Efecto de la aplicación de yeso sobre la capacidad productiva de un suelo sódico de alta variabilidad espacial. *Ciencia Del Suelo*, 35(2), 315–323.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*, 33(4), 453–467.
- Salines, L. (1997). Mejoramiento. In E. J. Baigorri & L. Giorda (Eds.), *El cultivo de la soja en Argentina* (pp. 54–86). Córdoba, Argentina: INTA.
- Taulavuori, E., Hellstro, E., Taulavuori, K., & Laine, K. (2001). Comparison of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* (L.) during snow removal, reacclimation and cold acclimation. *Journal of Experimental Botany*, 52(365), 2375–2380.
- Velagaleti, R., & Schweitzer, S. (1993). General effects of salt stress on growth and symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Plant and Crop Stress*, 461–471.
- Xu, D. H., Abe, J., Gai, J. Y., & Shimamoto, Y. (2002). Diversity of chloroplast DNA SSRs in wild and cultivated soybeans: Evidence for multiple origins of cultivated soybean. *Theor. Appl. Genet.*, 105(5), 645–653.
- Xu, D. H., & Gai, J. Y. (2003). Genetic diversity of wild and cultivated soybeans growing in China revealed by RAPD analysis. *Plant Breed.*, 122(6), 503–506.





TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y DE NDVI EN LA REGIÓN CHACO-PAMPEANA Y SU RELACIÓN CON LOS ASCENSOS FREÁTICOS

Alsina, S.E.^{1,*}, E. G. Jobbágy¹, M. D. Nosetto¹

¹ Grupo de Estudios Ambientales, IMASL, CONICET;

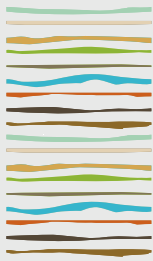
* Av. Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis, Prov. de San Luis, alsina.simon@gmail.com

RESUMEN

La llanura chaco-pampeana manifiesta en las últimas décadas cambios hidrológicos muy visibles que desafían a los sistemas de producción y plantean interrogantes sobre las causas y mecanismos de estos procesos. Ascensos generalizados de niveles freáticos, aumento en la frecuencia e intensidad de episodios de inundación, procesos de salinización, y formación de nuevos cursos de agua son ejemplos de dichas alteraciones hidrológicas que definen un nuevo escenario caracterizado por mayores excedentes hídricos. Comprender las causas de este proceso resulta relevante a fin de implementar medidas apropiadas de adaptación y/o mitigación. En este trabajo evaluamos las tendencias climáticas y de vegetación para los últimos 40 años en la llanura Chaco-Pampeana y analizamos su relación con los cambios de nivel freático. Las variables climáticas (precipitación, Pp, evapotranspiración potencial, ETo, radiación, temperatura, viento y humedad relativa) se extrajeron de la base de datos del Climate Research Unit, obteniéndose valores anuales correspondientes al período 1981-2019. Por otro lado, se obtuvieron para el mismo período, valores de NDVI provenientes del satélite NOAA, índice que está directamente asociado al área foliar y transpiración de la vegetación. Se realizaron análisis a distintas escalas espaciales (región, subregión, áreas focales) en las cuales se estudiaron las tendencias temporales mediante análisis Mann Kendall. Encontramos que, en general, las tendencias de las variables climáticas no pueden explicar los ascensos freáticos registrados en la región. Por ejemplo, la ETo mostró una tendencia muy clara de aumento en gran parte de la región, promediando un incremento de casi 20 mm por década para toda el área analizada. Este aumento de la ETo estuvo principalmente explicado por un aumento de la temperatura mínima. Asimismo, la Pp solo mostró tendencia significativa, y en este caso de descenso, en la subregión del Chaco Seco. Como resultado de estos patrones, el balance hídrico climático (Pp – ETp) registró una caída (i.e. se volvió más deficitario) de 116 mm año⁻¹ entre las primera y última décadas analizadas. Por otro lado, el NDVI mostró una tendencia significativa de descenso en la mayoría de las subregiones analizadas. Por ejemplo, en el Chaco Seco y en la Pampa Ondulada, subregiones que experimentaron fuertes ascensos freáticos, el NDVI disminuyó significativamente en el 63% y 50% del área de dichas subregiones, respectivamente. El análisis focal en los alrededores de los freáticos que experimentaron aumentos de nivel (n=4) también mostró descensos significativos del NDVI. Las alteraciones hidrológicas visibles en la región manifiestan excesos hídricos que las tendencias climáticas no lograron explicar. En cambio, las tendencias de NDVI sugieren que producto de los cambios en el uso/cobertura del suelo (e.g. deforestación, reemplazo de pasturas por cultivos anuales) se genera una caída en la transpiración de la vegetación favoreciendo dichos excedentes. Es interesante notar que producto de la conectividad hidrológica, los cambios en el uso/cobertura del suelo generan alteraciones hídricas que trascienden los límites del área modificada. Reconocer dicha externalidad hidrológica resulta necesario para una gestión responsable del territorio.

Palabras clave: balance hídrico, napa, evapotranspiración.





MAPAS TEMÁTICOS EN LA COLONIA HUACO DPTO. ANDALGALÁ. PROVINCIA DE CATAMARCA

Alurralde A.L.¹, C.S.¹, O. B.Pernasetti¹, C. E. Curchod, E. Cuenca², R. Kaen³, D. Prieto⁴

¹ Cátedra Edafología, FCA-UNCA;

² Cátedra de Informática, FCA-UNCA,

³ Dirección de Agricultura-Gobierno Prov. De Catamarca,

⁴ Consultor investigador independiente ex INTA ani_animal@hotmail.com.ar

RESUMEN

El trabajo es parte de un Proyecto de prefactibilidad técnica del desarrollo de una Colonia Agrícola en el paraje HUACO del Departamento del Andalgalá – Provincia de Catamarca, a 20km aproximados en dirección sur-este de dicha ciudad. Su extensión es de 1.287 has. El área de estudio queda comprendida en el piedemonte correspondiente a la vertiente sur de la Sierra de Aconquija. En la actualidad el área se encuentra totalmente inculta con vegetación natural que corresponde a la Provincia Fitogeográfica del Monte. Se separaron zonas por sus características físicas (textura) y químicas (salinidad). Se considera una sola Unidad Cartográfica, llamada “campo de derrame”. Dado que se plantea un uso agrícola con riego para los suelos del área se realizaron mapas temáticos o utilitarios, representando parámetros edáficos de especial interés para su utilización, manejo y conservación. La utilidad de los mapas temáticos para la agricultura, se dirige hacia varios aspectos, aunque los más usados son los referentes a la evaluación de la capacidad productiva, a la aptitud para el riego y a los aspectos relacionados directamente con la fertilidad del suelo. En la zona en estudio predominan las texturas finas, con predominio de limo y arcilla, algo común en zonas de derrames. La presencia de estructuras laminares de poco espesor (3,5 a 7 cm) que no fueron calificadas como horizontes, (lamelas) pueden ser un obstáculo para una correcta infiltración del agua. La limitante más importante que presentan la mayoría de los suelos para su explotación agrícola en su estado actual es la salinidad. La presencia comentada de variaciones de textura en el perfil, hacen razonable recomendar la realización de ensayos de lavado bajo riego localizado o similares, que es la metodología de riego que se recomendará para el área.

Palabras clave: mapas temáticos, textura, salinidad

INTRODUCCION

El trabajo es parte de un Proyecto de prefactibilidad técnica del desarrollo de una Colonia Agrícola en el paraje HUACO del Departamento del Andalgalá – Provincia de Catamarca, a 20km aproximados en dirección sur-este de dicha ciudad, entre los paralelos 27°44'38" y los 27°46'59" de latitud sur, y entre los meridianos 66°21'49" y los 66°25'13" de longitud oeste. Corresponde al sector norte del Bolsón del Pipanaco, aproximadamente a 250 km de la capital de la provincia. Su extensión es de aproximadamente 1.287 has. El terreno presenta una pendiente aproximada de 0,6% que decrece en dirección noroeste-sudeste. El área de estudio queda comprendida en el piedemonte correspondiente a la vertiente sur de la Sierra de Aconquija, llamada zona de derrame. Varios ríos procedentes del frente montañoso contribuyen acarreado sedimentos a la formación de dicho piedemonte. El agente modelador principal son los ríos y arroyos permanentes y temporarios que bajan del frente montañoso, acarreado depósitos fluvio-aluviales en grandes cantidades. Es una cuenca semiendorreica rellena principalmente por sedimentos cuaternarios provenientes de las serranías que lo circundan. Estos sedimentos constituyen sendos piedemontes en las proximidades de los frentes



montañosos, mientras que el fondo del Bolsón está ocupado por una extensa salina.

En la actualidad el área se encuentra totalmente inculta, con vegetación natural que corresponde a la Provincia Fitogeográfica del Monte, representada la comunidad clímax, caracterizada por la presencia de un arbustal, jarillal, abierto a muy abierto de arbustos aislados o en grupos de 2 a 5 ó 6 individuos, que no supera los 150 cm de altura. En el estrato herbáceo, una cubierta de gramíneas anuales, predomina la *Bouteloua aristoides* y manchones de latifoliadas herbáceas, también efímeras. La cobertura de suelo es rala, producto de las condiciones agroecológicas naturales, y la explotación de leña por los pobladores locales y aledaños. En el Campo de Derrame pueden encontrarse diversas comunidades, como Retamal, Algarrobal, Jumeal, Cachiuyal (nanofanerófitas halófilas) o bien vegetación psammófila, según sea el sustrato. (Palmieri C, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

La imagen utilizada para el estudio es un producto de la misión Sentinel-2 de Copernicus, el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea (<https://www.copernicus.eu/en>). Tiene una resolución espacial de 10mts para las bandas del espectro visible y el infrarrojo cercano. Se la obtuvo del portal del Servicio Geológico de los EEUU (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) y se trata de una imagen MSI (MultiSpectral Instrument) L2A (Nivel 2A). Las imágenes de nivel 2A se encuentran orto rectificadas con niveles de reflectancia por debajo de la atmósfera (BOA). La fecha y hora de adquisición son el 30 de abril de 2021 a las 14:37hs.

Se separaron zonas de acuerdo a la vegetación como posibles unidades cartográficas, las cuales se descartaron al verificarse la igualdad en parámetros de suelo, quedando separados sectores clasificados por características físicas (textura) y químicas (salinidad). Se considera una sola Unidad Cartográfica, llamada "campo de derrame". Los suelos de la Unidad Campo de Derrame fueron clasificados taxonómicamente como: Haplosalid típico y Haplocambid

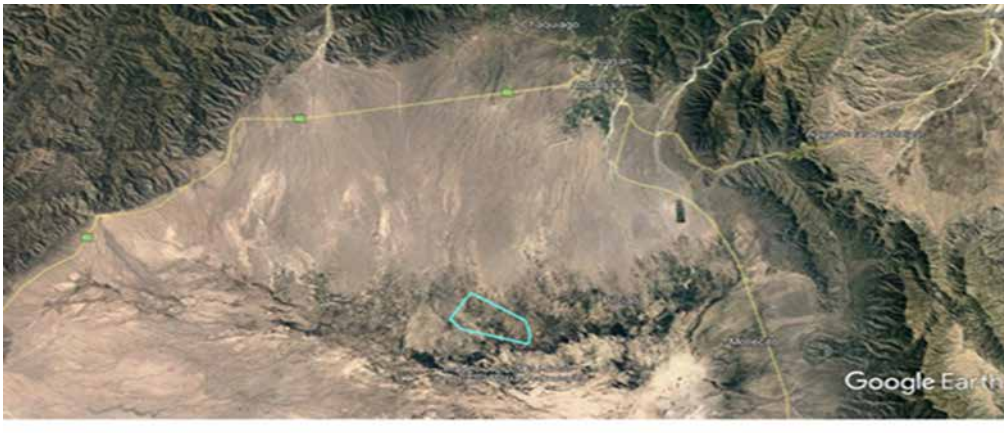


Figura 1: Colonia Agrícola en el paraje HUACO. Departamento Andalgalá – Provincia de Catamarca. Proyecto de prefactibilidad técnica del desarrollo (polígono celeste). 2022

El relevamiento y reconocimiento de suelos se ha realizado en su totalidad mediante observaciones detalladas en calicatas y observaciones de control con barreno georeferenciados. Se describieron las características externas e internas de los perfiles según normas del Manual de Reconocimientos de Suelos (USDA, EEUU. 1951). En las calicatas se describieron las características externas del sitio en estudio como: pendiente topográfica, escurrimiento superficial, erosión hídrica, permeabilidad, drenaje, pedregosidad, rocosidad, vegetación predominante y % de cobertura. Se describieron las características internas como: profundidad, espesor, límites de horizontes: formas y tipo; color: en seco y húmedo; textura; estructura: tipo, clase y grado; consistencia: en seco, húmedo y mojado; presencia de carbonatos; humedad; raíces: abundancia y grosor, compactaciones, etc. Las muestras de suelo se tomaron de cada horizonte que fueron analizadas en el laboratorio de la FCA. Los métodos utilizados en los análisis de suelo fueron los siguientes: Textura (Método de la pipeta); pH (relación suelo: agua, 1:2,5); conductividad eléctrica (extracto de saturación); Materia Orgánica (Wakley-Black micro método); Calcio y Magnesio solubles (titulación con EDTA); Sodio y Potasio soluble (Fotometría de emisión); Carbonatos (método valorimétrico); Nitrógeno (micro Kjeldhal); Fósforo (Olsen); Ca-

capacidad de Intercambio Catiónico (método del acetato de amonio y acetato de sodio) Cationes Intercambiables (Ca, Mg, Na, y K), igual método que para solubles.

Para la clasificación taxonómica de los suelos se utilizó la Claves para la Taxonomía de Suelos (USDA-NRCS, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos se ubican bajo un régimen Térmico y de humedad Árido, son del orden Aridisol, caracterizados por similares procesos pedo genéticos que los de las regiones húmedas, pero con reacciones físicas y químicas limitadas por la falta de agua, que determina un contenido de bases elevado por falta de lavado.

Con la información de campo y laboratorio se identificaron dos horizontes de diagnóstico: a) Horizonte Cámbico, horizonte alterado de 15 cm o más de espesor, (USDA, 2014), con presencia de lamelas, horizonte iluvial menor de 7,5 cm de espesor con más arcilla silicatada que el horizonte eluvial suprayacente (Lopez Correa J, 2018) y b) Horizonte Sálico o de acumulación de sales más solubles que el yeso en agua fría, (USDA,2014).

En base a lo anterior los suelos de la Unidad Campo de Derrame fueron clasificados taxonómicamente como: Haplosalid típico y Haplocambid típico (este último solos dos perfiles).

Dado que se plantea un uso agrícola con riego para los suelos del área se realizaron mapas temáticos o utilitarios, representando parámetros edáficos de especial interés para su utilización, manejo y conservación. La utilidad de los mapas temáticos para la agricultura, se dirige hacia varios aspectos aunque los más usados son los referentes a la evaluación de la capacidad productiva, a la aptitud para el riego y a los aspectos relacionados directamente con la fertilidad del suelo.

En el presente trabajo se realizaron dos Mapas Temáticos:

- a) Salinidad
- b) Textura

Definen a un suelo salino aquel que contiene suficiente cantidad de sales solubles para afectar adversamente el crecimiento de la mayor parte de los cultivos (Taboada M.2009). El mapa de Salinidad estuvo basado en la salinidad media ponderada para todo el perfil por el espesor de las capas u horizontes. (tabla 1)

Tabla 1: Criterio clásico de definición de clases de salinidad en las muestras analizadas de la Colonia de Huaco. Prov. De Catamarca. 2022

Conductividad eléctrica	No salinos 2,52has	Moderadamente salinos 27,74has	Fuertemente salinos 815,2has	Extremadamente salinos 441,09has
	Menor 4 dS m ⁻¹	4 a 7 dS m ⁻¹	7 a 20 dS m ⁻¹	Mayor a 20 dS m ⁻¹

La figura 2, muestra el mapa de las clases salinas. Como puede observarse, la mayoría del área (98%) son suelos fuertemente y extremadamente salinos. Valores esperables para suelos incultos en áreas áridas, donde el balance hídrico negativo en todo el año explica la falta de lavado de las sales solubles.





Figura 2: Mapa de salinidad: Colonia Agrícola en el paraje HUACO, Prov. Catamarca. 2022

Para la confección del mapa de textura se tomó el siguiente criterio: los sectores se demarcaron de acuerdo a la similitud de la clase textural predominante, realizando una ponderación hasta los 100 cm, de la siguiente manera: para cada horizonte se suma el producto del espesor por el valor de la propiedad y la sumatoria se divide por el espesor total. Se tomó la partícula con mayor predominancia que en este caso fue el limo (entre 2 y 50 micrones = 0.002- 0.050 mm). (Ver tabla 2)

Tabla 2: Promedio de los porcentajes de limo de muestras de 10 calicatas detalladas en la Colonia de Huaco. Prov. De Catamarca. 2021

Perfil N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Limo %	46,7	52,1	40,8	62,2	52,3	36,6	57,3	51,7	23,1	2,4

La selección de la textura como otro de los parámetros relevantes a mapear, se debió a que esta propiedad está relacionada directamente con la infiltración, el movimiento y retención del agua en el perfil, aspectos relevantes para el lavado de sales y para el manejo del riego. También se tuvo en cuenta que la textura se relaciona en forma indirecta con la productividad de los cultivos que se implanten. El mapa (Figura 3) se basó en el contenido medio ponderado de limo, que define las texturas predominantes en el área, arenosa/franco arenosa, franca y franca limosas.



Figura 3: Mapa de textura. Colonia de Huaco. Prov. de Catamarca. 2022

Tabla 3: porcentajes de clases texturales. Mapa Colonia de Huaco, Prov. Catamarca. 2022

TEXTURAS	2 – 25%	25 – 40%	Mayor del 40%
	Arenoso / Franco arenoso	Franco	Franco limoso
	25,82has	136,73has	1124,12has

CONCLUSIONES

En la zona en estudio predominan las texturas finas, con predominio de limo y arcilla, algo común en zonas de derrames. Estas texturas le confieren a la mayoría de los suelos del área una cierta estructura y fertilidad.

La presencia de estructuras laminares de poco espesor (3,5 a 7 cm) que no fueron calificadas como horizontes, (lamelas) pueden ser un obstáculo para una correcta infiltración del agua.

La limitante más importante que presentan la mayoría de los suelos para su explotación agrícola en su estado actual es la salinidad. Lo que resulta lógico por tratarse de un área inculta en zona árida.

La corrección de esta limitante, es posible sometiendo los suelos a un manejo adecuado para favorecer la infiltración y movimiento del agua de riego en el perfil.

La presencia comentada de variaciones de textura en el perfil, hacen razonable recomendar la realización de ensayos de lavado bajo riego localizado o similares, que es la metodología de riego que se recomendará para el área.

Corregida la salinización se requerirá un plan de manejo que incluya riego controlado, fertilización, control de la erosión, prácticas de incorporación de materia orgánica, etc.

BIBLIOGRAFIA

Botero P.J.; Benavides S.T.; Elbersen G.W.- Una Metodología para levantamientos edafológicos. CIAF, Bogotá, Colombia. 1975

Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales Décima segunda Edición, 2014

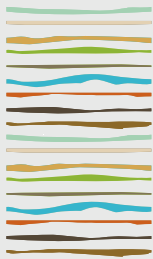
López, J., Degioanni, A. y Becerra, M.A.- Permeabilidad en Horizontes con Lamelas. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina. Congreso de Suelos. 2018

Palmieri, C. N; Carma, M I. Quiroga A. Las ecorregiones presentes en Catamarca. Cátedra de Climatología Agrícola y Ecología Agraria. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCa. 2010

Pernasetti O.B.; Watkins P.; Imbellone P. Guichón. B. Entisoles con Horizontes Laminados, Provincia de Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCA. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 2012

Taboada M. A.; Lavado R. S., Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina. Agosto de 2009





PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE

Alvarez C.R.^{1*}, H.S. Steinbach¹, H. Rimski-Korsakov¹, E. A. Ciarlo²

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes.

² Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

* Contacto: alvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

El riego suplementario con agua de calidad dudosa puede causar el deterioro de la calidad físico-química del suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto del riego suplementario sobre propiedades físicas en suelos agrícolas del Sudoeste Bonaerense. Se trabajó en 12 lotes pertenecientes a campos del Grupo de Riego del Sudoeste Bonaerense donde se aplica riego suplementario en cultivos de grano, algunos para producción de semilla. Se plantearon los tratamientos Secano y Riego (córner y círculo de riego, respectivamente). Se determinó la infiltración, la resistencia mecánica (0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm, RM), la densidad aparente (0 a 5 y 10 a 15 cm, Dap) y humedad gravimétrica (0 a 5 y 10 a 15 cm, HG). Se analizaron los datos con prueba de t apareada. La tasa de infiltración básica no presentó diferencias estadísticas ($p=0,976$) siendo en promedio de 80 mm h⁻¹ para Secano y Riego. La Dap solo presentó diferencias significativas de 10 a 15 cm, siendo 5,8% superior en riego ($p=0,0005$). Los valores de RM presentaron una importante variabilidad sin presentar diferencias significativas en ninguna de las profundidades. La HG fue 15% mayor en Riego que en Secano de 0 a 5 cm, sin haber diferencias de 10 a 15 cm. El diagnóstico de la calidad física edáfica realizado en este trabajo no muestra tendencia clara ni marcada degradación. Sin embargo, es necesario la realización de ensayos bajo riego en el largo plazo que permitan evaluar la sustentabilidad del riego suplementario en el tiempo.

Palabras clave: infiltración, resistencia mecánica, densidad aparente, riego.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad hídrica es la principal limitante del rendimiento de los cultivos en secano (Bohnert y Bressan, 2001, Lobell *et al.*, 2009, Van Ittersum *et al.*, 2013). En las regiones húmedas y sub-húmedas, el riego suplementario en momentos críticos del ciclo del cultivo de granos, permite aumentar y estabilizar el rendimiento en el tiempo (Salinas *et al.*, 2016). Sin embargo, si el agua aplicada es de dudosa o mala calidad puede modificar negativamente algunas propiedades del suelo. Una característica del agua subterránea de la Región Pampeana es que es bicarbonatada sódica. Su utilización en una proporción del 10 al 30 % del agua total que reciben los sistemas de producción de granos produce un incremento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) siendo mínimo el aumento de la conductividad eléctrica de los suelos (CE; Torres Duggan *et al.*, 2016). Normalmente, los suelos bajo riego suplementario no alcanzan valores críticos de PSI (> al 15%), pero debido a la baja CE pueden manifestar fenómenos de degradación física debido al hinchamiento y dispersión de los coloides presentes en el mismo (Crescimanno *et al.*, 1995). En el Sudoeste Bonaerense la adopción del riego suplementario es más reciente que en otras regiones y se reportan actualmente 24.900 hectáreas bajo riego, mayoritariamente en el partido de Coronel Suárez (Sánchez *et al.*, 2016). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto del riego suplementario sobre la calidad física del suelo en lotes de producción en el Sudoeste Bonaerense.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 12 lotes de producción pertenecientes a campos que forman parte del Grupo de Riego del Sudoeste Bonaerense donde se realiza riego suplementario. La zona se caracteriza por tener niveles pluviométricos promedios históricos anuales de 897 mm año⁻¹. Los suelos a 0-20 cm poseen una textura franco-arenosa, franca y franco-areno-arcillosa. La rotación está integrada por soja, maíz, girasol y trigo. Algunos de ellos son para producción de semillas. Dichos cultivos requieren mayor número de labores (pulverizaciones, fertilización, entre otras) y dejan baja cantidad de rastrojo. La lámina promedio aplicada es de 200 mm año⁻¹. Se muestrearon variables físicas en el círculo de riego y su respectivo córner (esquina no regada), determinando los tratamientos Riego y Secano, respectivamente. En la Tabla 1 se presentan los valores promedio, mínimo y máximo de carbono orgánico (CO), pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 0-10 cm y de 10-20 cm de las situaciones evaluadas. Se midió infiltración con un permeámetro de disco, realizando de 4 a 6 mediciones en el círculo y en su respectivo córner, en cada uno de los lotes. La resistencia mecánica (RM) se midió con penetrómetro de golpes en las profundidades de 0-5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm. Se realizaron 10 determinaciones en cada profundidad de cada círculo y córner. Se tomaron muestras para determinar la densidad aparente (Dap, método del cilindro) y humedad gravimétrica de 0 a 5 cm y de 10 a 15 cm. Se tomaron 10 muestras en cada profundidad de cada círculo y respectivo córner. Los datos fueron analizados a través de una prueba t para un diseño apareado. Cuando la variable fue evaluada en distintas profundidades la comparación se realizó dentro de cada estrato. Se realizaron regresiones lineales entre las variables evaluadas.

Tabla 1. Valores promedio, mínimo y máximos de carbono orgánico (CO), pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de las situaciones evaluadas (Secano y Riego).

0 - 10 cm								
	CO (%)		pH		CE (dS m ⁻¹)		PSI (%)	
	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego
Promedio	2.63	2.57	6.15	6.76	0.45	0.48	1.83	5.27
Mínimo	1.91	1.81	5.50	6.10	0.23	0.27	0.30	2.20
Máximo	3.25	3.60	7.80	7.70	1.00	0.80	7.60	8.20
10 - 20 cm								
Promedio	2.12	1.99	6.45	6.86	0.36	0.43	2.22	5.25
Mínimo	1.62	1.56	6.00	6.10	0.19	0.20	0.30	2.00
Máximo	2.55	2.75	8.10	7.90	0.90	0.90	7.10	7.90

RESULTADOS Y DISCUSION

La tasa infiltración básica fue en promedio de 80 mm h⁻¹ sin diferir significativamente entre Secano y Riego (p=0,976) (Figura 1). La tasa presentó mayor variabilidad en las situaciones de Riego.

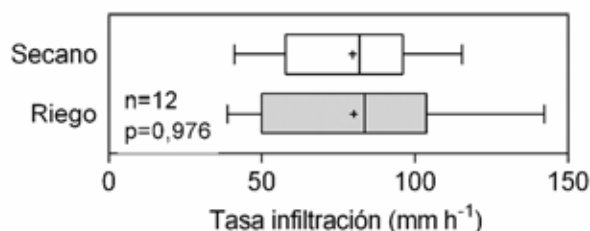


Figura 1. Boxplot de la tasa de infiltración (mm h⁻¹) para las situaciones de Secano y Riego. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75, y la interna la mediana (0,50). Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos + indican las medias de los tratamientos.

La Dap no mostró diferencias entre Secano y Riego (p>0,05) en la profundidad de 0 a 5 cm (Figura 2). De 10 a 15 cm las situaciones regadas presentaron una densidad aparente un 5,8% superior a las de secano



($p=0,0005$). No se observaron valores de Dap por arriba de los propuestos por la bibliografía como críticos.

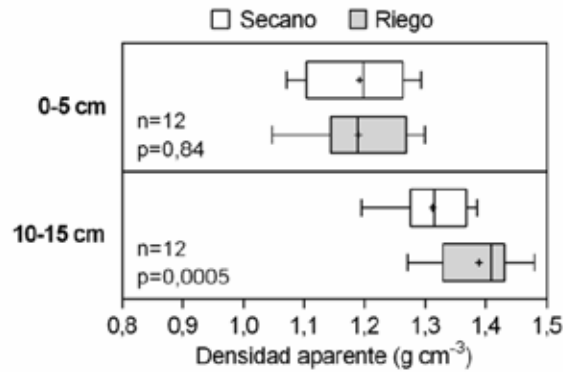


Figura 2. Boxplot de la densidad aparente (g cm^{-3}) para las situaciones de Secano y Riego de 0 a 5 cm y 10 a 15 cm de profundidad. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75, y la interna la mediana (0,50). Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos + indican las medias de los tratamientos.

La HG fue 15% mayor en Riego que en Secano de 0 a 5 cm, sin diferencias de 10 a 15 cm (Figura 3). Los valores de resistencia mecánica presentaron una importante variabilidad (Figura 4). En ninguna de las profundidades medidas se encontraron diferencias entre los tratamientos. La resistencia mecánica estuvo lineal y negativamente asociada al contenido hídrico del suelo (Figura 5) presentando mejor ajuste para la profundidad de 10-15 cm. Cabe destacar que las mediciones fueron realizadas en un rango amplio de humedad y en algunos casos en la situación de Secano se suspendió la medición cuando se llegó a valores que superaron la resistencia mecánica de 9,8 MPa.

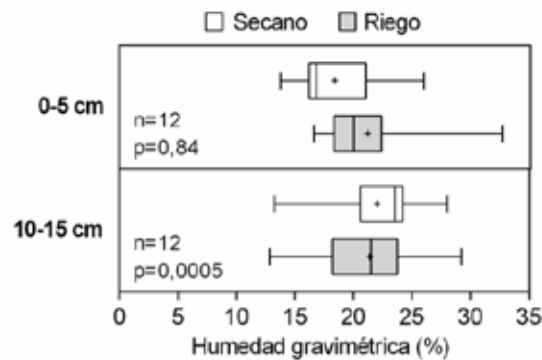


Figura 3. Boxplot de la humedad gravimétrica (%) para las situaciones de Secano y Riego de 0 a 5 cm y 10 a 15 cm de profundidad. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75, y la interna la mediana (0,50). Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos + indican las medias de los tratamientos.



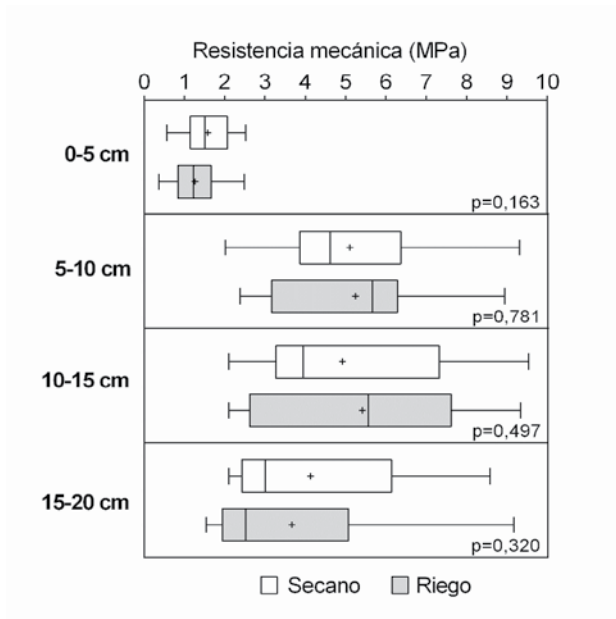


Figura 4. Boxplot de la resistencia mecánica (MPa) para las situaciones de Secano y Riego de 0 a 5 cm, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm de profundidad. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0,25 y 0,75, y la interna la mediana (0,50). Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos + indican las medias de los tratamientos.

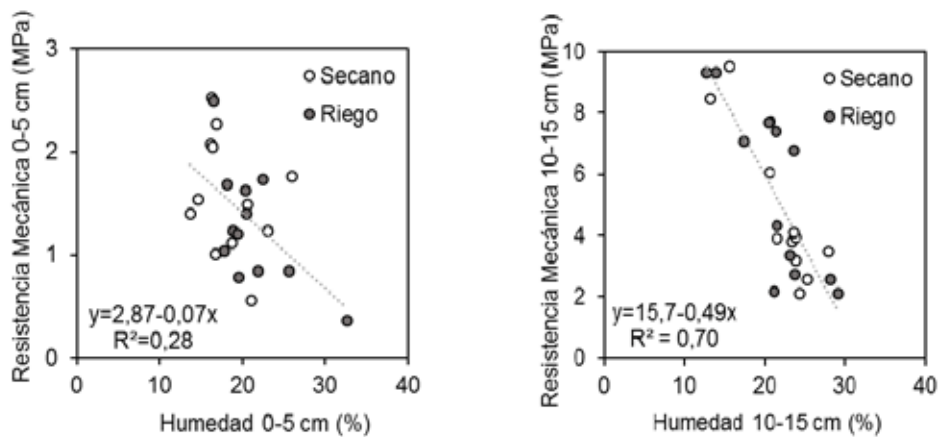


Figura 5. Relación entre Resistencia mecánica y Humedad gravimétrica. Puntos blancos: Secano. Puntos grises: Riego. La línea de ajuste incorpora todos los puntos.

La información relacionada al impacto del riego suplementario sobre las propiedades físicas del suelo en la región pampeana es escasa y con resultados dispares. En términos generales, los trabajos que comparan tasa de infiltración en situaciones con y sin riego no muestran diferencias significativas a pesar de incrementarse el PSI (Torres Duggan et al. 2012; Giubergia y Rampoldi 2016; Peralta et al. 2019). El único trabajo donde se reportan disminuciones estadísticamente significativas en la tasa de infiltración muestra que de 11 sitios analizados, 4 de ellos presentaron menores tasas de infiltraciones con riego, coincidente con los mayores incrementos de PSI (Pilatti et al. 2006). En el SE Bonaerense de la región pampeana se propuso que cuando el riego incrementa la RAS del suelo por arriba de 3,5 se detectan disminuciones en la conductividad hidráulica (Costa y Aparicio 2015). Bajos incrementos significativos se han reportado en la densidad aparente en situaciones regadas. En mediciones realizadas en el SE de la región pampeana la densidad aparente se incrementó 1,6 % (pasó de 1,20 a 1,22 g cm⁻³) por el uso de riego (Costa y Aparicio 2015). Giubergia y Ram-

poldi (2016) detectaron incrementos del 6 % de la densidad aparente en lotes regados en Manfredi, Córdoba, aunque atribuido al pasaje de máquinas sobre el suelo más húmedo en las situaciones de riego. En el mismo trabajo no se detectaron diferencias en la resistencia mecánica, entre tratamientos y al igual que en nuestro trabajo, en algunas situaciones de muestreo fue difícil la evaluación de la resistencia mecánica, llegando a superar valores de 24 MPa.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones de la calidad física edáfica realizadas en este trabajo no muestran tendencias claras ni de marcada degradación física de los suelos bajo riego. Sin embargo, es necesario el monitoreo en el largo plazo para garantizar la sustentabilidad del riego suplementario en el tiempo.

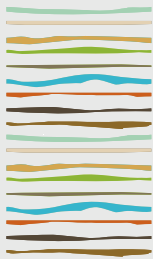
AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado con el Proyecto UBACYT 20020170100233BA. Programación 2018-2020 y por el Grupo de Riego del Sudoeste Bonaerense. Se agradece a todos los productores, empleados y técnicos de los establecimientos que colaboraron con la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bohnert HJ, RA Bressan. 2001. Abiotic stresses, plant reactions and new approaches towards understanding stress tolerance. En: Crop Science: Progress and Prospects. Noesberger, J. et al. (Eds). CABI publishing, Wallingford, UK. pp.: 81-100.
- Costa JL, VC Aparicio. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. *Agric Water Manag* 159: 299-306.
- Crescimanno G, M Iovino, G Provenzano, 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1701-1708.
- Giubergia JP, EA Rampoldi. 2016. Córdoba. Riego complementario en la provincial de Córdoba. Riego suplementario con aguas de mediana a baja calidad en la ecorregión pampeana y del espinal (Argentina). Efectos sobre suelos y cultivos. En: Taleisnik E, Lavado RS (Eds.) *Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina. Recursos y aprovechamiento productivo.* pp: 211-226. ISBN: 978-987-1922-23-9.
- Lobell DB, KG Cassman, CB Field. 2009. Crop yield gap: their importance, magnitudes, and causes. *Annu. Rev. Environ. Resourc.* 34:179-204.
- Peralta G, B Agosti, RC Gil, H Rimski Korsakov, CR Alvarez. 2019. Impacto del riego complementario sobre las propiedades físico químicas del suelo en el norte de la Provincia de Buenos Aires. *Actas VI Congreso RAS.*
- Pilatti MA, S Imhoff, P Ghiberto, RP Marano. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133:431-443.
- Salinas A, I Severina, M Bocardo, F Aimar, J Giubergia. 2016. Actualización de resultados productivos con riego suplementario: sistemas de producción en siembra directa ncontinua, módulo demostrativo y experimental INTA Manfredi. 5ta Reunión Internacional de Riego: "Uso eficiente del agua de Riego". Manfredi, Córdoba: 114-120.
- Sanchez RM, L Dunel Guerra, M Scherger. 2016. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Ediciones INTA, 74p.
- Torres Duggan M, CR Álvarez, MA Taboada, T Celesti, F Vignarolli, D D'ambrosio. 2012. Riego complementario en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina bajo siembra directa: Efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Cienc. del Suelo* 30: 201-207.
- Torres Duggan M, CR Alvarez, H Rimski-Korsakov. 2016. Evaluación y monitoreo de suelos bajo riego complementario en la Región Pampeana. En: 5º Reunión Internacional de Riego. Uso eficiente del agua para riego. Ediciones INTA. pp: 13-39.
- Van Ittersum MK, KG Cassman, P Grassini, J Wolf, P Tittonell, Z Hochman. 2013. Yield gap analysis whith local to global relevance-a review. *Field Crops Res.*: 143:4-17.





LA INICIATIVA 4p1000: UNA META DIFÍCIL DE ALCANZAR EN SUELOS CULTIVADOS DE LA PAMPA ARGENTINA

Alvarez, Roberto

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina. ralvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

Debido a la posibilidad de utilizar suelos cultivados como sumideros de carbono atmosférico, se están realizando estudios a nivel mundial para estimar el potencial de secuestro de carbono en áreas agrícolas. La iniciativa 4p1000 tiene como objetivo lograr un aumento del 4% de las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) para mitigar el calentamiento global. En la Pampa, el stock de COS se ha estimado a escala regional pero se desconoce su dinámica temporal. Utilizando información de uso de suelo, tendencias de rendimiento de los principales cultivos, stocks de COS de los suelos cultivados al año 2008 y el modelo AMG validado con experimentos locales, se estimó el balance de carbono de los suelos pampeanos entre 2008 y 2050. Se estimaron los aportes de carbono de los cultivos de granos utilizando los resultados de las redes experimentales realizadas en la región y se calcularon coeficientes locales para los efectos del cultivo de pasturas y la adopción de cultivos de cobertura sobre el COS. Entre 2008 y 2022, el balance de carbono de los suelos cultivados cambió de levemente negativo a en equilibrio como resultado de aumentos en el rendimiento y mayores aportes de carbono. Para lograr el objetivo del 4p1000 en la capa de suelo de 0-20 cm, se deben secuestrar $0,13 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ tomando como base el stock de COS en 2008. En un escenario de manejo como el actual o introduciendo cultivos de cobertura en la rotación, este objetivo no se alcanzará antes de 2050. Reemplazando parcialmente la soja por maíz o el doble cultivo trigo/soja, la meta podría alcanzarse hacia 2045. Los suelos cultivados pampeanos representarán un sumidero de carbono atmosférico en los próximos años y el manejo aplicado determinará su importancia.

Palabras clave: carbono orgánico del suelo, secuestro de carbono, modelo AMG

INTRODUCCION

Los suelos agrícolas pueden actuar como sumidero de carbono atmosférico, compensando parcialmente el calentamiento global. La iniciativa 4p1000 se ha propuesto como objetivo para lograr el secuestro de carbono en los suelos (Rumpel et al., 2019). Aumentar el stock de carbono orgánico del suelo (COS) a 40 cm de profundidad de todos los suelos no cubiertos por permafrost en $4 \% \text{ a}^{-1}$ y detener la deforestación, permitiría compensar las emisiones antropogénicas de CO_2 (De Vries, 2018). Se están llevando adelante numerosos estudios para determinar si esto es posible. Como ejemplo, las tierras de cultivo en China aumentaron su nivel de COS en la capa de 0-20 cm en $4.8 \% \text{ a}^{-1}$ entre 1980 y 2011 como resultado de un aumento en las entradas de carbono (Tao et al., 2019). Por el contrario, a escala continental, se ha estimado que no será posible lograr el 4p1000 en Europa ni en ninguno de sus países durante los próximos 30 años (Rodrigues et al., 2021). La Pampa representaría un posible sumidero de carbono atmosférico si se aplican prácticas que producen secuestro de carbono en los suelos. El objetivo de esta investigación es determinar el balance del COS en los suelos agrícolas pampeanos.



MATERIALES Y MÉTODOS

La superficie pampeana se dividió en 10 unidades geográficas (Figura 1) teniendo en cuenta que la temperatura media anual no difiriese en más de 1 °C en cada una. La base de datos climáticos del CRU (CRU, 2022) se utilizó para estimar la temperatura. A escala de unidad geográfica se estimó la temperatura media como el promedio de los valores de los polígonos CRU incluidos en las unidades. Para la simulación de los cambios en el COS en los experimentos usados para validar el modelo AMG se usó la temperatura media diaria del período 1970-2016 en que se realizaron esos experimentos. Para simular el balance de carbono en el período 2008-2020 se usó la temperatura de ese período y para simular cambios futuros del COS en el período 2020-2050 se estimó la temperatura del mismo usando las anomalías estimadas en el escenario SSP-2-4.5 del CMIP6 (World Bank Group, 2022). Este representa un punto medio entre las estimaciones más optimistas y las más pesimistas de calentamiento global.

Como línea de base se usó el mapa de COS generado en el año 2008 a partir de un relevamiento regional (Berhongaray et al., 2013). De ese mapa se extrajeron datos para los suelos cultivados de cada unidad geográfica. La textura del suelo de las unidades geográficas se extrajo de un mapa producido con los mapas de suelo de INTA (de Paepe y Alvarez, 2016). La información sobre el uso del suelo se extrajo de los censos agrícolas de los años 2008 y 2018 (INDEC, 2022) y datos de superficies asignadas a cada cultivo y sus rendimientos de las estadísticas del Ministerio Nacional de Agricultura (Minagri, 2022). El rendimiento promedio de los cultivos de las unidades geográficas se calculó como el promedio de los rendimientos de los partidos ponderados por su superficie. Las estadísticas desglosadas entre la soja como un solo cultivo o incluida en el doble cultivo trigo/soja estaban disponibles solo después del año 2000. Para el período 1970-2000, se supuso que la proporción de superficies y relaciones de rendimiento entre soja de primera y de segunda eran similares al período 2000-2020. Los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol representaron 90% del área sembrada por cultivos de granos. Cebada, avena y sorgo, el resto.

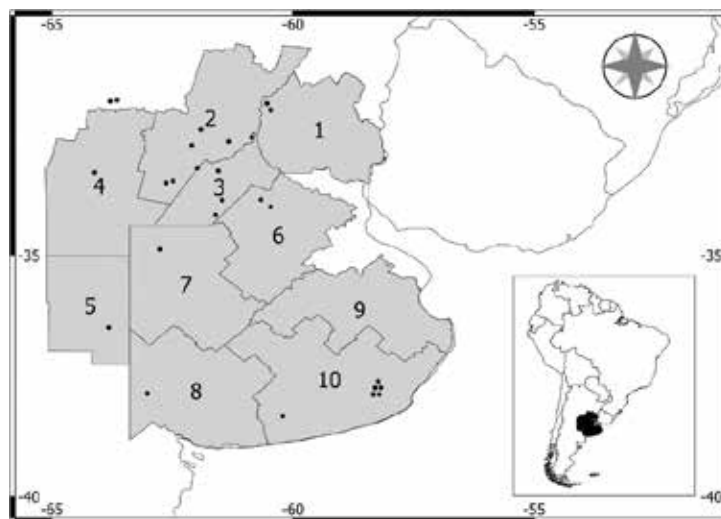


Figura 1. Mapa de la región de Pampeana que muestra las unidades geográficas y la ubicación de los experimentos utilizados para la validación del AMG. Algunos puntos se movieron ligeramente de su verdadera ubicación para evitar la superposición.

Para determinar el impacto de las pasturas sobre el COS se realizó una revisión de la literatura local. Se encontraron resultados de ocho experimentos en los que se midió el aumento del COS en la capa superior del suelo (0-15/0-20 cm), en general en pasturas base alfalfa (bibliografía disponible a pedido). En promedio el COS aumentó 4% a⁻¹ en esos experimentos. El efecto de incluir cultivos de cobertura sobre el COS se calculó con datos de una revisión local (Alvarez et al., 2017). Se estimó un aumento de 0.7% a⁻¹ del COS en el estrato 0-20 cm después de la adopción de estos cultivos en la rotación. Ese efecto duraba 10 años. No se consideró que la siembra directa pueda afectar el balance de carbono en los suelos pampeanos desde 2008 porque en ese año ya un 80% de la superficie estaba manejada bajo ese sistema de labranza (ReTAA, 2021a) y los efectos de adoptar este manejo duran unos 10 años (Steinbach y Alvarez, 2006).

La simulación de la dinámica del COS con cultivos de granos se realizó con el modelo AMG usando un factor



h (humificación) fijo de 0.21 y ajustando k (constante de mineralización) según la temperatura y textura de la unidad geográfica, en la forma propuesta por Saffih-Hdadi y Mary (2008). Para la estimación del input de carbono de los cultivos de granos se usaron coeficientes locales (Alvarez et al., 2011, 2021) para soja, maíz, trigo y girasol. Los inputs de cebada y avena se asumieron similares a los de trigo y los de sorgo similares a los de maíz. El modelo de Jackson et al. (1996) se utilizó para estimar la proporción de biomasa de raíces en el estrato 0-20 cm del perfil y corregir el input total al que recibe este estrato de suelo. La validación del AMG se realizó con datos de 26 experimentos distribuidos en la región de estudio bajo una amplia gama de condiciones de clima y suelo (Figura 1). En estos experimentos se testearon efectos de rotaciones, sistemas de labranza y regímenes de fertilización sobre el COS (74 tratamientos). Tuvieron una duración que varió de 4 a 25 años (bibliografía disponible a pedido). En ellos se reportaban también los inputs de carbono al suelo o los rendimientos. En este último caso el input se calculó con los coeficientes locales antes indicados. Se extrajeron datos de stock de COS y cuando estaba disponible la concentración de COS se estimó el stock aplicando el método de Post y Know (2000) para calcular la densidad aparente. Las reservas de COS observadas y estimadas por el AMG al final del período experimental se compararon mediante análisis de regresión, probando la ordenada y la pendiente de la línea de ajuste entre datos observados y estimados contra 0 y 1, respectivamente, con la t.

El stock COS del año 2008 se utilizó como el valor inicial para el cálculo del balance de carbono de cada unidad geográfica. En el área bajo pasturas de cada unidad se estimó un aumento de 4% a⁻¹ del COS. Para estimar el impacto de los cultivos de grano, se usó el AMG y la entrada de carbono al humus y la salida por mineralización se calcularon anualmente. El impacto de los cultivos de cobertura se estimó en 0.7% a⁻¹ durante 10 años. El modelo general para el cálculo del balance anual de COS de cada unidad geográfica fue:

$$\Delta SOC = \frac{S_p \times \Delta SOC_p + S_{GC} \times \Delta SOC_{GC} + S_{CC} \times \Delta SOC_{CC}}{S_p + S_{GC}}$$

donde: ΔSOC es el balance de COS de cada unidad geográfica, ΔSOC_p es el incremento anual de COS por efecto pastura, ΔSOC_{GC} es el balance de COS anual calculado con el AMG en suelos con cultivos de granos, ΔSOC_{CC} es el aumento anual de COS con adopción de cultivos de cobertura, S_p , S_{GC} y S_{CC} son las superficies asignadas a pasturas, cultivos de granos y con cultivos de cobertura respectivamente. La suma de S_p y S_{GC} representa el área cultivada total por unidad. El promedio ponderado por la superficie de los balances de las unidades constituyó el balance de COS de toda la región.

Para la estimación de los cambios futuros de COS, en el escenario de manejo como el actual se asumió que el área asignada a los diferentes cultivos no cambiaría entre 2020 y 2050. Solo el rendimiento de los cultivos aumentó según la tendencia observada en el período 1970-2020. En el escenario con cultivos de cobertura, se asumió que también se producen aumentos de rendimiento y que se adoptarían cultivos de cobertura en 2.5% a⁻¹ del área cultivada con cultivos de verano (para el año 2020 su adopción se estimó nula ReTAA, 2021b). Finalmente, en los escenarios con sustitución de soja en la rotación, se asumió que el 5% del área de soja sería reemplazado anualmente por maíz o por el doble trigo/soja hasta que el área de soja se reduzca al 50%. En estos casos también el aumento anual en el rendimiento observado en el pasado se proyectó al futuro. En todos los casos se asumió un input de carbono de la vegetación silvestre de 0.6 t ha⁻¹ a⁻¹ (Alvarez et al., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio, eliminando construcciones, lagunas, afloramientos rocosos y salares, fue de 45 Mha. Alrededor de 33 Mha se cultivan con cultivos de granos y forrajes (año 2020). El área cultivada aumentó levemente (4%) entre 2008 y 2020 a expensas de pastizales. La soja representó en este período 46% del área sembrada con cultivos de granos. En la capa de 0-20 cm, como promedio regional, el stock de COS fue de 32,6 t SOC ha⁻¹. Para lograr el objetivo de 4p1000 en esta capa de suelo es necesario secuestrar 130 kg C ha⁻¹ año⁻¹. Si las estimaciones se hacen para la capa de 0-40 cm, el stock medio de COS es de 53,6 t ha⁻¹ y el secuestro de carbono debería ascender a 214 kg C ha⁻¹ año⁻¹.



El modelo lineal describió el incremento de rendimiento de los cultivos a nivel de unidades geográficas y para toda la región adecuadamente ($R^2 = 0.52-0.85$). La ganancia anual de rendimiento fue de 118, 42, 30, 33 y 21 kg ha^{-1} para maíz, trigo, girasol, soja de primera y soja de segunda respectivamente.

En los experimentos utilizados para validar el modelo AMG hubo una disminución del COS en la mayoría de los tratamientos (Figura 2A). El modelo simuló bien el COS al final del período experimental en la mayoría de los casos (Figura 2B). Como promedio la pérdida de COS estimada por el AMG y los valores observados fueron muy similares (Figura 3C). En consecuencia, se consideró que el modelo era adecuado para realizar estimaciones regionales de cambios en el COS debido al manejo.

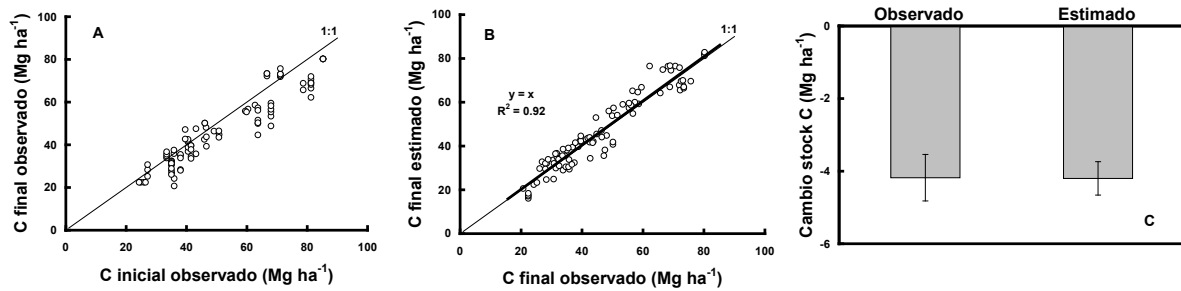


Figura 2. Desempeño del modelo AMG para estimar el stock de COS en la capa 0-20 cm. A: relación entre el COS inicial y final medido en 26 experimentos de manejo; B: relación entre el COS estimado y observado en 26 experimentos después de diferentes períodos bajo manejos contrastantes; C: cambios promedio en el COS en 26 experimentos observados in situ y simulados. Las barras representan errores estándar.

En 2008 se calculó un balance de carbono negativo para la región y, a medida que aumentaron los aportes de carbono debido a la mayor productividad, el balance se acerca a cero (Figura 3). En el escenario futuro con manejo como el actual se estimó que los suelos pampeanos ganaran COS, sin embargo, el objetivo de 4p1000 no se alcanzaría durante el período de estudio. La adopción gradual de cultivos de cobertura aumentará el COS respecto del manejo actual, pero tampoco se logrará el 4p1000. Reemplazar parte del área cultivada con soja por maíz o trigo/soja es la mejor estrategia para incrementar el COS en los suelos pampeanos. Esto puede permitir alcanzar el 4p1000 alrededor de 2050. En todos los escenarios se estimó que la Pampa actuará como sumidero de carbono atmosférico durante las próximas décadas.

La Región Pampeana se convertirá en un sumidero de CO_2 , pero será difícil alcanzar la meta de 4p1000 incluso si se implementa el manejo adecuado. Otros escenarios posibles orientados al secuestro de carbono como la reducción de la superficie cultivada para forestar o la reconversión de suelos agrícolas a pastizales no son realistas. Tampoco es probable la expansión de la agricultura debido a que los pastizales remanentes se encuentran mayoritariamente en suelos hidromórficos.



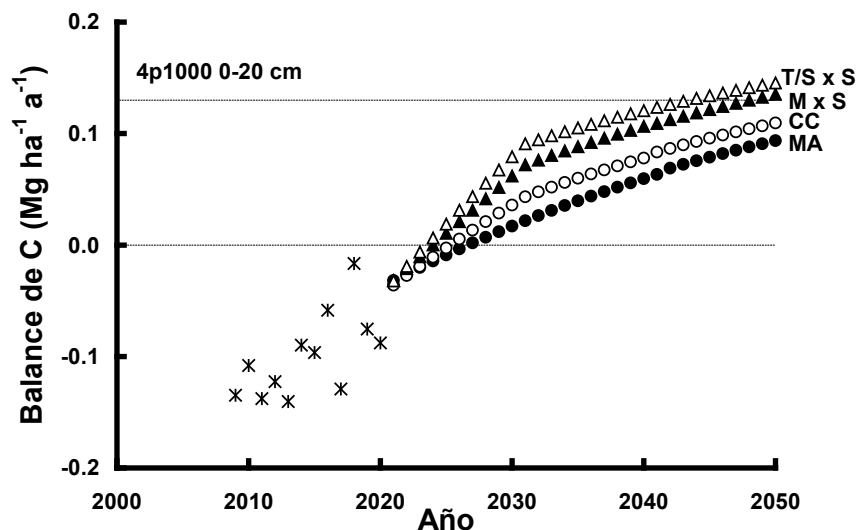


Figura 3. Balance de carbono de suelos pampeanos. Se presenta en línea punteada el balance de carbono necesario para alcanzar la iniciativa 4p1000 en la capa de suelo de 0-20 cm. MA: manejo actual, las áreas asignadas a los cultivos no cambiarán, pero los rendimientos aumentarán, CC: adopción de cultivos de cobertura en el 2,5 % del área dedicada a cultivos de verano por año, M x S: sustitución anual del 5 % de el área sembrada con soja por maíz hasta que el área sembrada con soja disminuya al 50%, T/S x S: sustitución anual del 5% del área sembrada con soja por trigo/soja hasta que el área sembrada con soja se reduzca al 50%.

El balance de carbono se calculó para el estrato 0-20 cm debido a que en los experimentos usados para validar el AMG y en aquellos con los que se estimó los coeficientes de efecto pastura y cultivo de cobertura se midieron cambios del COS generalmente en ese estrato. Extrapolar estos resultados al estrato 0-40 cm es arriesgado. La revisión de 15 trabajos de síntesis (bibliografía disponible a pedido) sobre el impacto del manejo en el COS a diferentes profundidades indica que el mismo depende del ecosistema considerado.

Los suelos pampeanos están lejos de la saturación (Alvarez y Berhongaray, 2021). En consecuencia, que se produzca secuestro de carbono en la región depende del input de carbono que reciban los suelos. Por otro lado, existe una amplia brecha de rendimiento en los principales cultivos (Aramburu Merlos et al., 2015) y parece muy probable que se mantenga la velocidad de ganancia de rendimiento de los cultivos en el futuro gracias a mejoras tecnológicas. Todo esto hace que las estimaciones realizadas en este trabajo no parezcan demasiado optimistas.

CONCLUSIONES

Utilizando métodos ajustados localmente, este estudio muestra que los suelos de la Región Pampeana pueden convertirse en sumideros de carbono atmosférico. Si se mantiene la tasa de aumento de rendimiento actual, el objetivo de 4p1000 no se alcanzará para 2050 en la capa de suelo de 0-20 cm. Reemplazando parte del área cultivada con soja por cultivos que aporten mayores aportes de residuos, se puede lograr la meta. Los cultivos de cobertura son una práctica de manejo que puede mejorar el nivel de COS en los suelos pampeanos, pero su efecto es limitado. Que se sustituya la soja por cultivos de mayor biomasa o se adopten cultivos de cobertura dependerá de los incentivos económicos que reciban los agricultores.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (UBACYT 20020170100016BA, 2018-2022).

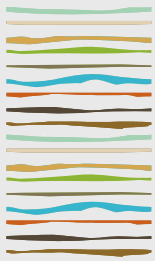
BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, R., Berhongaray, G. 2021. Soil organic carbon sequestration potential of Pampean soils: comparing methods and estimation for surface and deep layers. Soil Research <https://doi.org/10.1071/SR20257>
- Alvarez, R., Steinbach, H.S., Bono, A. 2011. An artificial neural network approach for predicting soil carbon budget in agroecosystems. Soil Sci. Soc. Am. J. 75, 965-975.



- Alvarez, R., Steinbach, H.S., De Paepe J.L. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the Pampas: A meta-analysis. *Soil Till. Res.* 170, 45-53.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercu, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Res.* 184, 145-154.
- Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J.L., Caride, C., Cantet, R. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. *Geoderma* 192, 97-110.
- CRU, 2022. Climate Research Unit. High-resolution gridded datasets. Disponible en <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (acceso 05/23/2021).
- de Paepe, J.L., Alvarez, R. 2016. Wheat yield gap in the pampas: modeling the impact of environmental factors. *Agron. J.* 108, 1367-1378.
- de Vries, W. 2018. Soil carbon 4 per mille: a good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations. *Geoderma* 309: 111-112.
- INDEC (2022) Censos Agropecuarios 2002, 2008 and 2018. Disponible en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87> (Acceso 02/20/2022).
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.A., Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108, 389-411.
- MINAGRI. 2022. Ministerios de agricultura, ganadería y pesca-Argentina. Estimaciones agrícolas, series históricas. Disponible en: <https://www.magyp.gov.ar/sitio/areas/estimaciones/> (Acceso 02/25/2022).
- Post, W.M., Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Glob. Change Biol.* 6: 317-37.
- ReTAA. 2021a. Prácticas ambientales en la agricultura argentina. Informe mensual N° 41. Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Argentina, pp.13.
- ReTAA. 2021b. Cultivos de cobertura. Informe mensual N° 42. Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Argentina, pp.8.
- Rodrigues, R., Hardy, B., Huyghebeart, B., Fohrafellner, J., Fornara, D., Barančíková, G., Bárcena, T.G., De Boever, M., Di Bene, C., Feizienė, D., Kätterer, T., Laszlo, P., O'Sullivan, L., Seitz, D., Leifeld, J., 2021. Achievable agricultural soil carbon sequestration across Europe from country-specific estimates. *Glob. Change Biol.* 27, 6363-6380.
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C., García Cardenas, M., Kaonga, M., Koutika, L.S., Ladha, J., Madari, B., Shirato, Y., Smith, P., Soudi, B., Soussana, J.F., Whitehead, D., Wollenberg, E. 2019. The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio* DOI: 1.1007/s13280-019-01165-2.
- Saffih-Hdada, K., Mary, B. 2008. Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biol. Biochem* 40, 594-607.
- Tao, F., Palosuo, T., Valkama, E., Mäkipää, R. 2019. Cropland soils in China have a large potential for carbon sequestration based on literature survey. *Soil Till. Res.* 186, 70-78.
- World Bank Group. 2020. Climate Change Knowledge Portal. Disponible online: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/argentina/climate-data-projections>. (acceso 05/07/2020).





CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE ESTEPAS EN PASTOREO QUE AFECTAN SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

Aramayo, V.^{1*}, B.M. García Falabella², M.V. Cremona¹, D.M. Nosetto³

¹INTA EEA Bariloche;

²IFAB ;

³GEA - IMASL .

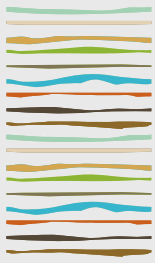
* Modesta Victoria 4450, (8400)Bariloche, Prov. de Río Negro, aramayo.valeria@inta.gob.ar

RESUMEN

La modelación hidrológica en paisajes de zonas áridas es compleja dada la heterogeneidad espacial de las propiedades físicas e infinidad de interacciones entre factores como el suelo, la vegetación, los agentes climáticos y el manejo. La ganadería extensiva sobre pastizales naturales como forma de uso de la tierra abarca la mayor parte de la superficie de la Patagonia, sin embargo, existen vastos interrogantes sobre las características del suelo que condicionan los flujos del ciclo hidrológico en dichos ambientes. Para entender mejor la respuesta hidrológica de los paisajes patagónicos en pastoreo estudiamos las propiedades físicas de una ladera de estepa arbustivo-graminosa en dos estados distintos por diferente pastoreo histórico (Bonvissuto et al. 1993) en la salida del invierno, con elevada humedad antecedente. Se evaluaron: la resistencia a la penetración (kg/cm^2) con penetrómetro manual, la densidad aparente (gr/cm^3) con el método del cilindro y el índice de infiltración (mm/min) con un infiltrómetro de anillo simple, en dos posiciones de la ladera conectadas hidrológicamente (ladera alta – ladera baja) para los estados III y IV (este último más alterado por pastoreo). Los análisis estadísticos se realizaron en R empleando el test de Kruskal-Wallis. Encontramos que las tres variables físicas difieren entre estados de la vegetación ($p < 0.1$). La posición en el paisaje mostró diferencias para la resistencia ($p = 0.01$), donde los valores promedio de ladera alta fueron $1,5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y $1,2 \text{ kg}/\text{cm}^2$; ladera baja $0,62 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y $1,01 \text{ kg}/\text{cm}^2$ para los estados III y IV, respectivamente. Hubo interacción entre estado y posición para la resistencia ($p = 0.002$) y el índice de infiltración ($p < 0.001$). El índice de infiltración distingue al estado IV en posición alta del resto, con un promedio de $2,16 \text{ mm}/\text{min}$. Esa combinación de los factores evaluados indicaría que es el elemento del paisaje con menor capacidad de capturar el agua de las precipitaciones dada por mayor resistencia y menor índice de infiltración. Las diferencias en las propiedades físicas del suelo evaluadas para los distintos estados producto del pastoreo histórico pueden tener efecto en el comportamiento hidrológico con diferente respuesta ante las precipitaciones. Las alteraciones sobre los flujos del ciclo hidrológico en los pastizales naturales afectan el uso eficiente del agua.

Palabras clave: estepas, propiedades físicas, pastoreo.





FENÓMENO EL NIÑO Y PRODUCTIVIDAD DE PASTIZALES EN SUELOS CONTRASTANTES DE LA PAMPA DEPRIMIDA

Asad, J.^{1,*}, A.V. Eljall Qüesta², P. Preliasco², J.L. De Paepe^{1,3}

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

*Av. San Martín 4453 (CP1417), Buenos Aires, Argentina, jasad@agro.uba.ar;

²Fundación Vida Silvestre, Argentina;

³CONICET

RESUMEN

La productividad primaria neta aérea (PPNA) determina la capacidad de carga ganadera a asignar en sistemas extensivos y esta, a su vez, depende de factores edáficos como el tipo de suelo y climáticos, como las precipitaciones. En la Región Pampeana, la variabilidad inter-anual de la precipitación está influenciada por el fenómeno atmosférico y oceánico El Niño Oscilación Sur (ENOS), cuya ocurrencia de fases extremas -La Niña y El Niño- puede ser predicha con varios meses de anticipación. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del fenómeno ENOS sobre la PPNA de pastizales en dos suelos contrastantes en establecimientos ganaderos de la Pampa Deprimida durante el periodo 2000-2019. Se obtuvieron datos de PPNA de pastizales sobre suelos de lomas/medias lomas y bajos salinos estimados a partir del sensor remoto MODIS utilizando el modelo ecofisiológico de Monteith. Se utilizó el Oceanic Niño Index (ONI) para cuantificar el fenómeno ENOS e identificar sus fases. Se realizaron regresiones lineales entre los valores trimestrales de la PPNA y el ONI. Por un lado, no se identificaron influencias significativas del fenómeno ENOS sobre la PPNA de los suelos de loma/media loma. Por otro lado, se determinó una relación positiva entre la PPNA de los bajos salinos durante los meses estivales y el ONI de la misma estación -verano- ($R^2=0,22$; $p<0,05$) y de la estación anterior -primavera- ($R^2=0,21$; $p<0,05$). Los resultados obtenidos en este análisis sobre los patrones de la PPNA ante las distintas fases del fenómeno ENOS resultan útiles para la asignación eficiente de las cargas ganaderas. De esta manera se busca contribuir al manejo adaptativo de los lotes ganaderos, evitando la degradación del pastizal y del suelo en esta área importante para la conservación.

Palabras clave: manejo adaptativo, carga ganadera, bajos salinos

INTRODUCCIÓN

Los suelos salinos e inundables de la Pampa Deprimida poseen el 80% de su superficie dominada por pastizales naturales que sustentan gran parte de la producción ganadera del país (Roitman & Preliasco, 2018). Debido a su bajo grado de protección y a la asignación de inadecuadas cargas ganaderas, los pastizales y los suelos de la Pampa Deprimida están sufriendo procesos de degradación desde hace varias décadas (Vecchio et al., 2019). La implementación de manejos adaptativos que concilien la producción ganadera con la conservación del pastizal y los suelos es de alta importancia para asegurar la sustentabilidad productiva y ambiental en la región (Rodríguez & Jacobo, 2012).

La productividad primaria neta aérea (PPNA) del pastizal determina la capacidad de carga ganadera a asignar en sistemas extensivos (Golluscio, 2009). La PPNA depende de múltiples variables como el tipo de suelo y las precipitaciones. En la Región Pampeana, la variabilidad inter-anual de la precipitación está influenciada por el fenómeno atmosférico y oceánico El Niño Oscilación Sur (ENOS) (Penalba et al., 2019). A diferencia de la precipitación, la ocurrencia e intensidad de este fenómeno puede ser predicha al menos tres meses antes (Raynor et al., 2020). Si se establece una relación entre el fenómeno ENOS y la PPNA de los pastizales, se



podrá anticipar la capacidad de carga a asignar en los lotes ganaderos y evitar así la posible degradación del recurso forrajero y edáfico.

En la Pampa Deprimida, la heterogeneidad de los suelos da origen a distintos tipos de pastizal (Batista et al., 2005). En la posición topográfica más alta, denominada loma/media loma, los suelos son profundos y productivos, donde se encuentra la pradera de mesófitas. En la posición más baja, denominada bajo salino, los suelos son alcalinos e inundables, donde se encuentra la estepa de halófitas (Oyarzabal et al., 2018). El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del fenómeno ENOS sobre la PPNA de pastizales en dos suelos contrastantes: loma/media loma y bajo salino, en establecimientos ganaderos de la Pampa Deprimida durante el periodo 2000-2019.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Este trabajo se desarrolló en tres establecimientos ganaderos ubicados al este de la Pampa Deprimida, en el departamento de General Lavalle de la Provincia de Buenos Aires (36° 35' S; 56° 45' O). Los establecimientos se encuentran muy cercanos a la costa del océano Atlántico, por lo que gran parte de los suelos son de textura arenosa, del orden de los entisoles (INTA, 1990). La mayor parte de la cobertura vegetal de los establecimientos está conformada por especies de pastizales naturales o seminaturales, en donde se desarrollan actividades de ganadería de cría de tipo extensiva. El área de estudio posee un clima subhúmedo, con una precipitación media anual histórica de 982 mm (SMN, 2022).

Toda la región que incluye a los establecimientos está designada como Área Valiosa de Pastizal (AVPs) debido al buen estado de conservación de su flora y fauna nativa (Bilenca & Miñarro, 2004). Además, desde el año 2012, los tres establecimientos forman parte de la Red de Refugios de Vida Silvestre de la Fundación Vida Silvestre Argentina (FVS), donde se comenzó a integrar la actividad ganadera con la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad (FVS, 2017).

Generación de base de datos

Fenómeno ENOS

El fenómeno ENOS fue cuantificado mediante los valores trimestrales del Oceanic Nino Index (ONI) obtenidos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Este índice se estima en base a las anomalías trimestrales de la temperatura superficial (°C) del Océano Pacífico tropical (región Niño 3.4) (NOAA, 2022). Este índice define la fase El Niño cuando sus valores son mayores a 0,5°C, la fase La Niña cuando son menores a -0,5°C y la fase Neutral cuando oscilan entre 0,5°C y -0,5°C. Se considera una fase El Niño intensa cuando los valores del ONI son mayores o iguales a 1°C y una fase La Niña intensa cuando son menores o iguales a -1°C (NOAA, 2022). Generalmente en la Región Pampeana durante las fases La Niña hay menor precipitación que la media, mientras que, durante las fases El Niño hay mayor precipitación que la media (Penalba et al., 2019). El ONI estacional es el valor trimestral considerado para cada una de las estaciones del año: verano: enero-febrero-marzo, otoño: abril-mayo-junio, invierno: julio-agosto-septiembre y primavera: octubre-noviembre-diciembre.

Suelos contrastantes

Mediante la combinación de información satelital: mapas topográficos (Jarvis et al., 2008), mapas de anegamiento (Pekel et al., 2016), mapas de suelo (INTA, 1990) e información provista por los encargados de los establecimientos, se identificaron 5 lotes representativos de los suelos de loma/media loma y 5 lotes representativos de los suelos de bajos salinos. En noviembre del 2021 se realizó un viaje a uno de los establecimientos a fin de validar a campo dicha información. Para garantizar la homogeneidad de los tratamientos, se aseguró que los 10 lotes hayan mantenido manejos similares durante todo el periodo de estudio, los cuales consistieron en pastoreos con baja o nula rotación en pastizales naturales, sin promoción o implantación de pasturas ni aplicación de herbicidas.

Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA)

Se obtuvo la PPNA de toda la superficie de los establecimientos estimada mediante el sensor remoto MODIS, el cual posee una resolución espacial (píxel) de 250x250 m (5,4 ha). Utilizando el software QGIS versión 3.16,



se seleccionaron los píxeles dentro de cada lote a analizar que contenían cobertura de pastizales naturales. La escala temporal utilizada va desde marzo del 2000 hasta diciembre del 2019. Los datos de PPNA fueron provistos por el Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART), el cual, mediante el sistema de seguimiento forrajero desarrollado por Grigera et al., (2007), estima la PPNA de pastizales basándose en la lógica del modelo ecofisiológico de Monteith (Monteith, 1972).

Análisis estadístico

La base de datos consistió en 77 píxeles sobre los lotes de suelos de loma/media loma y 38 píxeles sobre los lotes de suelos de bajo salino. A fin de establecer un valor de PPNA media por lote, se promediaron los valores de la PPNA de los píxeles de cada lote. Se calculó la PPNA estacional ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$) como la PPNA acumulada por trimestre según estación.

Para ambos suelos contrastantes se realizó un análisis de regresión lineal entre la PPNA estacional (variable dependiente) y el ONI estacional (variable independiente), tanto para una misma estación, como para estaciones desfasadas, es decir, la relación de la PPNA de una estación con el ONI de la estación anterior. Se evaluó la significancia de la regresión mediante el valor p ($p < 0,1$; $p < 0,05$; $p < 0,001$).

También, se calcularon los residuales de la PPNA estacional como la diferencia entre el valor observado y el estimado por la ecuación lineal de la regresión para ambos tipos de suelo con la finalidad de identificar patrones y realizar una comparación entre dichos residuales con las fases del ENOS. Se estableció que un residual se asocia de forma relevante con el fenómeno ENOS cuando este supera el valor de su desvío estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La PPNA estacional fue mínima en el otoño, con medias de $1013 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$ y $989 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$ y máxima en la primavera, con medias de $2104 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$ y $1764 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$ para loma/media loma y bajo salino respectivamente.

No se encontraron relaciones significativas entre la PPNA estacional y el fenómeno ENOS de la misma estación en los suelos de loma/media loma (**Tabla 1**). En suelos de bajo salino, se observó una relación significativa y positiva entre la PPNA del verano y el ONI del verano ($p < 0,05$) (**Figura 1**).

Tabla 1. Coeficientes de determinación (R^2), valores p y modelos de regresión simple entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) estacional ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$) (variable dependiente) y el Oceanic Nino Index ($^{\circ}\text{C}$) (ONI) (variable independiente) de la misma estación para todo el periodo de estudio (2000-2019) en los suelos contrastantes loma/media loma y bajo salino.

Loma/Media Loma			
Estación PPNA-ONI	R^2	Valor-p	Modelo
Otoño	0,04	0,42	-
Invierno	0,02	0,57	-
Primavera	0,01	0,73	-
Verano	0,13	0,12	-
Bajo Salino			
Estación PPNA-ONI	R^2	Valor-p	Modelo
Otoño	0,002	0,84	-
Invierno	0,02	0,57	-
Primavera	0,02	0,56	-
Verano	0,22	0,04**	PPNA verano = 1661 + 94,5*ONI verano

($p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$)

Figura 1. Relación entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) estacional del bajo salino y el Oceanic Nino Index (ONI) del verano. Los puntos azules representan estaciones en fases La Niña, los puntos rojos fases El Niño y los puntos negros fases Neutrales.

Analizando la relación entre las estaciones desfasadas, se obtuvo a un resultado similar. Solamente en los bajos salinos la relación de la PPNA del verano con el ONI de la primavera fue significativa y positiva ($p < 0,05$) (**Tabla 2 y Figura 2**).



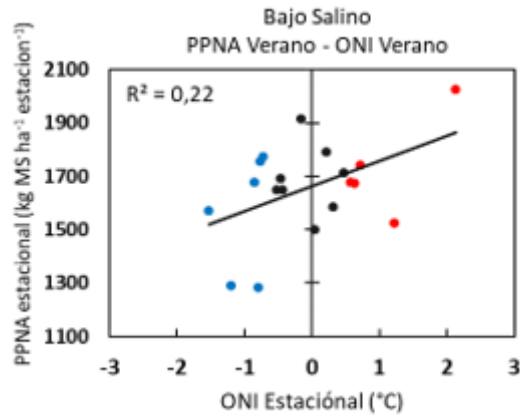


Tabla 2. Coeficientes de determinación (R^2), valores p y modelos de regresión simple entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) estacional ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$) (variable dependiente) y el Oceanic Niño Index ($^{\circ}\text{C}$) (ONI) (variable independiente) de la estación anterior para todo el periodo de estudio (2000-2019) en los suelos contrastantes loma/media loma y bajo salino.

Loma/Media Loma				
Estación PPNA	Estación ONI	R^2	Valor-p	Modelo
Otoño	Verano	0,003	0,82	-
Invierno	Otoño	0,07	0,27	-
Primavera	Invierno	0,02	0,58	-
Verano	Primavera	0,14	0,12	-
Bajo Salino				
Estación PPNA	Estación ONI	R^2	Valor-p	Modelo
Otoño	Verano	0,02	0,58	-
Invierno	Otoño	0,02	0,53	-
Primavera	Invierno	0,01	0,61	-
Verano	Primavera	0,21	0,04**	PPNA verano= 1746 + 85,81*ONI primavera

($p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$)

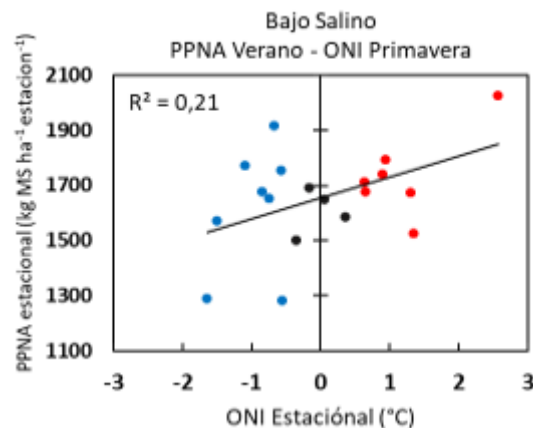


Figura 2. Relación entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) estacional del bajo salino del verano y el Oceanic Niño Index (ONI) de la primavera. Los puntos azules representan estaciones en fases La Niña, los puntos rojos fases El Niño y los puntos negros fases Neutrales.

Estos resultados llevan a inferir que la PPNA de los bajos salinos durante el verano, se encuentra influenciada por el fenómeno ENOS, tanto por su manifestación en el verano como en la primavera. Una interpretación implica que en la primavera y el verano con ocurrencia de fases El Niño, hay mayores precipitaciones y los bajos salinos almacenan agua en el perfil de suelo por su topografía, lo que resulta en un mejor desarrollo del pastizal durante la época estival. Lo contrario ocurre cuando se manifiestan fases La Niña, donde menores precipitaciones conllevan a no almacenar agua en el perfil, lo que disminuye el desarrollo del pastizal.



Los resultados de este análisis brindan dos modelos de mejor ajuste (**Tablas 1 y 2**) en donde la PPNA del bajo salino durante el trimestre estival puede ser predicha de acuerdo con los valores del ONI tanto de la primavera como del verano brindados con al menos tres meses de anticipación por NOAA. En pastoreos rotativos por ambientes, durante el verano, los pastizales de los bajos salinos son utilizados por el ganado ya que se encuentran con alta productividad, mientras que los pastizales de loma y media loma están en periodo de descanso (Rodríguez y Jacobo, 2012). Este análisis permite realizar estimaciones más eficientes y anticipadas de la carga ganadera a asignar en los lotes predominantes de bajos salinos según el ONI, a fin de evitar un sobrepastoreo, generando la degradación del recurso forrajero y edáfico (Vecchio et al., 2019).

Los residuales de la PPNA estacional durante las distintas fases del fenómeno ENOS no presentan patrones muy claros (**Figura 3**). Generalmente durante estaciones en fases La Niña hay una disminución en la PPNA observada, respecto a la estimada. Por ejemplo, en el año 2011, donde se manifestó una fase La Niña muy intensa, la PPNA observada fue aproximadamente 10% menor que la estimada en casi todas las estaciones para ambos tipos de suelo. Las estaciones en fases El Niño, no generan un aumento en la PPNA observada, sino que, en ocasiones se ve disminuida. Por ejemplo, en el año 2015, donde se manifestó una fase El Niño muy intensa la PPNA observada fue aproximadamente 8% menor que la estimada en casi todas las estaciones para ambos suelos. Finalmente, las estaciones con predominancia de fase Neutral no muestran un patrón de aumento o reducción de la PPNA.

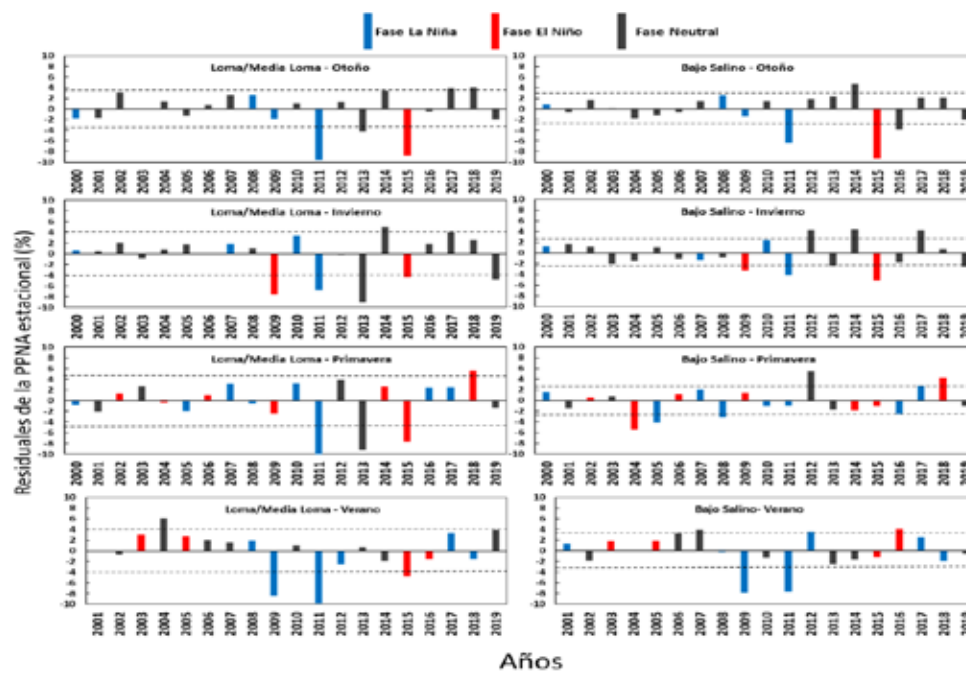


Figura 3. Residuales (diferencia entre el valor observado y el estimado por la ecuación lineal de regresión, representado en porcentaje) de la PPNA estacional de cada estación del periodo de estudio para los 2 ambientes contrastantes y su asociación con las distintas fases del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS). Las columnas azules representan estaciones en fase La Niña, las rojas estaciones en fase El Niño y las negras en estación neutral. La línea punteada representa el desvío estándar del residual de la PPNA para cada estación. La estación verano del 2000 fue excluida del análisis ya que no se cuenta con datos de PPNA de enero y febrero.

Las correlaciones y los patrones observados fueron similares a los obtenidos en otra investigación, donde se concluyó que el fenómeno ENOS influye la productividad de la vegetación en gran parte de la Región Pampeana, excepto en el área influenciada por el océano Atlántico, como lo es el área de estudio de este trabajo (Lara et al., 2020).

CONCLUSIONES

Este trabajo brinda un nuevo análisis sobre los patrones de la PPNA ante las distintas fases del fenómeno ENOS en dos suelos contrastantes de la Pampa Deprimida, los cuales resultan útiles para la asignación efi-

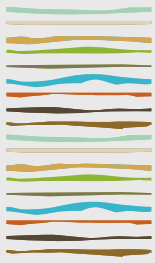


ciente de las cargas ganaderas, buscando contribuir al manejo adaptativo de los lotes ganaderos, evitando la degradación del pastizal y del suelo en esta área importante para la conservación. Sin embargo, se concluye que este mismo análisis se deberá hacer con mayor profundidad, abarcando un territorio más extenso e incluyendo más información sobre la variabilidad espacial en la región, a fin de confirmar la respuesta observada en la PPNA de los bajos salinos ante el fenómeno ENOS. Finalmente, se establece que el crecimiento de los pastizales de esta área de estudio tan cercana al océano Atlántico no está altamente influenciado por el fenómeno ENOS en comparación a otros sectores más continentales de la Región Pampeana.

BIBLIOGRAFÍA

- Batista, W. B., Taboada, M. A., Lavado, R. S., Perelman, S. B., & León, R. J. (2005). Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. En M. Oesterheld, M. M. Aguiar, C. M. Ghersa, & J. M. Paruelo, La heterogeneidad de la vegetación en los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando J. C. León (págs. 113-129).
- Bilenca, D., & Miñarro, F. (2004). Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y Sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre Argentina.
- FVS. (2017). Red de Refugiós de Vida Silvestre. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Golluscio, R. (2009). Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral* 19, 215-232.
- Grigera, G., Oesterheld, M., & Pacín, F. (2007). Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems* 94, 637-648.
- INTA. (1990). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de Suelos de la República Argentina - Carta 3757 - 10 y 4 - General Lavalle.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- Lara, B., Gandini, M., Gantes, P., & Matteucci, S. D. (2020). Trends and land surface phenological responses to climate variability in the Argentina Pampas. *Geographical Research Letters*, 46 (2), 581-602.
- Monteith, J. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9, 747-766.
- NOAA. (2022). National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., . . . León, R. J. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28, 40-63.
- Pekel, F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, vol 540, 418-422.
- Penalba, O. C., Pantano, V. C., Spescha, L. B., & Murphy, G. M. (2019). El Niño-Southern Oscillation incidence over long dry sequences and their impact on soil water storage in Argentina. *International Journal of Climatology*, 39 (4), 2362-2374.
- Raynor, E. J., Derner, J. D., Hoover, D. L., Parton, W. J., & Augustine, D. J. (2020). Large-scale and local climatic controls on large herbivore productivity: implications for adaptive rangeland management. *Ecological Applications*, 0(0), 1-15.
- Rodríguez, A. M., & Jacobo, E. J. (2012). Manejo de pastizales naturales para una ganadería sustentable en la Pampa Deprimida. Kit de extensión para las pampas y campos. Buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal. Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Roitman, G., & Preliasco, P. (2018). Guía de reconocimiento de herbáceas de la Pampa Deprimida. Características para su manejo. Fundación Vida Silvestre Argentina.
- SMN. (2022). Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas.
- Vecchio, M. C., Bolaños, V.A., Golluscio, R.A. & Rodríguez, A. M. (2019) Rotational grazing and exclosure improves grassland condition of the halophytic steppe in Flooding Pampa (Argentina) compared with continuous grazing. *The Rangeland Journal* (41), 1-12.





EFFECTO DEL DESMONTE SOBRE COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO Y LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA

Aschkar, G.M.^{1*}, M.A. Luna^{1,2}, G.I. Pellejero¹, L. Albrecht¹, J.C. Lobartini³

¹ CURZA, Universidad Nacional del Comahue. Viedma, Argentina;

² Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica. Viedma, Argentina;

³ Universidad Nacional del Sur. Dpto. Agronomía. Bahía Blanca, Argentina.

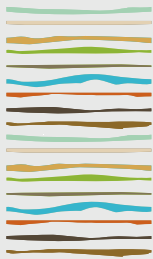
* Monseñor Esandi y Ricardo Balbín, Viedma (8500), Prov. Río Negro. gabrielaschkar@gmail.com

RESUMEN

En los últimos años, en el departamento Adolfo Alsina de la Provincia de Río Negro, donde se realizó el presente estudio, se ha producido un importante avance de los desmontes con el fin de utilizar la tierra para agricultura de secano, ya sea para verdeos invernales, destinados al pastoreo de hacienda, como para cosecha de granos. La eliminación de la cubierta vegetal arbustiva, agravado por las bajas precipitaciones (400 mm media anual) y la intensidad de los vientos han favorecido los procesos de degradación de los suelos. Si bien existen evidencias de la evolución de estos procesos, se carece de estudios que cuantifiquen el impacto de estas prácticas agrícolas sobre los componentes orgánicos de los suelos y la estabilidad de los ambientes productivos en la región. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del desmonte sobre la calidad del suelo mediante los cambios en la materia orgánica del suelo (MOS) en un establecimiento ganadero- agrícola del NE de la provincia. Se evaluaron los cambios de MOS y sus diferentes fracciones producidas en función de los años transcurridos desde la extracción de la vegetación natural y su uso agrícola posterior. Para ello se compararon diferentes situaciones: a) Ecosistema natural sin desmonte (Mn), b) Agroecosistema con más de 45 años de desmonte (D>45) y algunos años de uso agropecuario y c) Agroecosistema con desmonte menor a los 25 años y uso agrícola (D<25). Se tomaron muestras de suelo, de 0 a 20 cm de profundidad, en dos momentos con diferencia de cinco años entre muestreos, para evaluar cambios en: Carbono Orgánico Total (COT), Carbono Orgánico Particulado (COP), Carbono Orgánico asociado a la fracción Mineral (COM), MOS, cantidad de limo y arcilla (L+a) e Índice Estructural (IE). Se utilizaron técnicas de estadística inferencial para cuantificar los cambios en las variables y la existencia de diferencias significativas entre sitios y años. La mayoría de las variables analizadas presentaron variaciones en los valores. De los dos sitios comparados con el monte nativo, el D<25 resultó menos deteriorado desde el punto de vista edáfico, mientras que D>45 presentó una pérdida significativa del contenido de CO que conduce a una degradación del suelo. El IE permitió conocer el estado de la calidad física del suelo de acuerdo a su manejo. Los suelos con más antigüedad de desmonte (D>45), y con años bajo manejo ganadero-agrícola, presentaron una disminución del contenido de MOS en relación con la textura, respecto a D<25 y del tratamiento de referencia. La reducción del IE se atribuyó al efecto del manejo del suelo bajo uso agrícola y a los años transcurridos del desmonte. En síntesis, los procesos de degradación se agudizan con los años transcurridos desde la extracción de la cubierta vegetal natural y la agricultura realizada. A partir de ello, se verá afectada su resiliencia y posterior sustentabilidad, poniendo en riesgo el equilibrio de los agroecosistemas.

Palabras clave: propiedades químicas, calidad de suelos, fertilidad de suelos.





COSTRAS FÍSICAS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE ECOSISTEMAS SEMIARIDOS: IMPLICANCIA EN EL PROCESO DE EROSION EOLICA

F. Avecilla¹, L.A. de Oro^{1,2}, D. Rivas², E. Panebianco¹, D.E. Buschiazzo¹

¹Instituto de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP, CONICET-UNLPam), Santa Rosa, La Pampa, Argentina;

²Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de La Pampa,

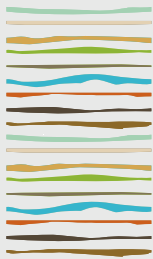
Santa Rosa, La Pampa, Argentina; ferave85@hotmail.com; laurideoroahoo.com.ar

RESUMEN

En suelos agrícolas de ecosistemas semiáridos las costras adquieren un importante rol en controlar la erosión eólica. En estos ecosistemas, el suelo a menudo es cubierto por costras físicas superficiales formadas por lluvias previas. El objetivo del estudio fue evaluar los cambios en las características superficiales producidos por efecto de la lluvia en el proceso de formación de costras, y como estos cambios afectan las tasas de pérdida del suelo (TPS), en relación al suelo original (T). Se seleccionaron tres suelos: franco arenoso (S1), franco (S2) y franco limoso (S3). Se formaron costras utilizando un simulador de lluvia, realizando dos tratamientos: 6mm acumulados en 2' (CA) y 45,75mm acumulados en 15' (CB). Las características de las costras se analizaron a partir de la distribución del tamaño de partículas (se determinó contenido de PM10 – $\leq 10\mu\text{m}$ - y material fácilmente erosionable –MFE: $\leq 125-500\mu\text{m}$ -), contenidos de materia orgánica (MO) a nivel superficial y resistencia y espesor de la costra determinado con micropenetrómetro y con calibre vernier respectivamente. Para evaluar la resistencia de la costra al efecto erosivo del viento y del impacto de las partículas movilizadas por saltación, se realizaron simulaciones en túnel de viento a dos velocidades: $7,4\text{m s}^{-1}$ (V1) y $13,5\text{m s}^{-1}$ (V2). Cada simulación tuvo una duración de 15', 5' iniciales sin suplemento de saltación, y 10' restantes con suplemento de saltación. En los tres suelos, el incremento de la cantidad de lluvia acumulada, incrementó la resistencia de la costra. Comparativamente, para CA la resistencia fue similar para todos los suelos, con espesores de 1; 2,5 y 5mm para S1, S2 y S3, respectivamente; mientras que para CB la resistencia aumentó a medida que se incrementó el contenido de arcilla y limo de los suelos, con espesores de 4, 12 y 21mm para S1, S2 y S3, respectivamente. En todas las costras, cuando el contenido de MFE se incrementa, el contenido de PM10 disminuye. Estos resultados reflejan el proceso de clasificación superficial de partículas que se produce cuando se forma la costra según la textura del suelo, siendo el suelo arenoso (S1) el que presentó mayor clasificación vertical de partículas en relación a los suelos texturalmente más finos (S2 y S3). Los contenidos de PM10 disminuyeron en S1 y S2 al formarse las costras, y aumentaron en S3, indicando que potencialmente puede entrar en suspensión si son removidas por el impacto de MFE. En los tres suelos y a las dos velocidades, TPS fue mayor en el T que en las superficies encostradas, sin embargo no hubo diferencias de TPS entre costras. En V1 la saltación adicional no incrementó TPS en relación a los valores sin saltación, mientras que en V2, la saltación adicional incrementó TPS en mayor medida en S1. Se concluye que en todos los suelos las costras formadas presentaron alto grado de resistencia a la abrasión por saltación y fuerza erosiva del viento, indicando que son eficientes para controlar el proceso de erosión eólica, en diferente grado según la textura del suelo y velocidad del viento.

Palabras clave: costras físicas, erosión eólica, textura.





EFFECTO DE DIFERENTES CULTIVOS DE COBERTURA EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ

Baigorría, T.^{1*}, E. Balbi¹, V. Pegoraroni¹, B. Aimetta¹, J. Ortiz¹, P. Belluccini¹, M. Maury¹

¹Estación Experimental Agropecuaria-INTA Marcos Juárez. Área Suelos y Producción Vegetal.

*Autor de contacto: baigorría.tomas@inta.gob.ar Ruta 12 km 1,5 CP 2580, Marcos Juárez, Córdoba, Argentina; 03472 425001int 138.

RESUMEN

La utilización de cultivos de cobertura (CC) como antecesores de maíz es una alternativa cada vez más utilizada, sin embargo, requieren del ajuste de algunas prácticas como la selección/combinación de especies para maximizar la productividad del cultivo de maíz. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar distintas especies como CC y su efecto como antecesor de maíz, teniendo en cuenta la producción de materia seca de los CC, y la productividad de cultivo de maíz. Los experimentos se realizaron sobre un suelo Argiudol típico de Marcos Juárez en donde se realizaron dos experimentos, uno con doce tratamientos de CC puros y otro con doce tratamientos de CC mixtos, además se agregó un tratamiento sin CC denominado Barbecho. En cuanto a la producción de materia seca en los CC puros se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Los valores de producción de materia seca al momento de secado variaron entre 3593 – 123 kg ha⁻¹. En cuanto a la producción de materia seca en los CC mixtos no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Los valores de producción de materia seca al momento de secado variaron entre 13304 – 5944 kg ha⁻¹. En los CC puros el rendimiento de maíz sobre el barbecho y las gramíneas fue un 46% y un 82% menor respecto de las vicias. En los CC mixtos el rendimiento de maíz para la mezcla con tres especies y el barbecho fue un 44% y un 32% menor que la mezcla de vicia (ciclo largo) con una gramínea respectivamente. Los CC mixtos tuvieron producciones de materia seca más elevadas que los CC puros. El rendimiento de maíz para los CC mixtos (vicia combinada con una gramínea) tuvo más peso la elección de la variedad de vicia que la especie de gramínea utilizada en la mezcla.

Palabras clave: *vicia villosa*, barbecho, gramíneas.

INTRODUCCION

El cultivo de maíz en la región de la pampa húmeda generalmente se implanta sobre lotes de soja que permanecen en barbecho 7 a 8 meses al año, quedando el suelo expuesto a la erosión, lavado de nutrientes, y desaprovechando generalmente el aporte del agua de lluvia de este período. Los cultivos de cobertura (CC) son cada vez más utilizados en estas secuencias, los cuales, requieren del ajuste de algunas prácticas como la selección/combinación de especies para maximizar la productividad del cultivo de maíz.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar distintas especies como CC y analizar su efecto como antecesor de maíz, teniendo en cuenta la producción de materia seca de los CC, y la productividad de cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez (32°42'44.65"S, 62°05'46.07"O). Sobre un suelo clasificado como Argiudol típico, perteneciente a la serie Marcos Juárez, que posee capacidad de uso 1. Los CC se sembraron sin fertilizar el 29 de abril de 2021. El distanciamiento entre surcos fue de 0,21 m y las densidades de siembra fueron establecidas previamente.



Se realizaron dos experimentos con doce tratamientos cada uno y además se le agregó un tratamiento sin CC denominado Barbecho (Tabla 1).

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones.

Tabla 1. Especies evaluadas en los experimentos uno (cc puros) y dos (cc mixtos).

Tratamiento	Experimento 1	Experimento 2
1	Rabanito	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Centeno
2	Rabanito	<i>Vicia villosa</i> (cl-v2) + Centeno
3	Arveja	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Cebada Lavina
4	Arveja	<i>Vicia villosa</i> (cl-v2) + Cebada Lavina
5	<i>Vicia villosa</i> (cl-v1)	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Cebada Hays
6	<i>Vicia villosa</i> (cc)	<i>Vicia villosa</i> (cl-v2) + Cebada Hays
7	<i>Vicia villosa</i> (cl-v2)	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Avena Itacua
8	Trébol Balansa	<i>Vicia villosa</i> (cl-v2) + Avena Itacua
9	Cebada	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Centeno + Rabanito
10	Cebada	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Cebada Lavina + Rabanito
11	<i>Avena strigosa</i>	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Cebada Hays + Rabanito
12	Centeno	<i>Vicia villosa</i> (cc) + Avena Itacua + Rabanito

(cc) ciclo corto, (cl-v1) ciclo largo variedad 1, (cl-v2) ciclo largo variedad 2.

El 30 de abril de 2021 se aplicó herbicida glifosato (66,4 %) a razón de 2 l p.f. ha⁻¹ en los dos experimentos, mientras que en el barbecho se realizó una aplicación de herbicidas adicional el 17 de septiembre de 2021 con glifosato (66,4 %) 2 l p.f. ha⁻¹ en mezcla con atrazina (50 %) 2 l p.f. ha⁻¹.

El 29 de septiembre de 2021 se realizó muestreo para la determinación de la producción de materia seca (kg MS ha⁻¹). En las gramíneas, se realizó cosechando un metro lineal de biomasa aérea cortando al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas, mientras que en las vicias y en las coberturas mixtas el muestreo se realizó con un marco de 0.125 m².

Las muestras de biomasa se secaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante.

El secado mecánico de los CC se realizó el 1 de octubre de 2021, utilizando un rolo de 2 m de ancho de labor y un diámetro de 0.40 m (Figura 1). El maíz (Pioneer P 2167 VYHR) se sembró sin fertilizar el 18 de octubre de 2021 a un distanciamiento entre hileras de 0,52 m y una densidad de 77000 plantas ha⁻¹. El 5 de abril de 2022 se cosechó una superficie de 3.12 m² por parcela para determinar la producción de granos de maíz (kg ha⁻¹). Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2017). Se aplicó un Modelo Lineal General Mixto (MLM) tomando como efecto fijo los tratamientos, y como efectos aleatorios a las repeticiones de campo. Cuando el p-valor del test fue p<0.05 se compararon las medias por el test LSD con significancias del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de materia seca

En cuanto a la producción de materia seca en los CC puros se observaron diferencias significativas (p<0,05) entre los diferentes tratamientos (Figura 2). Los valores de producción de materia seca al momento de secado variaron entre 3593 – 123 kg ha⁻¹. Si analizamos en conjunto a las gramíneas, vicias, rabanitos y arvejas la producción de materia seca promedio fue de 3033, 2837, 1421, 1075 kg ha⁻¹. Si comparamos rabanitos, arvejas y trébol balansa con las gramíneas, se registraron reducciones en la producción de materia seca del 53%,64% y 95% respectivamente. Esto se podría explicar debido a la baja tolerancia a heladas de estas es-



pecies comparado con las gramíneas, lo cual repercutió afectando negativamente la producción de materia seca.

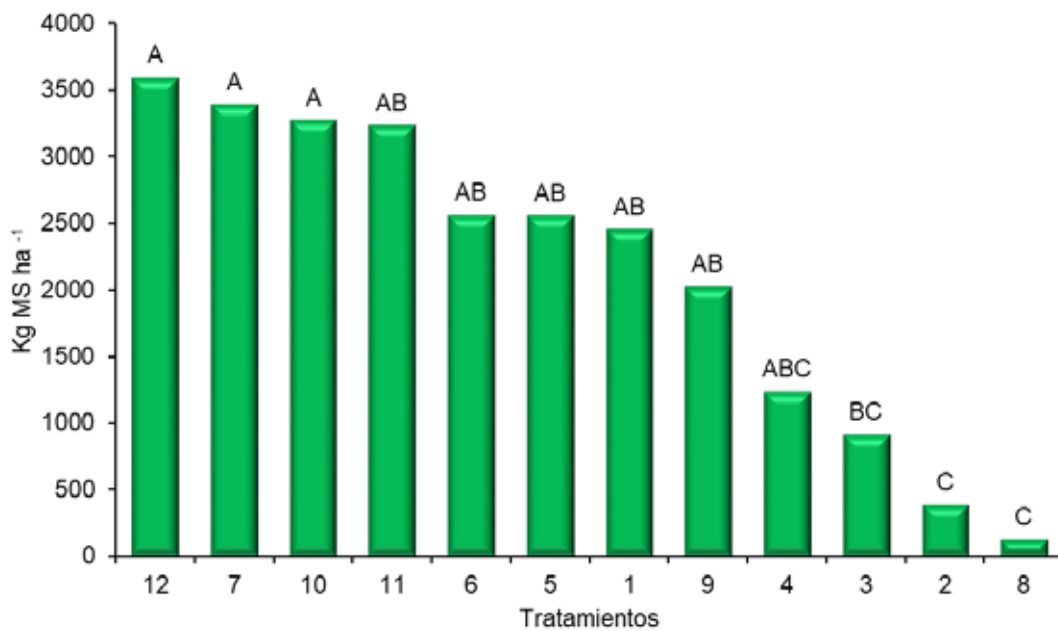


Figura 2. Cultivos de cobertura puros: Producción de materia secas de los diferentes tratamientos evaluados. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test LSD ($p < 0,05$).

En cuanto a la producción de materia seca en los CC mixtos no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos (Figura 3).

Los valores de producción de materia seca al momento de secado variaron entre 13304 – 5944 kg ha⁻¹. La producción promedio de materia seca de las gramíneas, vicias y rabanitos fue de 5184, 3421 y 253 kg ha⁻¹ respectivamente. Si consideramos los tratamientos del 1 al 8 vemos que la producción de materia seca promedio de las gramíneas fue de 6758 kg ha⁻¹ en mezcla con *Vicia villosa* (cc) y de 4043 kg ha⁻¹ en mezcla con *Vicia villosa* (cl-v2). Por otro lado, analizando los mismos tratamientos, la producción promedio de vicia (cl-v2) y vicia (cc) fue de 5113 y 2103 kg ha⁻¹ respectivamente. El 58% más de producción de materia seca en vicia (cl-v2) con respecto a vicia (cc) probablemente se deba a la mayor tolerancia a las heladas.

Los tratamientos del 9 al 12 con tres especies, tuvieron una producción de materia seca promedio de 8054 kg ha⁻¹ con una proporción de 59%, 38% y 3% de gramínea, vicia y rabanito respectivamente.

La baja competitividad y la menor tolerancia a heladas del rabanito frente a las gramíneas y la vicia (cc), podrían ser las causas de los bajos aportes de materia seca de esta especie.



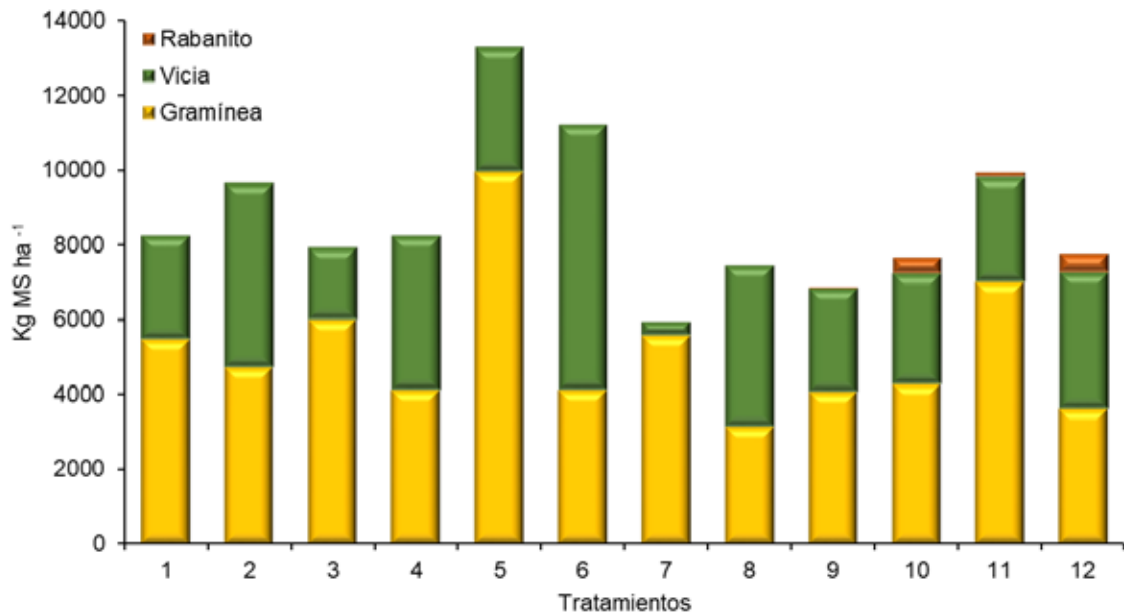


Figura 3. Cultivos de cobertura mixtos: Producción de materia secas de los diferentes tratamientos evaluados. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test LSD ($p < 0,05$).

Rendimiento del maíz

En primer lugar, para el análisis del rendimiento de maíz en los CC puros cabe aclarar que la pérdida del maíz fue total para los tratamientos 1, 2, 3, 4, 8, 9 y 12. Por otro lado no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos 5, 6 y 7 (vicias). A su vez no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos 10 y 11 (gramíneas). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes antecesores evaluados, en la figura 4 se muestran los rendimientos de maíz promedio de los tratamientos con vicias, gramíneas y barbecho.

El rendimiento de maíz sobre el barbecho y las gramíneas fue un 46% y un 82% menor respecto de las vicias.

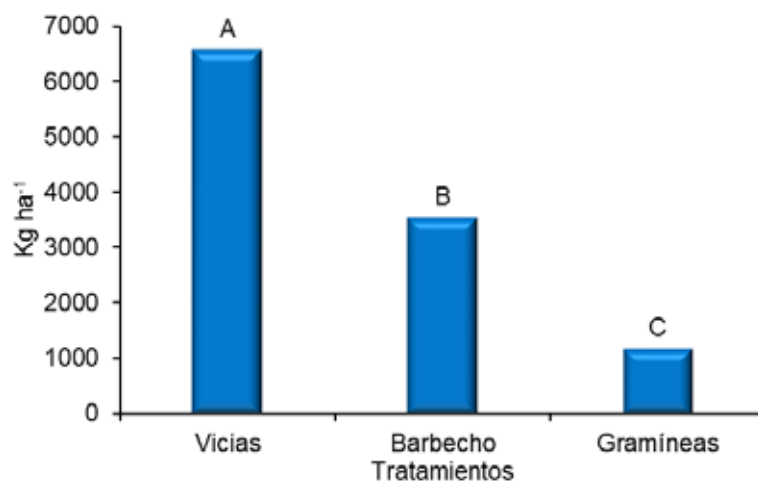


Figura 4. Cultivos de cobertura puros: Rendimientos de Maíz sobre vicias, barbecho y gramíneas. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test LSD ($p < 0,05$).

En cuanto a los rendimientos de maíz en los CC mixtos, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos donde se combinó vicia (cc) con una gramínea (tratamientos 1,3,5 y 7). Tampoco se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos donde se combinó vicia (cl-v2) con una



gramínea (tratamientos 2,4,6 y 8). Por otro lado, no se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos donde se combinaron vicia (cc) con una gramínea y rabanito (tratamientos 9,10,11 y 12).

Sin embargo, se observan diferencias significativas ($p<0,05$) en el rendimiento de maíz promedio de los tratamientos: vicia (cl-v2) combinado con una gramínea, vicia (cc) combinado con una gramínea, vicia (cc) combinado con una gramínea y rabanito, y el barbecho (Figura 5).

El rendimiento del maíz fue sobre la vicia (cc) en combinación con una gramínea un 70% menos respecto de vicia (cl-v2) combinada con una gramínea.

El rendimiento de maíz para la mezcla con tres especies y el barbecho fue un 44% y un 32% menor que la mezcla de vicia (cl-v2) con una gramínea respectivamente.

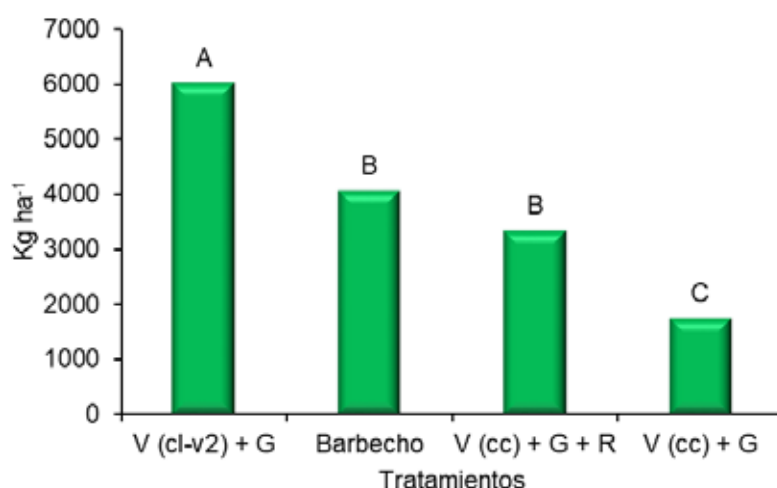


Figura 8. Cultivos de cobertura mixtos: Rendimientos de Maíz sobre vicia (cl-v2) en mezcla con una gramínea (V (cl-v2) + G), barbecho, vicia (cc) en mezcla con una gramínea y rabanito (V (cc) + G + R) y vicia (cc) en mezcla con una gramínea (V (cc) + G). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test LSD ($p<0,05$).

CONCLUSIONES

Dentro de los CC puros las vicias fueron las leguminosas de mayor producción de materia seca, a su vez fueron los mejores antecesores de maíz.

Los CC mixtos tuvieron producciones de materia seca más elevados que los CC puros.

En el rendimiento de maíz para los CC mixtos (vicia combinada con una gramínea) tuvo más peso la elección de la variedad de vicia que la especie de gramínea utilizada en la mezcla.

La inclusión de rabanito a los CC mixtos no produjo aumentos en la producción de materia seca, generando a su vez el mismo efecto que el barbecho en el rendimiento del maíz.

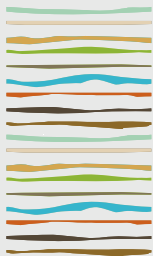
BIBLIOGRAFIA

Clark, AJ; AM Decker; JJ Meisinger; FR Mulford & MS McIntosh. 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agronomy Journal* 87: 579–585.

Di Rienzo, J; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & C Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Renzi, JP & MA Cantamutto. 2007. Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de forraje de Vicia sativa L. y Vicia villosa Roth. consociada con Avena sativa L. 30° Congreso Argentino de Producción Animal. AAPA. Santiago del Estero. Octubre 2007.





EVALUACIÓN DE UN SUELO CON ALTA CONCENTRACIÓN DE SODIO INTERCAMBIABLE LUEGO DE APLICAR YESO AGRÍCOLA

Ballesterero J.¹, M. Barbazán², A. del Pino³

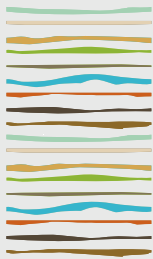
^{1,2,3}Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía de la Universidad de la República:
Avenida Eugenio Garzón 780, Montevideo, Uruguay. jballesterero@fagro.edu.uy

RESUMEN

Una alta concentración de iones sodio (Na) en el complejo de intercambio catiónico del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas. La técnica más recomendada para mejorar las condiciones de estos suelos es el agregado de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), el cual se emplea como fuente de iones calcio (Ca^{2+}) para desplazar a los iones Na^+ del complejo de intercambio catiónico. En Uruguay estos suelos de origen natural han sido escasamente estudiados y generalmente permanecen improductivos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del agregado de yeso agrícola en algunas propiedades del suelo en condiciones controladas y de campo. En condiciones controladas (laboratorio) mediante microlisímetros se estudió el efecto de la aplicación de yeso agrícola sobre las propiedades del horizonte Ap de un suelo con $1,53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Na intercambiable. Se aplicaron dos yesos agrícolas comerciales, en dosis equivalentes a 3 y 6 Mg ha^{-1} , más un tratamiento control (sin yeso). La aplicación se realizó mezclando exhaustivamente el suelo con el yeso. Luego de 360 días de aplicados los tratamientos, se observó una tendencia a la disminución del Na intercambiable y un aumento del Ca intercambiable con respecto al suelo control. Se estableció una correlación lineal y positiva entre el contenido de Na en el agua lixiviada y el Ca intercambiable ($r = 0,52$). En un suelo similar, pero en condiciones a campo, se estudió el efecto del agregado de yeso agrícola aplicado en superficie sobre una pastura ya implantada de *Festuca arundinacea* en forma manual. Las dosis aplicadas fueron: 1, 2 y 3 Mg ha^{-1} más un tratamiento control (sin yeso), usando los dos yesos agrícolas comerciales. Luego de 420 días de aplicados los tratamientos ocurrió una disminución del Na intercambiable, al mismo tiempo que se incrementó el Ca en el complejo de intercambio catiónico, en los primeros 20 cm del perfil. El pH tendió a disminuir, mientras que se constató un aumento en la humedad y mayor facilidad en la penetración en el suelo respecto al suelo control. La pastura que recibió yeso rindió un 50 % más que la pastura del tratamiento control y presentó una menor concentración de Na. Los dos tipos de yesos agrícolas empleados no mostraron diferencias en su comportamiento y fueron igualmente efectivos en el desplazamiento del ion Na del complejo de intercambio catiónico. Es concluyente que el yeso surte efecto como fuente de Ca para mejorar las propiedades del suelo; sin embargo, es necesaria la evaluación a campo en un plazo de tiempo mayor para realizar recomendaciones en condiciones de clima templado en suelos con alta concentración de sodio de origen natural.

Palabras clave: sulfato de calcio, microlisímetro, suelo sódico.





STOCK DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO EN SISTEMAS PASTORILES

Banegas, N.R.^{1,2}, E. Viruel^{1,*}, J.A. Nasca¹

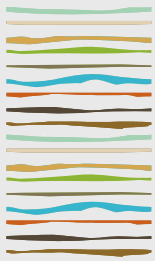
¹ Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido; ² Facultad de Agronomía y Zootecnia; *Chañar Pozo S/N, Santa Rosa de Leales, Tucumán (4111) banegas.natalia@inta.gob.ar

RESUMEN

El mantenimiento y/o incremento del contenido de carbono orgánico (CO) y nitrógeno (Nt) en suelo es de gran relevancia para la conservación de las propiedades biológicas, químicas y físicas del mismo, como así también para mitigar las posibles emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por las actividades agropecuarias. El objetivo del trabajo fue evaluar en un período de 4 años las variaciones en el stock de CO y Nt en sistemas pastoriles de cría con pastura megatérmica con y sin signos de degradación (PD, pastura degradada; PnD, pastura no degradada). El trabajo experimental se realizó en el Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido de INTA, localizado la provincia de Tucumán (27°11' L.S y 65°17' L.O). El sitio de estudio corresponde a un sistema pastoril de un módulo de cría bovina intensiva que cuenta con una superficie de 70 ha, en las que se distinguen dos situaciones basadas en el estado de la pastura: PD y PnD. El suelo es un Haplustol fluvacuéntico (USDA, 1999) de textura franco limosa. El muestreo se realizó en enero de 2014, 2015, 2016 y 2017 a las profundidades 0 - 5 cm, 5 - 20 cm y 20 - 40 cm. Se tomaron diez muestras, por cada profundidad y para cada unidad experimental. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm. Sobre las mismas se determinó CO por Walkley Black y Nitrógeno total Nt por Kjeldhal. Para los cálculos de stock, se tomaron 10 muestras de suelo no perturbadas de suelo en cada profundidad en el año 2014 y 2017, determinándose densidad aparente por el método del cilindro. En ambas condiciones, los mayores valores de las variables se presentaron en el estrato superficial. Sin embargo, en PD se registró un descenso significativo ($p < 0.0001$) en las concentraciones de CO y Nt en las profundidades 0-5 y 5-20 cm. El stock de CO presentó diferencias significativas entre los sitios y momento de muestreo ($p < 0.0001$). Ambos tratamientos presentaron un incremento en el contenido de CO, para una misma masa de suelo, sin embargo la tasa de ganancia fue mayor en PnD con respecto a PD (1,3 Mg CO.ha⁻¹.año⁻¹ y 0,9 Mg CO.ha⁻¹.año⁻¹). En el stock de N, PnD mostró valores significativamente mayores en 2017 con respecto a 2014, mientras que este valor se mantuvo constante en PD. El comportamiento de estas variables influyó sobre los valores de C:N, encontrándose valores de 10,11 para PnD y 11,28 para PD. En este período de estudio, la condición de degradación no afectó negativamente los valores de las variables analizadas. Estudios a largo plazo, son necesarios para una mejor comprensión en la dinámica de estas variables.

Palabras clave: CO, Nt, degradación





STOCK DE CARBONO EN DIFERENTES SECUENCIAS AGRÍCOLAS EN HAPLUDOLES DE LA PAMPA ARENOSA

Barraco, M.R.^{1*}, P. Girón²

¹INTA EEA General Villegas.

²Bayer Crop Science.

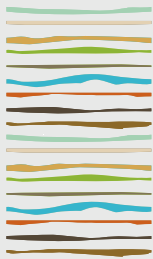
*San Martín 26, (6230) General Villegas, Pcia de Buenos Aires. barraco.miriam@inta.gob.ar

RESUMEN

En la región de la Pampa Arenosa predominan secuencias agrícolas con alta participación de cultivos estivales, lo que podría afectar en el largo plazo el stock de carbono orgánico (CO) de los suelos y otras propiedades edáficas. La incorporación de cultivos de cobertura (CC) permite generar biomasa invernal que puede contribuir a mejorar los aportes de residuos y los niveles de CO. En la EEA General Villegas en 2004 se establecieron ensayos de larga duración en suelos Hapludoles Thapto-Árgicos (HTA) y Hapludoles Típicos (HT) con cuatro Secuencias agrícolas continuas en siembra directa, Con y Sin inclusión de CC. En otoño de 2021 se realizaron muestreos de suelos con el objetivo de evaluar el stock de CO total (COT) luego de 16 años de efectos acumulados. Las Secuencias de cultivos son: 1: Monocultivo de Soja (S-S), 2: Maíz-Soja (M-S), 3: Soja-Maíz (S-M) y 4: Monocultivo de Maíz (M-M), combinadas Con y Sin CC de centeno. Se determinó la densidad aparente (DA) por el método del cilindro y la concentración de COT por el método de Walkley & Black en capas de 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Los datos se expresaron en Mg ha^{-1} , corrigiendo a contenidos de masa equivalente. En cada suelo, los tratamientos se disponen con un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones con parcelas divididas (CC como parcela principal y Secuencia de cultivos como subparcela). Los datos fueron analizados mediante ANOVA y test de comparaciones de medias de Tukey ($p < 0,05$). En el HTA solo se observaron diferencias en la DA por el aporte de los CC en la capa de 0-5 cm (1,28 y 1,30 g cm^{-3} para Con y Sin CC, respectivamente), mientras que en las capas de 5-10 cm y 10-20 cm la DA fue en promedio de 1,41 y 1,40 g cm^{-3} . En el HT la DA fue en promedio de 1,31, 1,45 y 1,43 g cm^{-3} para las capas 0-5, 5-10 y 10-20 cm, respectivamente, sin detectarse diferencias entre los tratamientos. El stock de COT se modificó en la capa de 0-5 cm en ambos suelos. En el HTA se detectaron diferencias entre CC (14,2 y 11,7 Mg ha^{-1} para Con y Sin CC) y entre Secuencias de cultivos (12,3, 13,2, 12,9 y 13,6 para las secuencias 1, 2, 3 y 4, respectivamente). En las capas de 5-10 y 10-20 cm no se observaron diferencias entre los tratamientos con valores medios de 9,7 y 15,4 Mg ha^{-1} , respectivamente. En el HT en la capa de 0-5 cm se observó un efecto significativo del CC (12,0 y 10,3 Mg ha^{-1} , Con y Sin CC, respectivamente), pero no se detectaron diferencias entre Secuencias de cultivos. En las capas de 5-10 y 10-20 cm el stock de COT fue en promedio de 8,2 y 12,1 Mg ha^{-1} , respectivamente. Integrando la profundidad de 0-20 cm la inclusión de CC presentó en promedio un 8 y un 11% más de COT para HTA y HT, respectivamente, que las parcelas Sin CC, independientemente de la Secuencia de cultivos evaluadas.

Palabras clave: densidad aparente, carbono orgánico total, cultivos de cobertura.





IMPACTO DEL MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ TARDÍO

Barraco, M.^{1*}, C. Álvarez², P. Girón³, M.A. Aguirre¹

¹ EEA INTA General Villegas;

² AER INTA General Pico;

³ Bayer Crop Science.

*San Martín 26, (CP 6230) General Villegas (Buenos Aires). barraco.miriam@inta.gob.ar

RESUMEN

La creciente adopción de cultivos de cobertura (CC) como antecesores a maíz tardío, conlleva la necesidad de ajustar estrategias de manejo, como momento de secado del CC y fertilización nitrogenada del maíz, entre otras, ya que algunos estudios reportaron menores rendimientos del cereal sobre CC. En la EEA General Villegas se estableció un ensayo con el objetivo de evaluar diferentes prácticas de manejo previo a maíz tardío: 1) Cultivo de cobertura: centeno, vicia, vicia + centeno y Testigo sin CC. 2) Fertilización azufrada del CC [con y sin azufre (S)], 3) Momento de secado del CC (temprano y tardío), y 4) Fertilización nitrogenada en el maíz (0, 37, 75, 150 kg de nitrógeno (N) ha⁻¹). El diseño fue en parcelas subdivididas en bloques completamente aleatorizados (n=3). Se midió la producción de biomasa aérea y el uso consuntivo (UC) de los CC, los contenidos de N de nitratos al momento de secado del CC y en la siembra del maíz y el rendimiento del maíz. La producción de biomasa de los CC varió entre 2866 y 10903 kg ha⁻¹, mientras que el UC varió entre 148 y 281 mm explicado por el momento de secado. En cuanto al contenido de N al secado se midió 40 kg ha⁻¹ en los CC versus 109 kg ha⁻¹ en el testigo, sin diferencias entre momentos de secados. Al momento de la siembra del maíz el mayor valor fue para el testigo y el menor para el centeno. Los rendimientos variaron entre 8479 y 12748 kg ha⁻¹ y fueron vicia>testigo>mezcla>centeno. La respuesta al N varió entre CC siendo mayor en centeno, intermedia en la mezcla y menor en vicia. En el testigo la respuesta a N fue de escasa magnitud. En cuanto a la fertilización con azufre solo se observó respuesta en el secado tardío.

Palabras clave: Rendimiento, Nitrógeno, Azufre.

INTRODUCCION

El uso creciente de cultivos de cobertura (CC) antecesores a maíz tardío en la región subhúmeda pampeana plantea la necesidad de adecuar estrategias de manejo que permitan optimizar los beneficios de su incorporación sin afectar la productividad del cultivo de renta. En este sentido se plantean interrogantes referidos a la selección de la especie, fecha de secado y manejo de la nutrición, entre otros. La fecha de secado determina la duración del ciclo, influyendo en la producción de biomasa del CC (Rampo et al., 2018; Lardone et al., 2014) y también puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes (Frasier et al., 2018), la calidad de sus residuos y el consumo de agua. Algunos antecedentes previos muestran menores rendimientos en cultivos de maíz sembrados sobre gramíneas debido entre otros factores a una inmovilización de nutrientes (Cazorla et al., 2018; Blanco-Canqui et al., 2015;). En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de diferentes estrategias de manejo de secuencias de CC/maíz tardío sobre la dinámica de agua, nitrógeno (N) y productividad de los cultivos.



MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló durante la campaña 2021-22 en la EEA INTA General Villegas, (Bs As) sobre un suelo Hapludol Típico (540 g kg⁻¹ de arena, 21,1 mg kg⁻¹ de materia orgánica, 12 mg kg⁻¹ de fósforo, pH de 5,9 y con una disponibilidad de 108 kg ha⁻¹ de N de nitratos en la capa de 0-60 cm). El cultivo antecesor era soja de primera y el lote se manejó en una secuencia mixta ganadera agrícola con una fase de pastura perenne en el período 2012-2017.

Los tratamientos evaluados fueron:

- i) Cultivo de cobertura (CC) (centeno, vicia, vicia + centeno) y testigo (sin CC)
- ii) Fertilización con azufre (S) en los CC (con y sin S)
- iii) Momento de secado de los CC (temprano y tardío)
- iv) Dosis de N en el cultivo de maíz (0, 37,5, 75 y 150 kg N ha⁻¹).

El 4 de mayo se establecieron los tratamientos de CC (vicia villosa, sp villosa y centeno cv Don Ewald) en líneas distanciadas a 17,5 cm. Las densidades fueron de 55 semillas m⁻² para vicia, 280 semillas m⁻² para centeno y 55 semillas m⁻² + 28 semillas m⁻² para la mezcla de vicia + centeno, respectivamente. El día previo a la siembra se aplicaron en superficie 100 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio, mientras que el 20 de mayo los cultivos de centeno se fertilizaron 40 kg ha⁻¹ de N en forma de urea. También en ese momento las parcelas de CC se dividieron al medio y se aplicaron 12 kg ha⁻¹ de S en forma de sulfato de calcio en las subparcelas correspondientes.

El secado temprano de los CC se realizó el 17 de setiembre, mientras que el secado tardío fue el 16 de octubre.

El cultivo de maíz (Híbrido Nidera AX 7761) se sembró el 2 de diciembre, con una densidad de 6,8 semillas m⁻² y con la aplicación de 75 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico. Los tratamientos de N se aplicaron manualmente en forma de urea en estadíos de V2 de los cultivos.

El ensayo presentó un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones, con parcelas subdivididas.

Al secado de los CC se determinó la biomasa aérea mediante cortes sobre una superficie de 0,50 m². A la siembra y secado de los CC y a la siembra de maíz se determinó el contenido de humedad de los suelos por gravimetría hasta los 200 cm. Se calculó el uso consuntivo (UC) de los CC [agua al secado – (agua a la siembra + precipitaciones)]. Al secado del CC y a la siembra del maíz se evaluó la disponibilidad de N de nitrato (0-60 cm) en todos los tratamientos.

Se realizaron análisis de varianza y test de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) con el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El agua disponible en el suelo al momento de la siembra de los CC fue de 129 mm (un 58 % de capacidad de campo), pero las precipitaciones ocurridas durante el mes de mayo permitieron mejorar la disponibilidad hídrica (Tabla 1) y lograr un adecuado desarrollo.

Tabla 1: Precipitaciones mensuales en mm durante el desarrollo del estudio (21-22) e históricas (Hist)

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
21-22	76	83	3	0	24	45	85	115	115	366	59	49
Hist	72	39	24	22	22	46	91	95	99	98	91	112



La producción de biomasa de los CC varió entre 2866 y 10903 kg ha⁻¹ y dicha variación fue explicada por el tratamiento de CC ($p < 0,01$) y el momento de secado ($p < 0,01$), pero no por el aporte de S ($p = 0,36$) (Figura 1a). En ambos momentos de secado la mayor producción se registró en centeno, valores intermedios para la mezcla y menores para vicia (sin interacción significativa entre momentos de secado * tratamientos de CC). Estos resultados coinciden con los encontrados por Barraco et al. (2020) que encontraron una mayor producción de biomasa para el centeno. Demorar el secado 29 días permitió incrementar la acumulación de biomasa en un 40, 84 y 200% en centeno, la mezcla y vicia, respectivamente. En vicia este comportamiento coincide con lo descrito por Rillo et al. (2012), que observaron aumentos de hasta el 60% en la producción de biomasa aérea con retrasos de 40 días en el secado.

El uso consuntivo de los CC varió entre 148 y 281 mm, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre momentos de secado, pero no entre tratamientos de CC (Figura 1b) ni entre dosis de S. En promedio los CC secados temprano consumieron 158 mm, mientras que en el secado tardío este valor fue de 273 mm. Estos resultados coinciden parcialmente con estudios previos en la misma localidad que mostraron mayores consumos en fechas tardías de secado (Barraco et al., 2020; Lardone et al. 2014). Si consideramos el agua disponible en el suelo al secado versus el tratamiento de barbecho se observó que los CC presentaban 79 y 147 mm menos en el secado temprano y tardío, respectivamente, coincidiendo con lo reportado por Alvarez et al. (2017) que observaron una disminución de 15 a 30% de las reservas de agua con CC. Sin embargo, las precipitaciones ocurridas luego del secado (222 y 190 mm, para secado temprano y tardío) permitieron la recarga de los perfiles a valores similares al barbecho a la siembra de maíz, con contenidos promedios de 215 mm en la capa de 0 a 200 cm de profundidad.

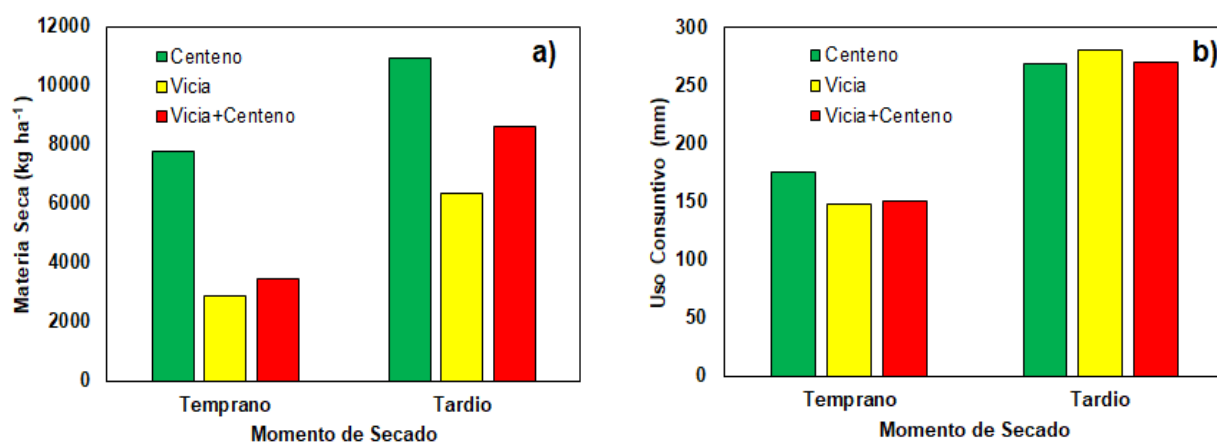


Figura 1: a) Producción de biomasa aérea y b) Uso consuntivo de cultivos de cobertura según dos momentos de secado. Promedio de dos dosis de fertilización con azufre.

En cuanto a la disponibilidad de N-nitrato al momento del secado se observó en promedio una disponibilidad media de 40 kg N ha⁻¹ para los tratamientos de CC, versus 109 kg N ha⁻¹ para los barbechos, independientemente del momento del secado (Figura 2a). Resultados similares fueron descriptos por Barraco et al. (2020), donde los mayores valores fueron para el barbecho. El desarrollo de un cultivo invernal permite capturar los nitratos residuales en el suelo en el otoño y fijarlo en su biomasa, lo cual podría estar sujeto a pérdidas por lavados o desnitrificación (Fernández et al., 2012). La disponibilidad de N posterior al secado depende de la relación C/N de los residuos y de las condiciones ambientales (temperatura y precipitaciones) de la primavera-verano. Al momento de la siembra de maíz se observaron mayores contenidos en el testigo, valores intermedios para vicia y la mezcla y menores contenidos para centeno (109, 92, 88 y 67 kg N ha⁻¹, respectivamente), independientemente de la fertilización con S (Figura 2b). La menor brecha entre el testigo y los CC muestran una mineralización producto del proceso de descomposición parcial de los residuos de los CC. Por otro lado, la mayor disponibilidad de N en vicia es consecuencia de la menor relación C/N de las leguminosas que permite una mayor tasa de descomposición con respecto a las gramíneas.

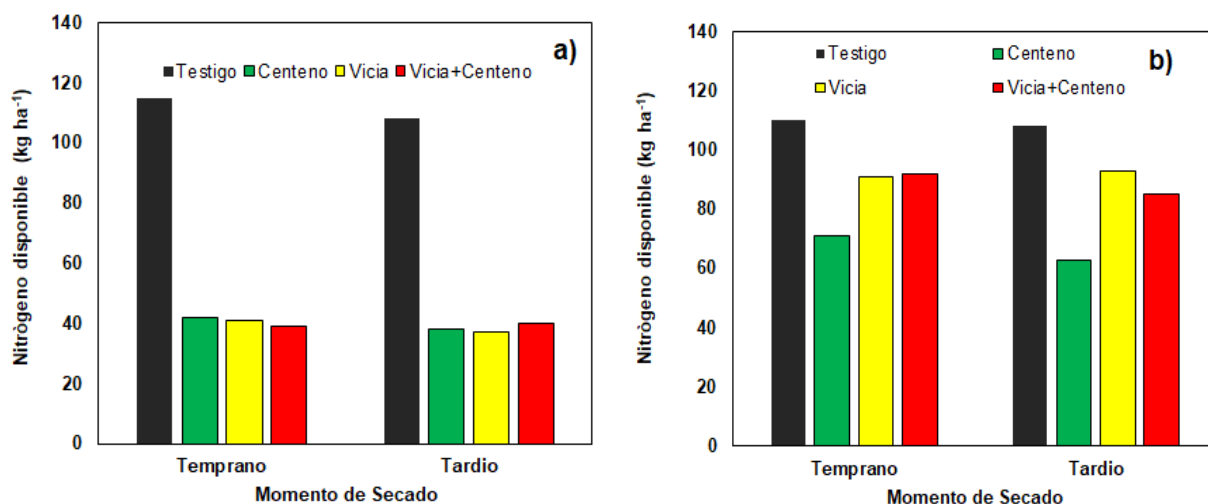


Figura 2: a) Contenidos de N nitratos al momento de secado y b) al momento de la siembra de maíz según tratamientos de cultivos de cobertura. Promedio de dos dosis de fertilización con azufre.

Dado las precipitaciones de diciembre y enero (Tabla 1) el desarrollo de los cultivos de maíz fue muy bueno, con rendimientos que variaron entre los 8479 y 12748 kg ha⁻¹. Debido a interacciones múltiples entre los factores evaluados se realizaron análisis por separado para cada momento de secado. En este sentido se observó que en el secado temprano no hubo respuesta al agregado de S en el CC, ni interacción de este tratamiento con los otros tratamientos evaluados, pero se encontró un comportamiento diferencial en la respuesta a N de acuerdo al CC. Los tratamientos testigos y vicia no mostraron respuesta al agregado de N, mientras que sí se observó en la mezcla y en el centeno (Figura 3a). De acuerdo a la relación cuadrática obtenida, los mayores rendimientos se observaron con dosis de 109 y 140 kg N ha⁻¹ para la mezcla y el centeno, respectivamente. Estos resultados están en línea con los obtenidos por De Sá Pereira (2013), quien observó una importante disminución en el rendimiento de maíz y altas tasas de respuestas a la fertilización con N cuando el CC era una gramínea y nula respuesta a la fertilización con N si el antecesor era vicia. En el secado tardío los maíces que habían recibido una fertilización azufrada en el invierno rindieron en promedio 629 kg ha⁻¹ más que los no fertilizados. Este comportamiento podría indicar una posible inmovilización de S en CC secados tardíamente y coincide con estudios realizados en la campaña anterior donde se midió menores concentraciones de S en hoja de la espiga de maíz sobre CC secados tarde (datos no publicados). En cuanto a la respuesta a N varió entre CC (Figura 3b). En el testigo la respuesta a N fue de escasa magnitud con una dosis óptima de 4 kg N ha⁻¹, mientras que en vicia el umbral se observó con 104 kg N ha⁻¹, aunque con rendimientos máximos mayores al tratamiento sin CC. En la mezcla la dosis óptima fue de 113 kg N ha⁻¹, en tanto que en el centeno fue de 144 kg N ha⁻¹. Si bien se observaron interacciones entre la especie de CC y la dosis de N alcanzando diferentes umbrales, en general los mayores rendimientos se observaron en vicia, seguida por el testigo, intermedios con la mezcla de vicia con centeno y menores para centeno. De manera coincidente Cazorla et al. (2018) reportaron mayores rendimientos en maíces sobre vicia y los menores sobre CC de gramíneas, por la combinación de absorción e inmovilización (alta relación C/N) de nitrógeno que producen las gramíneas.

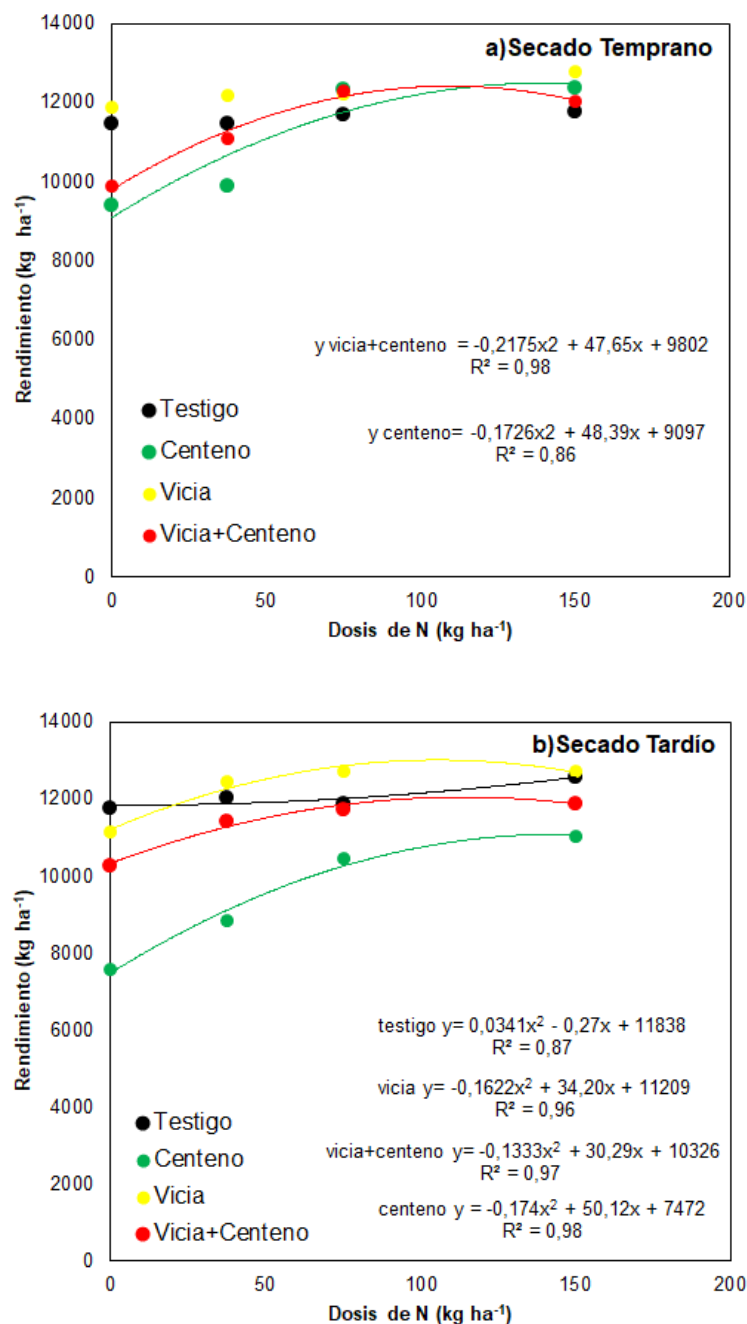


Figura 3: Rendimientos de maíz según especies de CC y dosis de nitrógeno a) con secado temprano y b) con secado tardío. Promedio de dos dosis de fertilización con azufre.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio mostraron una mayor influencia del momento del secado que la selección de la especie sobre la disponibilidad de agua y N al momento de la interrupción del ciclo de los CC.
- Dado las precipitaciones ocurridas entre secado y siembra del cultivo de maíz los perfiles de suelo se recargaron de agua en todos los tratamientos.
- La disponibilidad de N (0-60 cm) a la siembra de maíz varió según el momento de secado y el tratamiento de CC. En promedio fueron mayores en el secado temprano y en los testigos (barbechos) y menores para el centeno.
- La fertilización con S en el invierno no modificó la producción de biomasa de los CC ni del maíz implantado sobre el secado temprano, pero incrementó los rendimientos medios de maíz sobre el secado tardío.

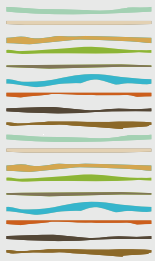


- En promedio la respuesta al agregado de N en maíz fue de mayor magnitud sobre la mezcla y el centeno y en el secado tardío, por lo que resulta fundamental el ajuste de la nutrición nitrogenada en estas secuencias de cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R, H.S. Steinbach, y J.L. De Paepe. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research* 170:53-65
- Barraco, M; Álvarez, C; Rampo, M; Girón, P; Miranda, W; Lobos, H.M. 2020. Especies y momentos de secado de cultivos de cobertura antecesores de maíz tardío. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13 al 16 de Octubre de 2020, Corrientes, Argentina.
- Blanco-Canqui H; T Shaver; J Lindquist; C Shapiro; R Elmore; C Francis; G Hergert. 2015. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. En: *Agronomy Journal*. Vol 107 n°6: 2449-2474.
- Cazorla, C; T Baigorria; H Videla; A Canal; J Ortiz; V Pegoraro. 2018. Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del sudeste de Córdoba (Argentina). En: IAH 29. Buenos Aires. Argentina.
- De Sá Pereira E. 2013. Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis de doctor en Agronomía. Universidad nacional del sur. Bahía blanca. Argentina. 166pp
- Fernández R; A Quiroga; E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? En: *Ciencia del Suelo* 30(2): 137-150. (a)
- Frasier I; R Fernández; M Gómez; C Gaggioli; C Álvarez; A Oderiz; M Uhaldegaray; E Scherger; E Noellemeyer & A Quiroga. 2018. Contribución a la evaluación de un recurso clave en la sustentabilidad de los suelos. Abundancia y distribución de raíces. En: *Análisis y evaluación de propiedades físico-hídricas de los suelos*. Ed. A Quiroga, R Fernandez, C Alvarez. ISBN: 978-987-521-937-3
- Lardone, A; C Scianca; M Barraco; W Miranda; C Álvarez; A Quiroga & F Babinec. 2014. Momento de secado de especies de cultivos de cobertura. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo, II Reunión Nacional Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Bahía Blanca, Argentina. 5 al 9 de mayo de 2014. En CD
- Rampo, M; M Barraco; P Girón; W Miranda & M Lobos. 2018. Evaluación de especies de cultivos de cobertura en suelos post anegamiento. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo, 15 al 18 Mayo, San Miguel de Tucumán.
- Rillo S; C Álvarez; R Bagnato & E Noellemeyer. 2012. Efecto de vicia como cultivo de cobertura sobre la disponibilidad de agua y nitrógeno en maíz. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpefecto_de_la_vicia_sobre_la_disponibilidad_de_nitrogen.pdf





CARBONO ORGÁNICO Y ESTABILIDAD EN SECUENCIAS CON CULTIVOS DE COBERTURA EN SANTA FE REGIÓN CENTRO

Basanta, M.^{1,*}, G. Tugores², P. Bernardi²

¹ INTA AER Esperanza

* Lehmann 817, (3080) Esperanza, Prov. de Santa Fe.

² FCA-UNL, basanta.maria@inta.gob.ar

RESUMEN

La estabilidad de los agregados (EA) es uno de los indicadores más utilizados para determinar el estado de la estructura del suelo. Entre los factores que afectan la EA es de fundamental importancia el carbono orgánico (CO). Los CC constituyen una herramienta para incrementar el CO del suelo y mejorar la estabilidad de la estructura. En un ensayo de larga duración (iniciado en 2015) con un diseño experimental de bloques completos aleatorizados se evaluó el efecto de diferentes secuencias de cultivos anuales con y sin cultivos de cobertura (S1(s/CC) [maíz - soja]; S2(c/CC) [vicia/maíz - centeno/soja]; S3(s/CC) [maíz- soja - trigo/soja]; S4(c/CC) [vicia/maíz - centeno/soja - trigo/soja]) sobre el carbono orgánico del suelo (CO) total (CO_{< 2 mm}) y de la fracción entre 1 y 2 mm (CO_{1-2 mm}) y la estabilidad de agregados (EA). El muestreo fue realizado en enero de 2019, es decir a los 3,5 años de iniciado el experimento, y luego de cuatro CC en las secuencias S2 y S4 (2015 a 2018). Se observó un incremento de CO en las secuencias con cultivos de cobertura que, si bien no fue significativo, representa una tendencia que se debería mantener en el tiempo respondiendo al mayor secuestro de C cuando se realizan más cultivos por año. No se observaron diferencias en la estabilidad de agregados entre las secuencias evaluadas. Se observó una relación funcional entre la EA y el CO, siendo mayor la EA con el incremento del CO tanto CO_{< 2 mm} como CO_{1-2 mm}, independientemente de la secuencia de cultivos. El factor tiempo es crítico para observar cambios significativos en muchas de las variables de suelo. Por eso es importante la experimentación a largo plazo.

Palabras clave: cultivos de cobertura, carbono orgánico, estabilidad de agregados

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de los agregados (EA) es el resultado de complejas interacciones entre procesos biológicos, químicos y físicos (Tisdall & Oades 1982) y es uno de los indicadores más utilizados para determinar el estado de la estructura del suelo (Six *et al.*, 2000). Entre los factores que afectan la EA es de fundamental importancia la materia orgánica (MO). En general, a mayor nivel de MO los agregados son más estables (Alvarez y Steinbach, 2006). Las secuencias de cultivos y los sistemas de labranzas inciden sobre la EA debido a su efecto sobre los niveles de MO. En particular, los aportes de biomasa de los cultivos de cobertura (CC) incorporan carbono al suelo y generan una cobertura que protege al suelo del impacto de la gota de lluvia reduciendo la ruptura de los agregados (Álvarez *et al.*, 2008). A este efecto de la cobertura se suma el aporte de las raíces que generan un entramado que consolida la estructura porosa del suelo. El sistema radical de los CC cuando están creciendo genera agregados estables debidos a la interacción de las raíces con las partículas del suelo. Sin embargo, estos efectos de corto plazo pueden perderse, principalmente cuando los residuos que ingresan al suelo son fácilmente descomponibles (Restovich *et al.*, 2011). Así, los CC constituyen una herramienta para incrementar el periodo con presencia de raíces vivas y mejorar la estabilidad de la estructura. De esta manera se mitiga la degradación de la estructura provocada por el tránsito de maquinarias y el pisoteo animal muy frecuente en sistemas agrícolas y mixtos bajo siembra directa (Álvarez



y Fernández, 2015). Varios autores han reportado incrementos de estabilidad de agregados bajo secuencias que incluyen CC invernales (González *et al.*, 2017; Alessandria *et al.*, 2012; Villamil *et al.*, 2006), mientras que otros autores no encontraron diferencias (Basanta *et al.*, 2012; Scianca *et al.*, 2012; Varela *et al.*, 2010). El efecto positivo de los CC sobre la estabilidad de los agregados se evidencia en una adecuada proporción de macroporos que se traduce una mayor infiltración del agua en el suelo (Rillo *et al.*, 2012; Cesaretti *et al.*, 2010). El objetivo de este trabajo fue evaluar el carbono orgánico y la estabilidad de la estructura del suelo en diferentes secuencias agrícolas con y sin cultivos de cobertura en un ensayo de larga duración iniciado en 2015 en INTA Rafaela.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en el campo experimental de INTA EEA Rafaela (lat. 31°12' S, long. 61°30' O, 96 m s.n.m.). El clima es subtropical húmedo (Cfa, según la clasificación climática de Köppen-Geiger), la temperatura media anual es de 18,3°C y la precipitación media anual de 960 mm. El suelo corresponde al complejo Raf-09 compuesto por la Serie Rafaela (Argiudol típico) en un 50%, la Serie Lehmann en un 35% (Argiudol ácuico) y la Serie Castellanos (Argialbol típico) en un 15% (INTA, 2009). El ensayo se inició en 2015 y consistió en diferentes secuencias de cultivos con (c/CC) y sin (s/CC) cultivos de cobertura en siembra directa. El diseño fue en bloque completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos corresponden a las secuencias de cultivos:

S1: (s/CC) [maíz - soja]

S2: (c/CC) [vicia/maíz – centeno/soja]

S3: (s/CC) [maíz- soja – trigo/soja]

S4: (c/CC) [vicia/maíz – centeno/soja – trigo/soja]

donde vicia y centeno se siembran como cultivos de cobertura en otoño y se interrumpen en primavera, previo a la siembra del cultivo de renta (maíz o soja). Cada año están en el campo todas las fases de cada secuencia totalizando 10 parcelas por bloque. El muestreo fue realizado en enero de 2019, es decir a los 3,5 años de iniciado el experimento, y luego de cuatro CC en las secuencias S2 y S4 (2015 a 2018). Las variables evaluadas fueron estabilidad de agregados (EA) (Kemper & Roseneau, 1986) y carbono orgánico del suelo (CO) por Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1982) total (CO < 2mm) y de la fracción entre 1 y 2 mm (CO 1-2 mm). En los primeros 10 cm de suelo se tomaron 3 muestras no disturbadas por parcela (n = 90 muestras) con cilindro de 6 cm de altura y 10 cm de diámetro. Para las variables EA, %CO < 2 mm y %CO 1-2 mm se realizó el análisis de variancia correspondiente al diseño en bloques completos aleatorizados. La comparación de medias se realizó mediante el test LSD ($p < 0,05$). Las relaciones entre las variables se evaluaron usando un modelo de regresión lineal simple. Todos los análisis se hicieron con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de %CO < 2 mm, %CO 1-2 mm se presentan en la Figura 1a. No hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre secuencias para ninguna de las dos variables. Sin embargo, se puede observar una tendencia a incrementar el %CO en ambas fracciones cuando se introducen CC tanto en las secuencias de dos años (S1 vs S2) como en las secuencias de tres años (S3 vs. S4). Esta tendencia resulta promisoría teniendo en cuenta que solo han transcurrido 3,5 años desde el inicio del ensayo, por lo que se podría esperar que con el tiempo las diferencias se incrementen y sean significativas. Para la variable EA tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, con valor promedio de 62,8% (Figura 1b). Estos valores de EA son similares a los encontrados por Basanta *et al.* (2012) con esta misma metodología en suelos Haplustoles de Córdoba en la secuencia soja-maíz con y sin CC en SD, quienes tampoco encontraron un incremento en la EA en los sistemas con CC. Varela *et al.* (2010) tampoco encontraron efecto de la inclusión de CC en la EA y lo atribuyeron a que la medición no se realizó inmediatamente después de secado el CC. Sin embargo, otros autores han reportado incrementos de EA bajo secuencias que incluyen CC invernales (Villamil *et al.*, 2006; González *et al.* (2017). Es de destacar que González *et al.* (2017) constataron que la inclusión de especies de ciclo otoño-invernal como cultivos de cobertura en secuencias maíz-soja mejoró la estabilidad estructural del suelo respecto de dicha secuencia sin CC luego de seis años de establecido el



ensayo, periodo de tiempo que los autores consideran como mediano plazo. Siendo que en el presente trabajo la evaluación fue realizada a los 3,5 años de iniciado el ensayo, lo que es considerado como corto plazo, se esperaría que en una próxima evaluación puedan observarse diferencias en EA a favor de las secuencias con CC.

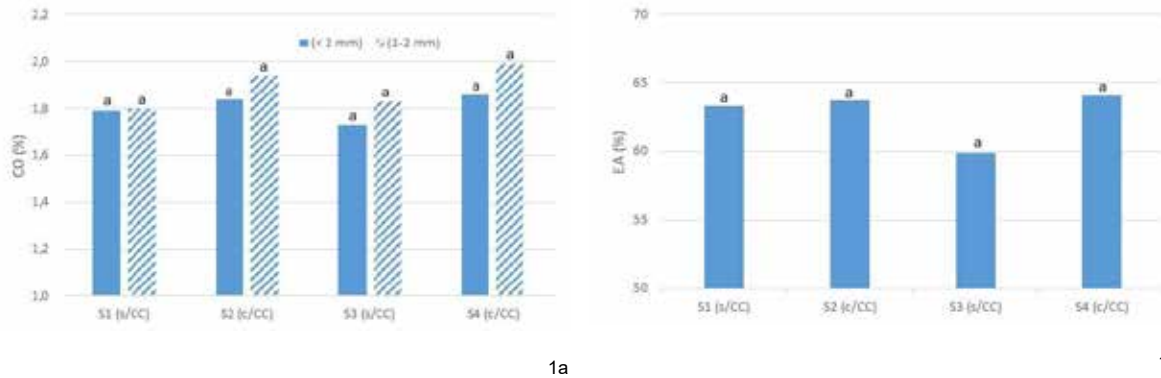


Figura 1. (a) Carbono orgánico (CO) en las fracciones <2mm y 1-2mm en la profundidad de 0-10 cm. Letras diferentes dentro de cada fracción indican diferencias significativas. (b) Estabilidad de agregados (%EA) en la profundidad de 0-10 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Además, se observó un incremento de la EA con el aumento de CO, independientemente de la secuencia de cultivos, y dicha relación se dio tanto con CO<2mm como con CO1-2mm (Figura 2a y b). la concentración de CO en ambas fracciones explicó un 56% de la variabilidad de la EA.

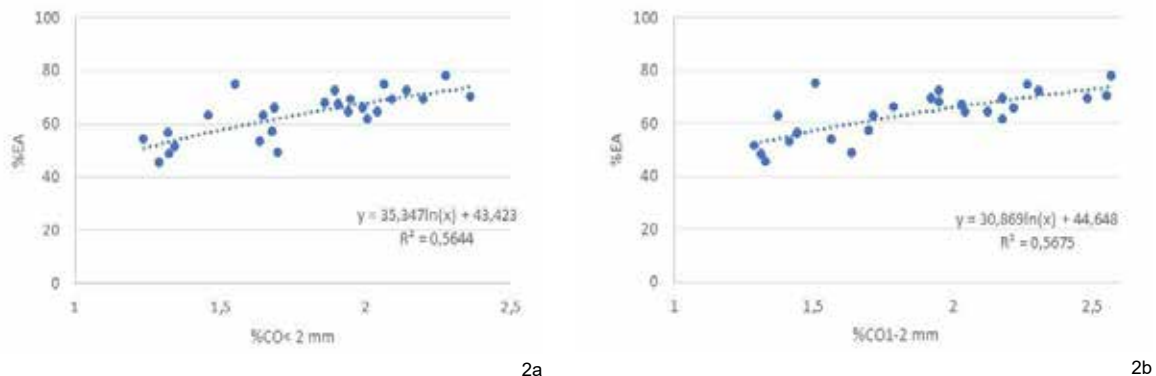


Figura 2. Relación entre la estabilidad de agregados (EA) y el carbono orgánico (CO) en las fracciones 1-2mm (a) y <2mm (b).

Similares resultados fueron reportados por Colazo *et al.* (2006) quienes estudiaron los factores que condicionan la EA en suelos de diferentes regiones de Argentina y concluyeron que la MO fue el principal agente cementante de las partículas individuales, explicando casi un 50% de la variabilidad en los valores de EA de todos los suelos analizados. Varios autores, entre ellos Irizar *et al.* (2013), Novelli *et al.* (2013) y González *et al.* (2017), reportaron relaciones positivas entre la estabilidad estructural y el CO bajo diferentes situaciones de manejo y tipos de suelo.

CONCLUSIONES

Se observó un incremento de %CO (0-10 cm) en las secuencias con cultivos de cobertura que, si bien no fue significativo, representa una tendencia que se debería mantener en el tiempo respondiendo al mayor secues-



tro de C cuando se realizan más cultivos por año. No se observaron diferencias en EA entre las secuencias evaluadas. Se observó una relación funcional entre la EA y el CO, siendo mayor la EA con el incremento del CO, independientemente de la secuencia de cultivos. El factor tiempo es crítico para observar cambios significativos en muchas de las variables de suelo. Por eso es importante la experimentación a largo plazo.

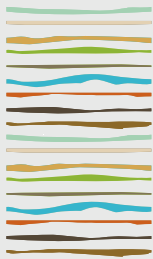
BIBLIOGRAFÍA

- Alessandria, E; M Arborno; H Leguía; L Pietrarelli; JV Sanchez & JL Zamar. 2012. Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba. En: Álvarez, C.; A Quiroga; D Santos & M Bodrero (Eds.). Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 128-137.
- Álvarez, CR & PL Fernández. 2015. La Compactación de los Suelos bajo Agricultura. Simposio de Fertilidad 2015. Rosario. p. 22-27.
- Álvarez, C; C Scianca; M Barraco & M Díaz Zorita. 2008. Impacto del manejo de cereales de cobertura invernal sobre propiedades edáficas y producción de soja. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. Disponible en CD.
- Álvarez, R & H Steinbach. 2006. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica. En: Álvarez R (Ed.) Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en los suelos pampeanos. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Cap. VI p. 69-79.
- Basanta, M; C Alvarez, JP Giubergia & E Lovera. 2012. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En: Álvarez C, A Quiroga, D Santos & M Bodrero. (Eds.) Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 50-57.
- Cesaretti, C; M Basanta; JP Giubergia & E Lovera. 2010. Evaluación de porosidad e infiltración en un Haplustol éntico bajo diferentes labranzas y secuencias de cultivos. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. En CD.
- Colazo, JC; P Blanco; A Becker; P Bouza; H Del Valle; C Quintero; G Boschetti; J De Dios Herrero; M Osterrieth; MF Alvarez; N Borelli & D Buschiazzo. 2006. Estabilidad estructural en suelos de la Argentina. XX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Salta-Jujuy, Argentina. En CD.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; M Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2019. Infostat—Software Estadístico. InfoStat Versión 2019; Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba: Córdoba, Argentina.
- González, H; S Restovich & S Portela. 2017. Utilización de cultivos de cobertura invernales como alternativa para mejorar la estabilidad estructural del suelo. *Cs. del Suelo* 35(1):1-10.
- INTA. 2009. Visor GeoINTA. <http://visor.geointa.inta.gob.ar/>.
- Irizar, A; A Andriulo & B Mary. 2013. Long-term impact of no tillage in two intensified crop rotations on different soil organic matter fractions in Argentine rolling Pampa. *Open Agriculture Journal* 7: 22-31.
- Kemper, W & R Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. En: Klute A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis: part I. Physical and Mineralogical Methods*, 2 nd ed. Agron. Monogr., vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, p 425 – 442.
- Nelson, D & L Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: *Methods of Soil Analysis*. Page AL. (Ed.). Part 2. Agronomy 9, Madison, WI, p 539-579.
- Novelli, L; O Caviglia; M Wilson & MC Sasal. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196: 260-267.
- Restovich, S; A Andriulo & C Améndola. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Cs. del Suelo* 29(1):61-73.
- Rillo, S; C Álvarez; R Bagnato & E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. En: Álvarez, C; A Quiroga; D Santos & M Bodrero (Eds.) Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 58-68.
- Scianca, C; MF Varela; M Barraco; C Álvarez & A Quiroga. 2012. Cultivos de cobertura en un Haplustol Thapto Árgico de la pampa arenosa: análisis de cinco campañas. En: Álvarez, C, A Quiroga, D Santos & M Bodrero. (Eds.) Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1° ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 105-116.
- Six, J; K Paustian; ET Elliott & C Combrink. 2000. Soil structure and soil organic matter: I Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Tisdall, J & J Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Varela, MF; PL Fernández; G Rubio & MA Taboada. 2010. ¿Mejora la macroporosidad y la estabilidad estructural de los suelos limosos luego de la incorporación de cultivos de cobertura? Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. En CD.



Villamil, MB; GA Bollero; RG Darmody; FW Simmons & DG Bullock. 2006. No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. 2006. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1936-1944.





EFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA DENSIDAD APARENTE Y LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO

Basanta, M.^{1*}, P. Bernardi², G. Tugores²

1 INTA AER Esperanza.

* Lehmann 817, (3080) Esperanza, Prov. de Santa Fe.

2 FCA-UNL, basanta.maria@inta.gob.ar

RESUMEN

Se evaluó el efecto de diferentes secuencias de cultivos anuales (S) con y sin cultivos de cobertura (CC) sobre la densidad aparente (DA) y la resistencia a la penetración (Rp) del suelo en un ensayo de larga duración en siembra directa (iniciado en 2015), con un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos son: S1(s/CC) [maíz - soja]; S2(c/CC) [vicia/maíz - centeno/soja]; S3(s/CC) [maíz- soja - trigo/soja]; S4(c/CC) [vicia/maíz - centeno/soja - trigo/soja], donde vicia y centeno se siembran como cultivos de cobertura en otoño y se interrumpen en primavera, previo a la siembra del cultivo de renta (maíz o soja). Cada año están en el campo todas las fases de cada secuencia totalizando 10 parcelas por bloque. Las evaluaciones de DA y Rp se realizaron en enero de 2019, es decir a los 3,5 años de iniciado el experimento, y luego de cuatro CC en las secuencias S2 y S4 (2015 a 2018). No se observaron diferencias significativas de DA entre las secuencias evaluadas. Tampoco ocurrieron valores críticos de DA a ninguna profundidad. La Rp fue menor en las secuencias con cultivos de cobertura y solamente superó el umbral crítico en las dos situaciones con menos cultivos desde el inicio de este ensayo, ambas sin cultivos de cobertura. Las evaluaciones de Rp permitieron inferir que el aporte de raíces del cultivo de invierno previo a la evaluación provocó una disminución de la resistencia en comparación a la situación sin cultivo de invierno en que no hubo aporte reciente de raíces.

Palabras clave: cultivos de cobertura, densidad aparente, resistencia.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de agricultura continua en la Región Pampeana se basan principalmente en cultivos estivales quedando un periodo de barbecho otoño-invernal demasiado prolongado (Basanta *et al.*, 2008). Una alternativa para reducir la longitud del barbecho es incluir un cultivo de cobertura (CC) entre cultivos de renta. Los CC constituyen una herramienta para incrementar el periodo con presencia de raíces vivas y mejorar la condición física del suelo. De esta manera se mitiga la degradación física, debida principalmente a la pérdida de macroporosidad provocada por el tránsito de maquinarias (Álvarez & Fernández, 2015) sobretodo en sistema en siembra directa (SD), donde no hay posibilidades de remoción mecánica del suelo (Botta *et al.*, 2004). Los suelos en SD suelen presentar valores de resistencia mecánica (RM) más elevados, y en algunos casos, aumentos de la densidad aparente (DA) (Álvarez *et al.*, 2004). La DA ha sido uno de los parámetros más utilizados para describir fenómenos de compactación ya que refleja principalmente el volumen de poros existente en el suelo (Rubio & Lavado, 1990). Por otro lado, otros autores consideran que la RM es un parámetro más sensible que la DA para determinar los efectos sobre el suelo de las prácticas de manejo (Bauer & Black, 1981; Hammel, 1989). En algunos sistemas bajo SD se ha incrementado la impedancia mecánica del suelo generando efectos negativos sobre el abastecimiento del agua y nutrientes para los cultivos (Steinbach & Álvarez, 2007). En este trabajo se evaluó el nivel de compactación del suelo en diferentes secuencias agrí-



colas con y sin cultivos de cobertura en un ensayo de larga duración iniciado en 2015 en la EEA INTA Rafaela.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en el campo experimental de INTA EEA Rafaela (lat. 31°12' S, long. 61°30' O, 96 m s.n.m.). El clima es subtropical húmedo (Cfa, según la clasificación climática de Köppen-Geiger), la temperatura media anual es de 18,3°C y la precipitación media anual de 960 mm. El suelo corresponde al complejo Raf-09 (Serie Rafaela 50%, Serie Lehmann 35% y Serie Castellanos 15%) (INTA, 2009). El ensayo se inició en 2015 y consistió en diferentes secuencias de cultivos (S) con (c/CC) y sin (s/CC) cultivos de cobertura en siembra directa. El diseño fue en bloque completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos corresponden a las secuencias de cultivos:

S1:(s/CC) [maíz - soja]. (parcelas 1 y 2)

S2: (c/CC) [vicia/maíz – centeno/soja]. (parcelas 3 y 4)

S3: (s/CC) [maíz- soja – trigo/soja]. (parcelas 5, 6 y 7)

S4: (c/CC) [vicia/maíz – centeno/soja – trigo/soja]. (parcelas 8, 9 y 10)

donde vicia y centeno se sembraron como cultivos de cobertura en otoño y se interrumpieron en primavera, previo a la siembra del cultivo de renta maíz y soja, respectivamente. S1 y S2 son secuencias con una duración de dos años, por lo que en cada año hay dos parcelas, cada una con sus respectivas fases, mientras que S3 y S4 son secuencias de tres años, por lo que en cada año hay tres parcelas, una por cada fase. Esto da un total de 10 parcelas por bloque.

El muestreo fue realizado en enero de 2019, es decir a los 3,5 años de iniciado el experimento, y luego de cuatro CC en las secuencias S2 y S4 (2015 a 2018). La densidad aparente (DA) se midió a las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm (cilindro de 100 cm³). La Rp se registró en seis puntos por parcela con un penetrómetro de punta cónica con un ángulo de apertura de 30° Field Scout SC 900, el cual registra medidas de resistencia (kPa) cada 2,5 cm, hasta los 45 cm de profundidad. Se tomaron muestras para determinar humedad gravimétrica (Hg) en las profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 y 40 a 50 cm. Las parcelas de soja se muestrearon 8 días antes que las parcelas de maíz y entre los dos muestreos ocurrieron lluvias (69 mm) que incrementaron la humedad del suelo. Se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias mediante el test LSD con Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de DA no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las profundidades evaluadas (Tabla 1). Se observó un incremento en profundidad de DA en todos los tratamientos, sin superar en ningún caso valores de 1,3 g cm⁻³, bien por debajo del valor de 1,45 g cm⁻³ reportado como la máxima DA para estos suelos (Gerster, 2008; Ferreras *et al.*, 2007).

Tabla 1. Densidad aparente (g cm⁻³) en las distintas profundidades evaluadas.

Secuencia	DA (0-5 cm)	DA (5-10 cm)	DA (10-20 cm)	DA (20-30 cm)
S1	1,17 a	1,22 a	1,26 a	1,27 a
S2	1,13 a	1,26 a	1,22 a	1,25 a
S3	1,10 a	1,23 a	1,27 a	1,28 a
S4	1,12 a	1,26 a	1,27 a	1,24 a

Medias con igual letras en sentido vertical no son significativamente diferentes (p>0,05).

La Rp se determinó en todas las fases de las cuatro secuencias de cultivos. En las Figuras 1 a 5 se presentan las curvas de Rp en las secuencias de dos años (S1 vs. S2) y tres años (S3 y S4), según la fase de la secuencia en la que se realizó la medición. Por eso la referencia de tratamientos corresponde al número de parcela y no al número de secuencia, indicándose en cada caso en qué fase de la secuencia se realizó el muestreo. En la comparación general se puede observar en todos los perfiles que las mayores Rp ocurren entre los 10 y



20 cm. Esto se puede explicar por los pisos endurecidos generados por las herramientas de labranzas que se usaron durante mucho tiempo antes de la adopción de la siembra directa. Otra información que se destaca es que solo en dos casos, parcela 1 (Figura 1) y parcela 6 (Figura 2) se supera el límite crítico de 2000 kPa. También se observó que los perfiles de menores resistencias y de mayores Hg se registraron en las parcelas de maíz como consecuencia de la lluvia previa al muestreo en estas parcelas. Por tal motivo, se analizaron por separado las parcelas de soja (muestreadas antes de la lluvia) y las de maíz (muestreadas después de la lluvia).

Resistencia al inicio del cultivo de soja

En la Figura 1a se comparan los perfiles de Rp de las parcelas 1 (S1 s/CC) y 3 (S2 c/CC), siendo S1 y S2 ambas secuencias de dos años. El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, se observó en todo el perfil menor resistencia en la situación donde hubo previamente un CC. Además, sin CC se alcanzó y superó a partir de los 25 cm el límite crítico de 2000 kPa. En la Figura 1b se presentan los perfiles de Hg, constatándose altos contenidos de humedad siempre por encima de 0,25 g g⁻¹.

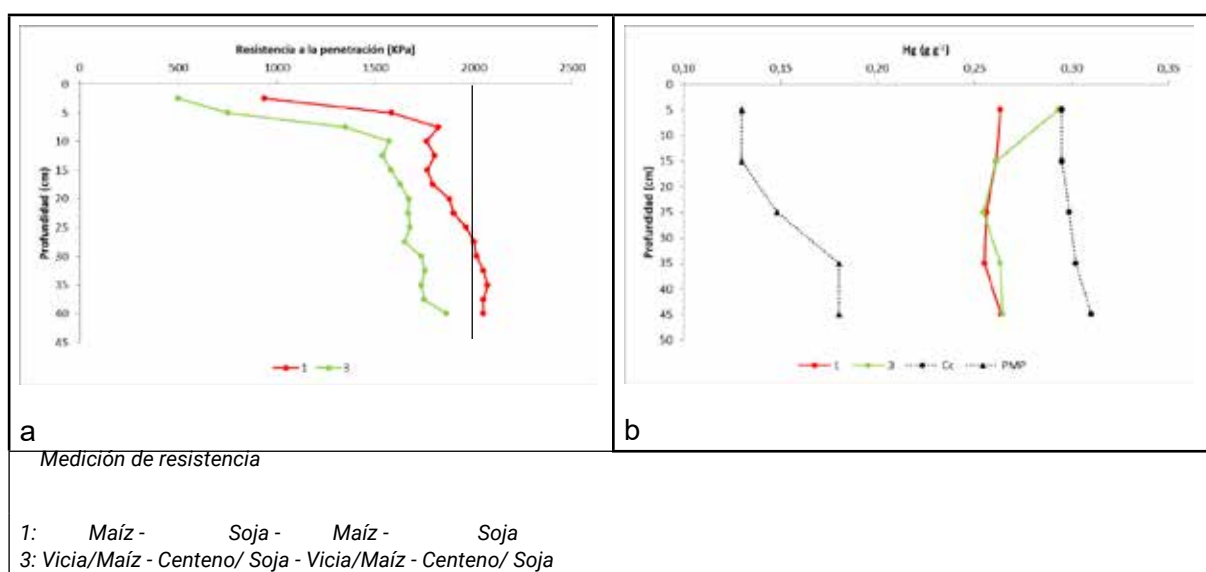


Figura 1. Resistencia a la penetración (Rp) (a) y humedad gravimétrica (Hg) (b). 1: parcela 1 (S1 s/CC); 3: parcela 3 (S2 c/CC); S1: maíz-soja; S2: vicia/maíz-centeno/soja; S3: maíz-soja-trigo/soja; S4) vicia/maíz-centeno/soja-trigo/soja. s/CC: sin cultivo de cobertura. c/CC: con cultivo de cobertura. Cc: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente.

En la Figura 2a se comparan los perfiles de Rp de las parcelas 6 (S3 s/CC) y 9 (S4 c/CC), ambas con soja de primera. El análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre tratamientos a partir de los 22,5 cm. Se observó en todo el perfil menor resistencia en la situación donde hubo previamente un CC. Además, sin CC se superó a partir de los 25 cm el límite crítico de 2000 kPa. En la Figura 2b se presentan los perfiles de Hg, constatándose altos contenidos de humedad siempre por encima de 0,25 g g⁻¹.

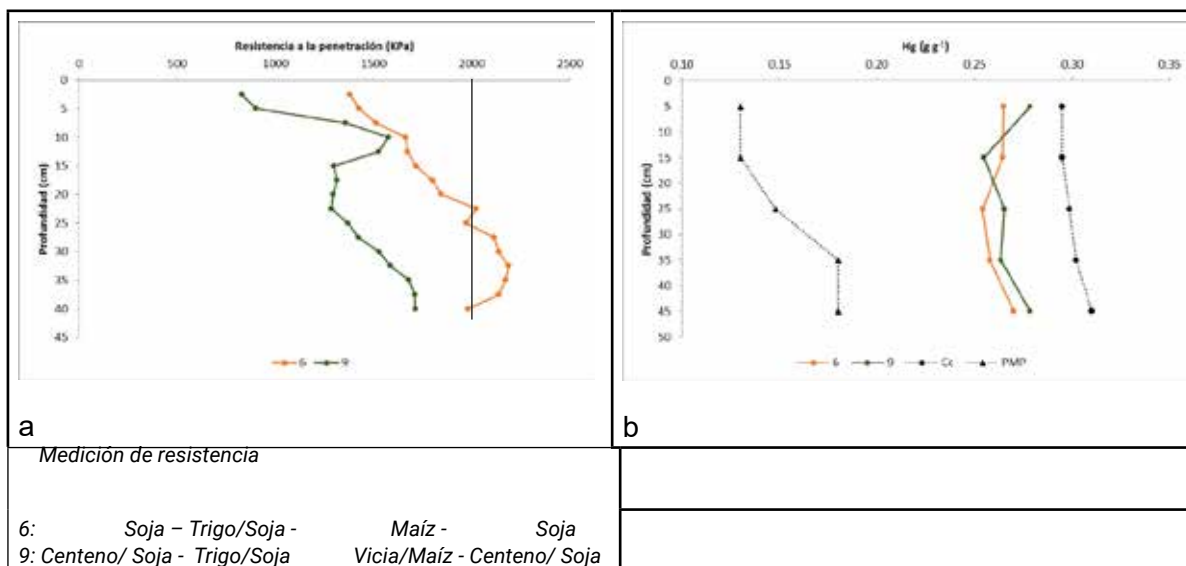


Figura 2. Resistencia a la penetración (R_p) (a) y humedad gravimétrica (H_g) (b). 6: parcela 6 (S3 s/CC); 9: parcela 9 (S4 c/CC). S1: maíz-soja; S2: vicia/maíz-centeno/soja; S3: maíz-soja-trigo/soja; S4) vicia/maíz-centeno/soja-trigo/soja. s/CC: sin cultivo de cobertura. c/CC: con cultivo de cobertura. Cc: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente.

En la Figura 3a se comparan los perfiles de R_p de las parcelas 7 y 10 que corresponden a las secuencias de tres años, la parcela 7 es S3 s/CC y la parcela 10 es S4 c/CC, ambas con soja de segunda después de trigo. Es decir, son las mismas secuencias que en la comparación anterior, pero en otra fase. Si bien el análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre tratamientos a partir de los 25 cm, ya a los 10 cm se observa una menor R_p en la parcela 10 (S4), evidenciando un efecto positivo acumulado debido al mayor número de cultivos. También es de destacar que en estas situaciones no se superó el límite crítico de 2000 kPa, lo que demuestra el efecto positivo de las raíces del trigo recientemente cosechado. En la Figura 3b se observan los perfiles de humedad, constatándose valores de $H_g \geq 0,25 \text{ g}^{-1}$.

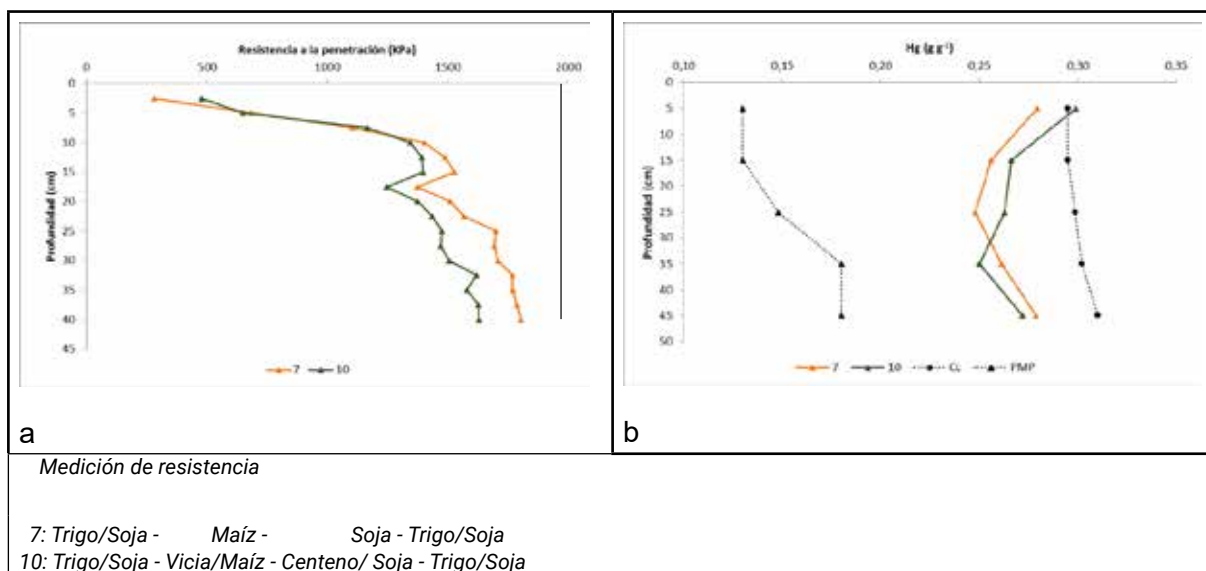


Figura 3. Resistencia a la penetración (R_p) (a) y humedad gravimétrica (H_g) (b). 7: parcela 7 (S3 s/CC); 10: parcela 10 (S4 c/CC). S1: maíz-soja; S2: vicia/maíz-centeno/soja; S3: maíz-soja-trigo/soja; S4) vicia/maíz-centeno/soja-trigo/soja. s/CC: sin cultivo de cobertura. c/CC: con cultivo de cobertura. Cc: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente.



Comparando los perfiles de Rp entre las parcelas 6 (Figura 2) y 7 (Figura 3), ambas de S3 s/CC pero distintas fases, se puede inferir el efecto de las raíces de trigo (parcela 7) que mejoran la condición estructural y provocan una disminución de la resistencia no superando los 2000 kPa. Dicho límite sí se había superado en la misma secuencia (parcela 6) cuando no hubo cultivo de invierno como antecesor de la soja, es decir que durante un periodo de tiempo prolongado no había habido aporte de raíces.

Resistencia al inicio del cultivo de maíz

La Rp fue inferior en las secuencias con CC (S2 y S4), con las mayores diferencias a partir de los 30 cm. Sin embargo, las diferencias entre las secuencias con y sin CC solo fueron estadísticamente significativas en la profundidad 32,5 cm. En la Figura 4 se comparan los perfiles de Rp en las secuencias de dos años (S1 y S2) al inicio de la fase maíz: parcela 2 (S1) cultivo antecesor soja y parcela 4 (S2) cultivo antecesor vicia. En la Figura 5 se comparan los perfiles de Rp en las secuencias de tres años (S3 y S4) al inicio de la fase maíz: parcela 5 (S3) antecesor soja y parcela 8 (S4) antecesor vicia.

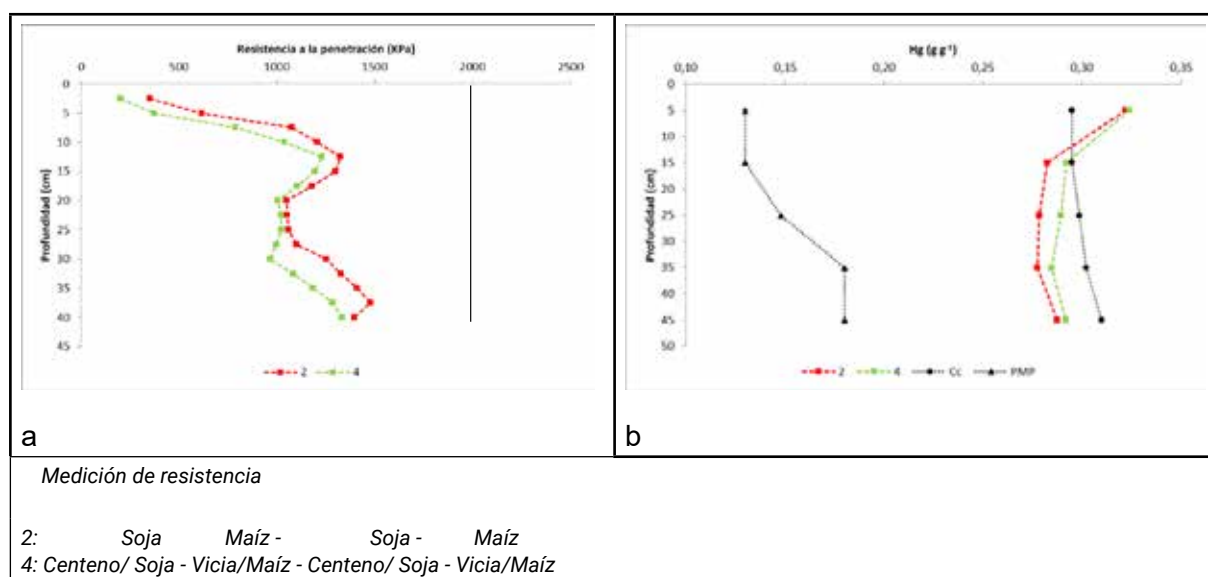


Figura 4. Resistencia a la penetración (Rp) (a) y humedad gravimétrica (Hg) (b). 2: parcela 2 (S1 s/CC); 4: parcela 4 (S2 c/CC). S1: maíz-soja; S2: vicia/maíz-centeno/soja; S3: maíz-soja-trigo/soja; S4) vicia/maíz-centeno/soja-trigo/soja. s/CC: sin cultivo de cobertura. c/CC: con cultivo de cobertura. Cc: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente.

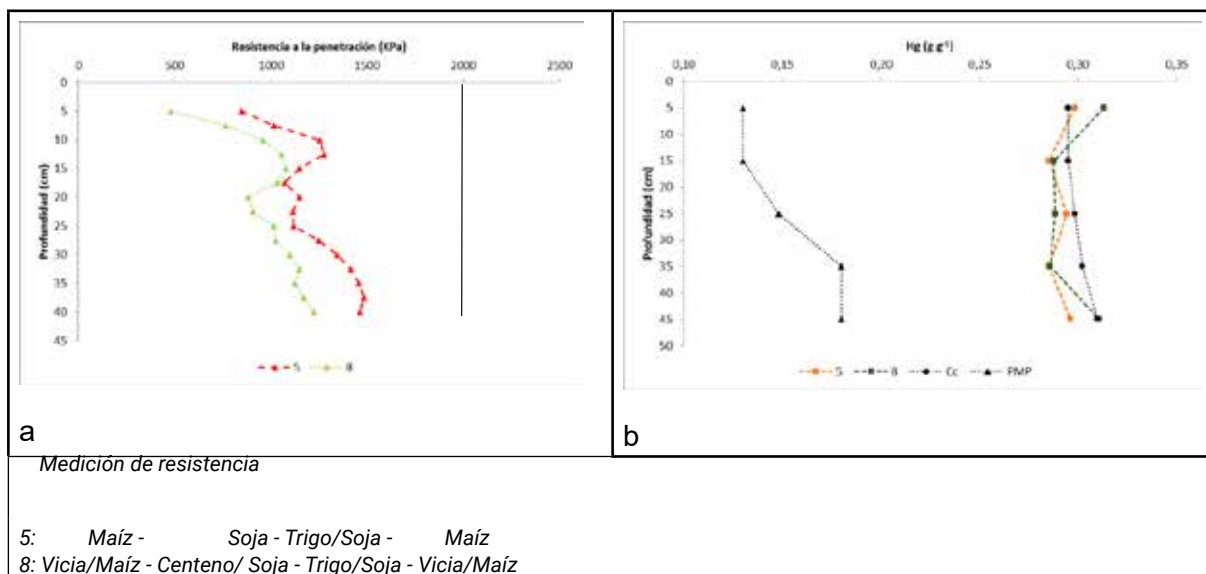


Figura 5. Resistencia a la penetración (R_p) (a) y humedad gravimétrica (H_g) (b). 5: parcela 5 (S3 s/CC); 8: parcela 8 (S4 c/CC). S1: maíz-soja; S2: vicia/maíz-centeno/soja; S3: maíz-soja-trigo/soja; S4) vicia/maíz-centeno/soja-trigo/soja. s/CC: sin cultivo de cobertura. c/CC: con cultivo de cobertura. Cc: capacidad de campo. PMP: punto de marchitez permanente.

En ninguno de los perfiles de R_p en maíz se superó el valor de 2000 kPa, por lo que se infiere que, en esta condición de suelo, es decir, en situaciones donde la H_g sea similar a la observada en este muestreo (muy próxima a capacidad de campo), no habría impedimentos para el desarrollo y la penetración de las raíces de los cultivos.

CONCLUSIONES

No se observaron diferencias significativas de DA entre las secuencias evaluadas. No ocurrieron valores críticos de DA en ninguna de las profundidades de suelo evaluadas. La R_p fue menor en las secuencias con cultivos de cobertura y solamente superó el umbral crítico en las dos situaciones con menor cantidad de cultivos desde el inicio de este ensayo, ambas sin cultivos de cobertura. Las evaluaciones de R_p permitieron inferir que el aporte de raíces del cultivo de invierno previo a la evaluación provocó una disminución de la resistencia en comparación a la situación sin cultivo de invierno en que no hubo aporte reciente de raíces.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C.R.; Fernández, P.L. 2015. La Compactación de los Suelos bajo Agricultura. Simposio de Fertilidad 2015. Rosario. p. 22-27.
- Álvarez, C.; Gutiérrez Boem, F.; Taboada, M.; Prystupa, P.; Ocampo, J. 2004. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp 238. Actas XIX Congreso Argentino de ciencia del suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Basanta, M.; Giubergia, J.P.; Lovera, E.; Alvarez, C.; Martellotto, E.; Curto, E.; Viglianco, A. 2008. Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un Haplustol de la Región Central de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis.
- Bauer, A.; Black, A.L. 1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Science Society of America Journal*, 45(6), 1166-1170.
- Botta, G.; Jorajuria, D.; Balbuena, R.; Rosatto, H. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil Till. Res.* 78: 53-78.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2019. Infostat—Software Estadístico. InfoStat Versión 2019; Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba: Córdoba, Argentina.
- Ferreras, L.; Magra, P.; Besson, E.; Kovalevski, E.; García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del suelo* 25(2): 159-172.
- Gerster, G. 2008. Compactación por tránsito de maquinarias en un Argiudol típico. Tesis de magíster en manejo y conservación de recursos naturales. Universidad Nacional de Rosario. 109 pp

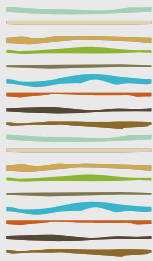


Hammel, J. E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, 53(5), 1515-1519.

Rubio, G.; Lavado, R.S. 1990. Efectos de alternativas de manejo pastoril sobre la densidad aparente de un Natracualf. *Ciencia del suelo*, 8(1), 79-82.

Steinbach, H. S., & Alvarez, R. 2007. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana? *Informaciones Agronómicas*, 33, 7-12.





RESPIRACIÓN EN MUESTRAS DE SUELO RE-HUMEDECIDAS COMO INDICADOR DE SALUD EDÁFICA

Bassi L.^{1,2*}, S. Tourn², N. Wyngaard³, G.V. García^{2,3}, C. Crespo^{2,3}, W.D. Carciochi^{2,3}, C. Rivero³, H.R. Sainz Rozas^{2,3}, G.A. Studdert²

¹ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires;

² Unidad Integrada Balcarce (FCA, UNMdP-UIB).

³ CONICET.

*Ruta 226, km 73,5 (7620) Balcarce, Prov. De Buenos Aires, bassi.lucila@inta.gob.ar.

RESUMEN

El *flush* de dióxido de carbono (CO_2) (F_{CO_2}) es una metodología utilizada para estimar el potencial de mineralización de nitrógeno (N) que consiste en la determinación del CO_2 emitido desde una muestra de suelo re-humedecida e incubada durante 3 días. Aunque el F_{CO_2} ha cobrado relevancia durante los últimos años, aún no ha sido evaluado como un indicador de salud edáfica. Por ello, es de interés evaluar si el F_{CO_2} es sensible a las prácticas de manejo y si se relaciona con propiedades del suelo asociadas a su salud. Se utilizaron muestras de suelo de un ensayo de larga duración con diferentes sistemas de cultivo, en los cuales se determinó F_{CO_2} , carbono (C) orgánico total (COT), asociado a los minerales (COA) y particulado (COP), N mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}), C potencialmente mineralizable (C_{063}) y la estabilidad de agregados (EA) medida mediante la masa de macroagregados grandes luego de un mojado violento (MA_{MV}). Los valores de F_{CO_2} variaron entre 135,1 y 499,5 mg C- CO_2 kg⁻¹, con un promedio de 265,3 mg C- CO_2 kg⁻¹. El F_{CO_2} fue sensible a los sistemas de cultivo. El F_{CO_2} se asoció lineal, positiva y estrechamente con el COT, COP, N_{AN} , MA_{MV} y C_{063} con $r=0,94$, $r=0,93$, $r=0,90$, $r=0,94$ y $r=0,88$, respectivamente. Sin embargo, el F_{CO_2} no se asoció con COA. Las relaciones observadas entre F_{CO_2} y las diferentes variables edáficas que definen el estado de salud de un suelo, y la simplicidad de la determinación del F_{CO_2} , lo posicionan como un promisorio indicador de salud edáfica. Sin embargo, para el uso de F_{CO_2} como indicador de salud es necesario evaluar su relación con un mayor número de variables físicas, químicas y biológicas, y en un rango más diverso de suelos y condiciones de manejo.

Palabras clave: respiración, mineralización, nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

La salud edáfica se define como la capacidad de un suelo para funcionar dentro de un ecosistema, sostener la producción vegetal y animal, mantener o aumentar la calidad del agua y del aire, y sostener la salud de los seres vivos (Doran & Parkin, 1996). La salud de un suelo depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Doran *et al.*, 1994).

Numerosas variables físicas, químicas y biológicas han sido propuestas como indicadores de salud edáfica (ISE) (Doran *et al.*, 1994). Sin embargo, la complejidad y/o el costo de determinación de la mayoría de los mismos hacen que no cumplan con los requisitos para ser considerados como ISE satisfactorios. Entre los requisitos que debe reunir un ISE se encuentran: i) debe ser sensible a cambios producidos por el uso del suelo y las prácticas de manejo, ii) debe ser sencillo y económico de medir, y iii) sus cambios deben asociarse con una o más funciones y/o propiedades del suelo (Doran & Parkin, 1996). La necesidad de que los ISE sean sensibles a los cambios en el uso del suelo y las prácticas de manejo se basa, fundamentalmente, en la posibilidad de utilizarlos como herramientas para la toma de decisiones, que permitan seleccionar prácticas



agrícolas para conservar la salud y funcionalidad del suelo (Lal, 2019).

Recientemente, ha cobrado especial atención una metodología utilizada para estimar el potencial de mineralización de nitrógeno (N) que consiste en la determinación del dióxido de carbono (CO_2) emitido desde una muestra de suelo re-humedecida e incubada durante 3 días, llamada *flush* de CO_2 (F_{CO_2}) (Franzluebbbers *et al.*, 2002). Aunque el F_{CO_2} ha cobrado relevancia durante los últimos años, aún no ha sido evaluado como un indicador de salud edáfica. El objetivo de este trabajo fue evaluar: i) la capacidad del F_{CO_2} para discernir entre sistemas de cultivo con distintos niveles de intensificación ecológica y ii) la relación del F_{CO_2} con otras variables edáficas (físicas, bioquímicas y biológicas).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La Unidad Integrada Balcarce (UIB, 37° 45' 09" S; 58° 18' 48" O; 140 msnm) cuenta con un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas con distintos sistemas de cultivo, de donde se obtuvieron muestras de suelo. Este ensayo fue iniciado en 1976. Desde su inicio y hasta 1993 el sistema de labranza fue labranza convencional (LC) y se utilizaron distintas combinaciones de cultivos y rotaciones con pasturas con base de gramíneas (Studdert *et al.*, 1997). Se definieron diferentes combinaciones de periodos bajo cultivo de cosecha y periodos bajo pastura con base de gramíneas y dos sistemas de labranza [labranza convencional (LC) y siembra directa (SD)] Sistemas de cultivo: a) PP: pastura permanente; b) 100SD: agricultura continua bajo SD; c) 100LC: agricultura continua bajo LC; d) 50SD: rotación 50% del tiempo (3 años) con agricultura bajo SD y 50% bajo pastura (3 años); e) 50LC: rotación 50% del tiempo (3 años) con agricultura bajo LC y 50% bajo pastura (3 años); f) 75SD: rotación 75% del tiempo con agricultura (9 años) bajo SD y 25% bajo pastura (3 años); g) 75LC: rotación 75% del tiempo con agricultura (9 años) bajo LC y 25% bajo pastura (3 años). La secuencia de cultivos para los periodos bajo agricultura fue maíz (*Zea mays* L.) - soja (*Glycine max* L. Merr.) - trigo (*Triticum aestivum* L.). Se realizaron fertilizaciones con nitrógeno (N) bajo la forma de urea (60 kg N ha^{-1}) y fósforo (P) (12 a 20 kg P ha^{-1}). Más información del ensayo y del diseño experimental está disponible en Tourn *et al.* (2019).

Muestreo, procesamiento de muestras y determinaciones analíticas.

En otoño del 2014 se tomaron muestras de suelo en 0-5 y 5-20 cm para la determinación de densidad aparente en cada unidad experimental y, además, con una pala se tomaron muestras compuestas por 5 sub-muestras de los estratos de 0-5 cm y de 5-20 cm, se secaron a 40 °C y se molieron hasta pasar por tamiz de 2 mm. En dichas muestras se determinó el F_{CO_2} (Franzluebbbers *et al.*, 2000) mediante incubaciones aeróbicas de muestras de suelo re-humedecidas, al 50% de agua útil, durante 3 días a 25°C en frascos sellados de 1 L. Dentro de cada frasco se colocó un recipiente con hidróxido de sodio que actuó como trampa alcalina para el CO_2 y fue luego titulado frente a ácido clorhídrico. Además, se determinó el contenido de carbono (C) orgánico total (COT) (Nelson & Sommers, 1982), C orgánico asociado a los minerales (COA) y C orgánico particulado (COP) (Cambardella & Elliott, 1992). El C potencialmente mineralizable (C_{063}) fue estimado a partir de la cuantificación del CO_2 producido en incubaciones aeróbicas durante 63 días a 25°C y 70-75% de humedad relativa del aire (Beare *et al.*, 1994; Tourn *et al.*, 2022). Por otro lado, se determinó el N mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}) (Keeney *et al.*, 1982) y la estabilidad de agregados (EA) mediante la masa de macroagregados (2000-8000 μm) luego de mojado violento (MA_{MV}) (García *et al.*, 2020a).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias entre tratamientos mediante el test de Tukey ($\alpha=0,05$) utilizando el software INFOSTAT. También, se ajustaron modelos de regresión lineal para evaluar la asociación del F_{CO_2} con las demás propiedades determinadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rango de valores obtenidos para el F_{CO_2} (Tabla 1) es semejante a los mencionados en la bibliografía (Schomberg, 2009; Franzluebbbers & Pershing, 2020). El F_{CO_2} fue afectado por los sistemas de cultivo y tendió a disminuir con la disminución del tiempo de ocupación con cultivos destinados a cosecha en las tres profundidades evaluadas (Tabla 1). En la profundidad de 0-20 cm, se observó que la transición de PP a 50%



del tiempo ocupado con agricultura produjo una disminución de aproximadamente un 21% de F_{CO_2} , y que, al incrementar el tiempo ocupado con agricultura (75 o 100%), dicha caída alcanzó valores de hasta un 55% de F_{CO_2} . La disminución de fracciones orgánicas lábiles en la transición entre PP y sistemas agrícolas se debe, principalmente, a la remoción de la vegetación permanente y al disturbio mecánico generado por labranzas agresivas (Sainz Rozas *et al.*, 2011).

En general, para cada nivel de intensificación ecológica, el F_{CO_2} tendió a ser mayor en SD que en LC, principalmente en el estrato de 0-5 cm (Tabla 1). En este sentido, la agresividad de la labranza utilizada afecta la protección física que otorga el suelo a la fracción orgánica, aumentando en diferente medida la exposición a la acción de microorganismos y favoreciendo los procesos de oxidación (Six *et al.*, 2004).

Tabla 1. Promedio de las observaciones y valor P del flush de CO_2 (F_{CO_2}) expresado en $mg\ kg^{-1}$ en las muestras de suelo para las diferentes profundidades (0-5 y 5-20) para los diferentes tratamientos. Para cada profundidad, letras iguales dentro de cada columna indican diferencias no significativas entre medias de los tratamientos ($P < 0,05$).

Trat.	F_{CO_2}			
	0-5 cm		5-20 cm	
PP	463,75	a	286,64	a
50-LC	329,70	b	229,67	ab
50-SD	405,01	ab	226,35	bc
75-LC	191,90	c	180,20	bcd
75-SD	332,58	b	199,19	bcd
100-LC	168,94	c	147,08	d
100-SD	384,25	ab	169,38	cd
valor P	<0,0001		<0,0001	

De la misma manera que los resultados observados para el F_{CO_2} , según informaron Tourn *et al.* (2019) y Rivero *et al.* (2020), el comportamiento del resto de las variables edáficas también fue afectado por el sistema del cultivo. La DAp en el estrato de 0-5 cm tendió a incrementarse con el aumento del porcentaje del tiempo ocupado con agricultura en la rotación, independientemente del sistema de labranza utilizado. Dado que las diferencias no fueron tan notorias en el estrato de 5-20 cm, la tendencia de 0-5 cm se mantuvo en 0-20 cm (Tourn *et al.*, 2019). En general, las variables N_{AN} (Rivero *et al.*, 2020), COT, COP, MA_{MV} y C_{063} (Tourn *et al.*, 2019) tendieron a disminuir con el aumento del porcentaje de agricultura en la rotación, más aún bajo LC. Por el contrario, COA no presentó diferencias entre sistemas de cultivo en ninguno de los estratos (Tourn *et al.*, 2019). Esto es coincidente con lo reportado para el sudeste bonaerense donde el COA se ha mostrado estable en el tiempo dada su baja sensibilidad a los cambios ante las prácticas de manejo (Studdert *et al.*, 2017). El F_{CO_2} mostró una estrecha asociación con COT (Figura 1b), como fue descrito por Franzluebbbers *et al.* (2000). Así, dada la relación ampliamente reportada entre COT y DAp (Keller & Håkansson, 2010), entre COT y N_{AN} (García *et al.*, 2020b), entre COT y MA_{MV} (García *et al.*, 2020b) y entre COT y C_{063} (Tourn *et al.*, 2022), es razonable la relación observada entre F_{CO_2} y dichas variables (DAp, N_{AN} , MA_{MV} y C_{063}) (Figura 1g, 1e, 1f y 1d, respectivamente). La relación entre F_{CO_2} y N_{AN} y entre F_{CO_2} y MA_{MV} nunca había sido descrita con anterioridad. En el caso de la mineralización de C, Franzluebbbers (2020) reportó una asociación lineal fuerte entre el C mineralizado en 60 días y F_{CO_2} similar a la observada entre esta última variable y C_{063} (Figura 1d). Además, F_{CO_2} se asoció con COP (Figura 1c), que es considerado un indicador temprano del efecto de las prácticas de manejo sobre la fracción orgánica (Wander & Nissen, 2004; Studdert, 2014). Por otra parte, no se observó asociación entre el F_{CO_2} y la fracción orgánica con mayor protección físico-química del suelo, el COA (Figura 1a).

Considerando que N_{AN} ha sido propuesto como ISE (García *et al.*, 2020b), la estrecha relación observada entre N_{AN} y F_{CO_2} (Figura 1e) es alentadora para considerar la utilización del F_{CO_2} como un potencial ISE. Además, F_{CO_2} presenta una ventaja respecto al N_{AN} en cuanto a su lapso de incubación (3 días), siendo mucho menor que el de N_{AN} (7 días), convirtiendo al F_{CO_2} en una alternativa promisoría para monitorear el estado de salud del suelo.



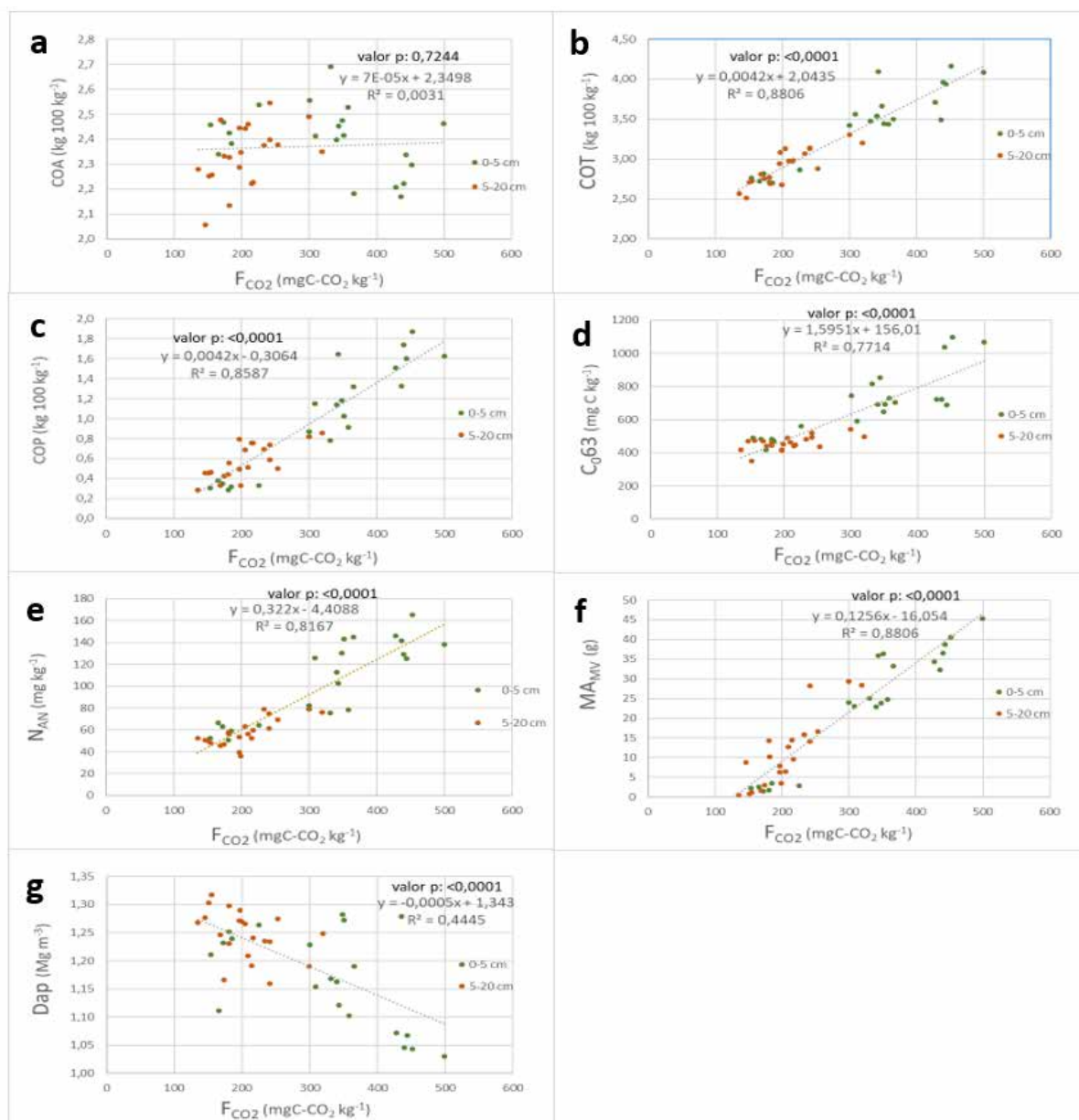


Figura 1. Modelos de regresión lineal para las variables determinadas [(a) COA: carbono orgánico asociado a los minerales; (b) COT: carbono orgánico total; (c) COP: carbono orgánico particulado, (d) C₆₃: carbono orgánico mineralizado en 63 días; (e) NAN: nitrógeno mineralizado en anaerobiosis; (f) MAMV: masa de macroagregados obtenido por mojado violento; (g) DAP: densidad aparente] en función del flush de CO₂ (F_{CO2}).

CONCLUSIONES

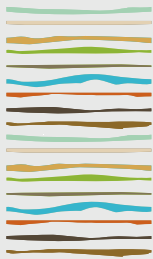
El F_{CO2} demostró: i) ser sensible a los sistemas de cultivo involucrados en este trabajo; ii) asociarse estrechamente con diferentes propiedades edáficas que definen la salud del suelo; iii) ser una técnica sencilla, que puede ser llevada a cabo con material frecuentemente utilizado en los laboratorios; y iv) ser una metodología rápida en comparación con otras técnicas convencionales. En base a dichos resultados, se concluye que el F_{CO2} es un promisorio indicador de la salud edáfica, debiendo continuar su evaluación en un rango más amplio de condiciones edafoclimáticas y de condiciones de manejo



BIBLIOGRAFÍA

- Beare, M; M Cabrera; P Hendrix & D Coleman. 1994. Aggregate-protected and unprotected organic matter pool in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:787-795.
- Cambardella, C & E Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión. 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. *Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, EEUU*, pp. 25-37.
- Doran, JW; TB Parkin; CD Coleman; DR Bezdicek & BA Stewart. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Madison, WI.
- Franzluebbers AJ. 2020. Soil carbon and nitrogen mineralization after the initial flush of CO₂. *Agric Environ Lett*; 5:e20006.
- Franzluebbers, AJ & MR Pershing. 2020. Soil-test biological activity with the flush of CO₂: VIII. Soil type and management diversity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84:1658-1674.
- Franzluebbers, AJ; RI Haney; CW Honeycutt; HH Schomberg & FM Hons. 2000. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:613-623.
- García, GV; SN Tourn; MF Roldán; M Mandiola & GA Studdert. 2020a. Simplifying the determination of aggregate stability indicators of Mollisols. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 51, 481-490.
- García, GV, N Wyngaard, NI Reussi Calvo, S San Martino, F Covacevich & GA Studdert. 2020b. Soil survey reveals a positive relationship between aggregate stability and anaerobically mineralizable nitrogen. *Ecol. Indic.* 117:106640.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties*. *Agron. Monogr. 9. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Coc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU*. pp. 643-698.
- Keller, T & I Håkansson. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154:398-406.
- Lal, R. 2019. Eco-intensification through soil carbon sequestration. *J. Soil Water Conserv.* 74:55A-61A.
- Nelson, D & L Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2 nd ed. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph*; 9. pp. 539-579.
- Rivero, C, SN Tourn, GV García, CC Videla, GF Domínguez & GA Studdert. 2020. Nitrogen mineralized in anaerobiosis as indicator of soil aggregate stability. *Agron. J.* 112:592-607.
- Sainz Rozas, H; H Echeverría & H Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extra pampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 2:6-12.
- Schomberg, HH; S Wietholter; TS Griffin; DW Reeves; ML Cabrera; DM Endale & RL Raper. 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1575-1586.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79:7-31.
- Studdert, GA. 2014. Materia orgánica y sus fracciones como indicadores de uso sustentable de suelos del Sudeste Bonaerense. In *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires (Vol. 5)*.
- Studdert, G; MN Domingo; GV García; MG Monterubbianesi & GF Domínguez. 2017. Carbono orgánico del suelo bajo sistemas de cultivo contrastantes y su relación con la capacidad de proveer nitrógeno. *Cienc. Suelo* 35:285-299.
- Studdert, G; H Echeverría & E Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2022. Actividad microbológica global como indicador de salud edáfica en molisoles del sudeste bonaerense. *Cienc. Suelo.* 40.
- Wander, M & T Nissen. 2004. Value of soil organic carbon in agricultural lands. *Mitig. Adapt. Strat. GL.* 9:417-431.





DISEÑO Y CALIBRACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA

Bellanich, A.E.^{1*}, P.E. Demin¹, I.P.M. Alvarez¹

¹ INTA EEA Catamarca;

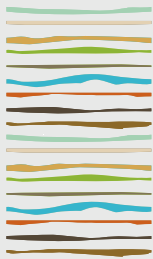
* Ruta Provincial 38, km 4, (4705) Sumalao, Prov. de Catamarca, Bellanich.augusto@inta.gob.ar

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo diseñar y calibrar un prototipo de dispositivo para el seguimiento del contenido de humedad edáfica, gestionado a través de una aplicación Android de elaboración propia. El dispositivo está controlado mediante el microcontrolador de código abierto Arduino, posee tres sensores capacitivos de humedad genéricos v1.2 para diferentes profundidades, capacidad de almacenamiento de datos, autonomía eléctrica mediante baterías de litio y panel solar, comunicación inalámbrica por Bluetooth, entre otras características. Los datos son obtenidos por el sensor en contacto con el suelo, se convierten de voltaje (0 a 3 V) a valores analógicos (0 a 1023). Estos últimos son conservados temporalmente y se aplica un filtro de mediana móvil por posibles valores anómalos. Con el fin de calibrar el dispositivo para un suelo específico, se procedió a comparar el sensor frente al método gravimétrico a nivel de laboratorio. Para controlar los efectos de la variabilidad por tipo de suelo y agua, se seleccionó un lote con plantación de olivos, ubicado en la EEA INTA Catamarca, y se continuó con el muestreo compuesto a una profundidad de 0 a 20 cm. Mientras que para el agua, se tomó una muestra del canal de riego correspondiente a la parcela seleccionada. Tanto a la muestra de suelo, seca y tamizada (2 mm), como a la de agua se le realizó un análisis físico-químico. Para la calibración se detallan los siguientes pasos: Se prepararon tres pastas de saturación. Se registró el agua de saturación de cada repetición y se promedió obteniendo una saturación de 27,3%. Se prepararon cilindros de aluminio con base de malla metálica para contener el suelo a humedecer. Se plantearon tres curvas de calibración, una por sensor, con 42 puntos por cada una. Se colocaron 150,0 g de suelo seco y tamizado por contenedor. Se dosificó el agua en los cilindros de a 1,0 ml de forma acumulativa, de modo que el primer cilindro se dejó seco y el cilindro n° 42 se le agregó 41 ml. Se registró el peso de los contenedores con el suelo húmedo, para corregir cualquier efecto de evaporación. Se dejó reposar durante 1 h. Se colocaron los sensores en los cilindros, se esperó 2 min y se realizaron las lecturas de la humedad del suelo a 23 ± 1 °C, registrando los valores obtenidos en la aplicación de celular. De la calibración, aplicando regresión por mínimos cuadrados, se obtuvo una relación entre los valores analógicos de salida de cada sensor (C1, C2, C3) y la humedad gravimétrica (H) del suelo, de tipo exponencial. Para el sensor 1, 2 y 3 las ecuaciones fueron: $H(\%) = 1,906E^{+18}C1^{-7,157}$ ($R^2=0,97$), $H(\%) = 5,204E^{+21}C2^{-7,924}$ ($R^2=0,93$), $H(\%) = 3,256E^{+22}C3^{-8,214}$ ($R^2=0,94$). Según los resultados de las pruebas y el análisis de los datos, se puede concluir que el dispositivo de medición tiene una buena respuesta al cambio de humedad del suelo seleccionado. Aunque se continuarán con las pruebas en diferentes suelos, haciendo contraste a nivel de campo y con corrección por temperatura.

Palabras clave: sensor, suelo, capacitancia.





ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES A FUTURO EN CAÑADA DE GÓMEZ, SANTA FE

Dickie, M.J.^{1*,2}, V.A. Anibalini², A. Coronel²

¹ AER INTA Cañada de Gómez, EEA INTA Oliveros;

² Cátedra de Climatología Agrícola, FCA, UNR;

* Lavalle 1466, Cañada de Gómez, Prov. de Santa Fe, dickie.maria@inta.gob.ar

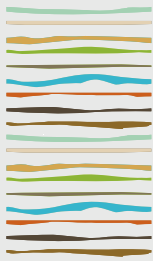
RESUMEN

Uno de los factores más importantes en la producción agropecuaria en la región pampeana son las precipitaciones (P), no solo por su cantidad, intensidad y distribución en el año, sino por sus efectos adversos sobre el suelo, como la erosión hídrica, siendo esta uno de los principales factores de la degradación de los suelos en la provincia de Santa Fe. Está depende de la textura y estructura de los suelos, de la topografía, cobertura vegetal y manejo, provocando pérdidas considerables de suelo y por ende de su productividad. En una primera instancia de este proceso se produce la remoción de las partículas de suelo a causa del impacto de las gotas de lluvia, por lo que es importante analizar el comportamiento de las P a futuro ante un escenario moderado de cambio climático. El objetivo del trabajo es analizar la variabilidad de las P en una serie futura 2022-2039 para Cañada de Gómez (-32°49', -61°24') con respecto a las P históricas (1988-2021). La serie a futuro de P utilizada corresponde a la base de datos climáticos de la Tercera Comunicación Nacional y el escenario fue el derivado de las simulaciones climáticas globales del CMIP5 modelo CCSM4_RCP4.5 para un escenario moderado de cambio climático y para el punto de grilla -32,75°-61,25°. Se analizó la variabilidad de P a escala anual, mensual, y diaria mediante las P mayores a 60mm (NDCP >60mm) y P acumulada en el semestre cálido por ser estas dos últimas variables las de mayor impacto en la erosión hídrica de los suelos. Se puede observar que las P anuales a futuro se incrementaran en un 8% (de 1.017mm a 1.101mm) variando entre 919mm en el 2035 y 1233mm para el 2038. Cuando se estudió a nivel mensual se puede observar que en el semestre frío (abril-septiembre) todos los meses las P serán menores a las P históricas, siendo julio (52%) y mayo (32%) los meses con mayor disminución. En tanto, en el semestre cálido las P se concentrarán principalmente en enero, febrero y octubre donde se estima un aumento del 60%, 48% y 37% respectivamente; noviembre y diciembre presentaran una disminución de P del 15% y 5% y marzo se mantendrá en los valores históricos. Cuando se analiza el NDCP > 60mm se observa una disminución de estos eventos pasando de 4 días a 1 día variando entre 0 y 3 eventos, octubre es el mes más frecuente en que ocurran P erosivas.

De lo analizado se puede observar un aumento en las P anuales y un cambio en la distribución anual, siendo el semestre frío más seco y el cálido con más eventos de P, siendo enero, febrero y octubre los de mayor aumento en porcentaje de los milímetros precipitados. En tanto, el NDCP >60mm muestran una disminución, pero es importante destacar que estos eventos se darán principalmente en octubre, lo cual junto con el aumento del P y la época del año, favorece a la erosión hídrica haciendo necesario realizar un adecuado manejo de los suelos.

Palabras clave: erosión hídrica, cambio climático, escenario futuro





ESTUDIO DE INFILTRACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS EN SUELO DE CORRALES DE FEEDLOT

Diez, M^{1*}, M. Barraco¹, M.C. Sardiña¹

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA General Villegas, General Villegas, Buenos Aires, Argentina.

*diez.marianela@inta.gob.ar

RESUMEN

Este experimento tuvo como objetivo: monitorear la infiltración en corrales de escasa historia de uso (< 10 años) y cuantificar algunas propiedades químicas de suelo hasta los 100 cm de profundidad en tres posiciones del corral. Se realizó en octubre de 2021 en la EEA INTA Gral. Villegas. Se seleccionaron seis corrales; tres corrales experimentales [Cexp] y tres corrales comerciales [Ccom] y una situación testigo. Para la medición de infiltración se colocaron entre ocho-nueve anillos a lo largo del corral y en un lote testigo. Para la estratificación de suelo se extrajeron muestras cada 20 cm hasta los 100 cm en tres posiciones del corral: comedero (C), medio (M) y fondo (F) y se evaluó: pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), fósforo extractable (Pe) y nitratos (NO₃). La infiltración básica fue diferente en las tres situaciones ($P < 0,05$): siendo mayor en T ($170,5 \pm 13 \text{ mm h}^{-1}$), luego Cexp ($34 \pm 6,3 \text{ mm h}^{-1}$) y por último Ccom ($9,9 \pm 7 \text{ mm h}^{-1}$). En suelo, la posición C presentó mayor concentración de Pe, de sales y mayor aporte de MO, respecto de la posición M y F. Esa incidencia fue mayor en los primeros 20 cm de profundidad de suelo, disminuyendo las concentraciones hacia capas más profundas. El pH fue mayor en corrales que en el T. En relación a nitratos en los Ccom donde se midió una menor infiltración se registraron menores concentraciones de nitratos, mientras que se detectaron valores por encima de 100 ppm en Cexp y T. Se concluye que hubo incidencia del corral de feedlot en las propiedades químicas de suelo estudiadas en todas las posiciones y la importancia de mantener el auto sellado de la capa estiércol-suelo como medida para minimizar el riesgo de lixiviación de nutrientes y el eventual alcance de los mismos a la napa freática.

Palabras clave: suelo, corrales, nutrientes.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de estiércol de ganado vacuno sobre la superficie de los corrales en actividades de feedlot genera grandes cantidades de solutos disueltos, altas concentraciones de fósforo (P), nitrógeno (N), potasio (K), metales pesados, materia orgánica (MO), patógenos, hormonas, antibióticos que pueden ser movilizados por flujos de agua afectando la calidad de agua superficial y subterránea (Miller *et al.*, 2004; García *et al.*, 2012). Por otro lado, el pisoteo animal y las lluvias promueven interacciones del estiércol con el suelo y la atmósfera generando así un estrato orgánico en la superficie del mismo, seguido por una interfaz estiércol-suelo (auto-sellada) y por debajo el suelo nativo. Debido a los procesos físicos de compactación por ganado y taponamiento físico de poros por el estiércol que ocurren en el estrato estiércol-suelo se reduce sustancialmente el flujo de humedad del suelo y la lixiviación de solutos hacia estratos más profundos. No obstante, no existe demasiada información local que cuantifique la tasa de infiltración en corrales, la estratificación de algunos parámetros químicos de suelo y si estas variables difieren según la posición del corral y su intensidad de uso. Los objetivos de este experimento fueron: 1- monitorear la infiltración básica y acumulada en corrales con escasa historia de uso (menos de cinco años) y 2- cuantificar algunas propiedades químicas de suelo hasta los 100 cm de profundidad, en tres posiciones del corral contrastante.



MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la EEA INTA Gral. Villegas en octubre de 2021. El feedlot cuenta con 24 corrales de 60 m * 6 m cada uno (corrales experimentales, Cexp) y tres corrales de 60 m * 60 m cada uno (corrales comerciales, Ccom). Para la medición de infiltración básica (mm h^{-1}) y acumulada (mm) se definieron estaciones de muestreo, conformadas entre ocho-nueve anillos (estación de muestreo) atravesando el largo de cada corral, desde el comedero hacia el fondo. Se establecieron tres estaciones de muestreo en tres Cexp, dos estaciones de muestreo en dos Ccom y tres en una situación testigo (T) de referencia. Se utilizó el método del anillo simple y la medición se realizó hasta los 90 min. Para evaluar la estratificación de algunos parámetros de suelo en la capa de 0-100 cm se seleccionaron seis corrales y se definieron tres posiciones dentro de cada corral: comedero [C], medio [M] y fondo [F] y una situación testigo [T] (lote agrícola localizado fuera de los corrales). Los seis corrales se diferencian por la relación superficie/animal; es decir tres corrales permiten alojar hasta 120 animales (-Ccom) mientras que los otros tres hasta 12 animales (Cexp), la carga es igual en ambos corrales (30 m/animal). El tiempo de ocupación difiere entre corrales, los Cexp están ocupados entre 4-6 meses al año mientras que los Ccom entre 6-8 meses. En cada posición se extrajeron muestras de suelo cada 20 cm hasta los 100 cm y las variables edáficas analizadas fueron: conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}), pH, MO (g kg^{-1}), P extractable (Pe, mg kg^{-1}) y nitratos ($\text{NO}_3, \text{mg kg}^{-1}$). Cada muestra estuvo compuesta por 3 sub-muestras. Los resultados obtenidos se analizaron con el software infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020) como un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones. Para detectar diferencias entre las medias de los tratamientos se realizó ANOVA y test LSD Fisher ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de infiltración básica y acumulada fueron diferentes en las tres situaciones estudiadas ($P < 0,05$). En el T se registraron los mayores valores de infiltración [$170,5 \pm 13 \text{ mm h}^{-1}$ y $273 \pm 20 \text{ mm}$]; seguido de Cexp [$34 \pm 6,3 \text{ mm h}^{-1}$ y $63 \pm 9 \text{ mm}$] y Ccom [$9,9 \pm 7 \text{ mm h}^{-1}$ y $26,8 \pm 11 \text{ mm}$], respectivamente. Es decir, los corrales de mayor relación sup/animal tuvieron una menor infiltración, pudiendo explicarse por una mayor compactación y/o auto sellado de la interfaz estiércol-suelo, limitando los flujos de agua y movimientos de solutos en profundidad. Respecto al estudio de estratificación en suelo los tratamientos evaluados tuvieron efecto significativo ($P < 0,05$) sobre las variables químicas estudiadas, principalmente en los primeros 0-20 cm de perfil de suelo. En relación a la CE, en Ccom se alcanzaron valores superiores a los alcanzados en Cexp (Figura 1). Hasta los 80 cm se detectaron diferencias entre tratamientos, el T se diferenció del resto en todas las profundidades evaluadas. En Cexp no hubo incidencia de la posición del corral ($P < 0,05$). En Ccom, la CE fue mayor en la posición C en los primeros 0-20cm ($19 \pm 1,5 \text{ dS m}^{-1}$), mientras que en M y F fue similar ($13 \pm 1,5 \text{ dS m}^{-1}$). El tratamiento T no superó el valor de 1 dS m^{-1} en todas las profundidades evaluadas. Respecto al pH, los valores fueron diferentes entre tratamientos hasta los 80 cm ($P < 0,05$). La situación T presentó un pH entre 5,5-6,6 en los 100 cm de profundidad, mientras que en la situación de corrales el rango fue entre 6,7-8,6, independientemente de la posición del corral en estudio. El pH fue mayor en corrales que en T. A su vez en Cexp no hubo incidencia de la posición, en cambio en Ccom la posición C fue la de mayor valor de pH diferenciándose del resto hasta los 40 cm, mientras que en 60 y 80 cm el pH fue igual en corrales ($7,03 \pm 0,16$; $6,98 \pm 0,13$) diferenciándose del T ($6,04 \pm 0,16$; $6,41 \pm 0,13$) respectivamente.

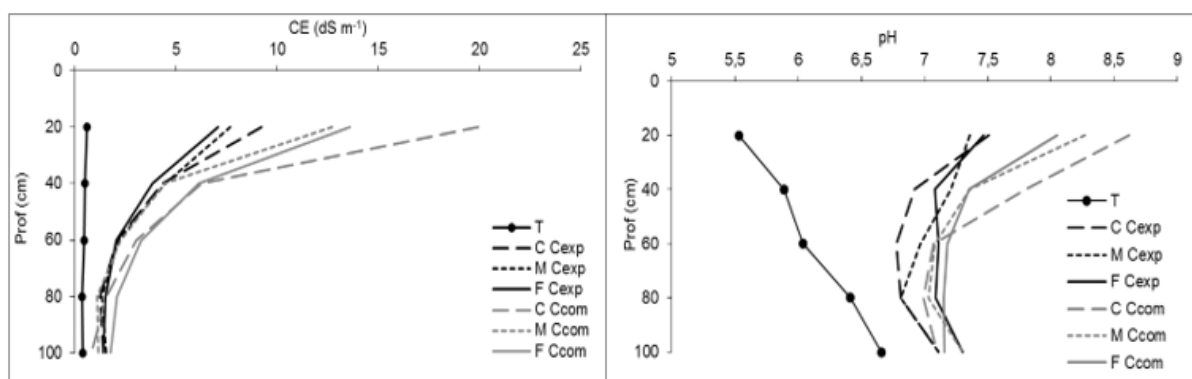


Figura 1: Valores de conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}) y pH cada 20 cm hasta los 100 cm de profundidad de suelo evaluados en los tratamientos: T (testigo), C Cexp (comedero corral experimental), M Cexp (medio corral experimental), F Cexp (fondo corral experimental), C Ccom (comedero corral comercial), M Ccom (medio corral comercial), F Ccom (fondo corral comercial).



Los tratamientos tuvieron incidencia sobre la MO hasta los 60 cm ($P < 0,05$; Tabla 1). Los valores de MO disminuyeron en profundidad, concentrándose en los primeros 20 cm, y siendo mayor en C Ccom. La posición C alcanzó un 52% más de MO respecto de M y F en los primeros 20 cm de profundidad de suelo y esto podría estar relacionado con una posible mayor acumulación de restos de comida en las adyacencias de los comederos.

Tabla 1: Contenidos de materia orgánica ($g\ kg^{-1}$) cada 20 cm hasta los 100 cm de profundidad de suelo evaluados en los tratamientos: T (testigo), C Cexp (comedero corral experimental), M Cexp (medio corral experimental), F Cexp (fondo corral experimental), C Ccom (comedero corral comercial), M Ccom (medio corral comercial), F Ccom (fondo corral comercial).

Tratamiento	20	40	60	80	100
	Profundidad (cm)				
T	23,9	14,3	9,4	4,5	4,4
C Cexp	41,9	21,3	11,7	6,4	5,3
M Cexp	27,8	18,7	8,0	3,4	3,9
F Cexp	32,9	19,0	8,9	6,2	4,7
C Ccom	100,5	28,8	16,6	7,2	3,4
M Ccom	53,3	19,5	10,7	5,0	3,6
F Ccom	51,7	22,4	11,1	6,2	5,6
EE	0,57	0,23	0,13	0,11	0,15
P valor	0,0001	0,02	0,01	0,23	0,92

EE= error estándar.

Hubo efecto del corral sobre los contenidos de Pe en todas las profundidades de suelo diferenciándose el T del resto ($P < 0,01$, Figura 2 a). En la posición C tanto de Cexp como Ccom se registró la mayor concentración de Pe en 0-20 cm ($178 \pm 21,3\ mg\ kg^{-1}$) y fue similar. En profundidad se observó una mayor concentración de Pe en Cexp respecto de Ccom. El valor mínimo de Pe alcanzado correspondió al tratamiento T en todas las profundidades (Figura 2 b). En corrales se concentraron 109, 61, 31, 15, y 23 $mg\ kg^{-1}$ más de Pe respecto al T para 20, 40, 60, 80 y 100 cm respectivamente. Ciganda y La Manna (2013) estudiando el potencial de contaminación sobre un sistema de engorde experimental en Uruguay encontraron acumulaciones significativas de P en la superficie del suelo superiores a los hallados en este experimento (por encima de $300\ mg\ kg^{-1}$) y de N por encima de $80\ mg\ kg^{-1}$ hasta 90 cm de profundidad. Esto coincide con Ciganda *et al.* (2015) quienes observaron una acumulación del Pe en los primeros 30 cm de suelo ($175\ mg\ kg^{-1}$) con valores promedios superiores a los testigos, y una disminución de los valores a mayor profundidad en 18 feedlots comerciales en Uruguay. El contenido de nitratos fue diferente en todos los tratamientos y en todas las profundidades ($P < 0,05$; Tabla 2). Los Cexp fueron los que más nitratos acumularon en los 100 cm de suelo y hasta los 60 cm se registraron concentraciones por encima de 100 ppm en C Cexp, lo cual indica movimiento de nitratos en profundidad cercano al comedero (Tabla 2). En líneas generales a igual profundidad se observó mayor concentración de NO_3 en T y C Cexp, M Cexp y F Cexp y esa diferencia fue significativa respecto a los Ccom. Estos valores no coinciden con lo hallado por Ciganda *et al.* (2015), quienes reportaron mayor acumulación de nitratos en corrales (concentraciones máximas de 55 ppm hasta los 30 cm) respecto de los sitios testigos. Sí coincide con la concentración de nitratos en profundidad observada en este trabajo.



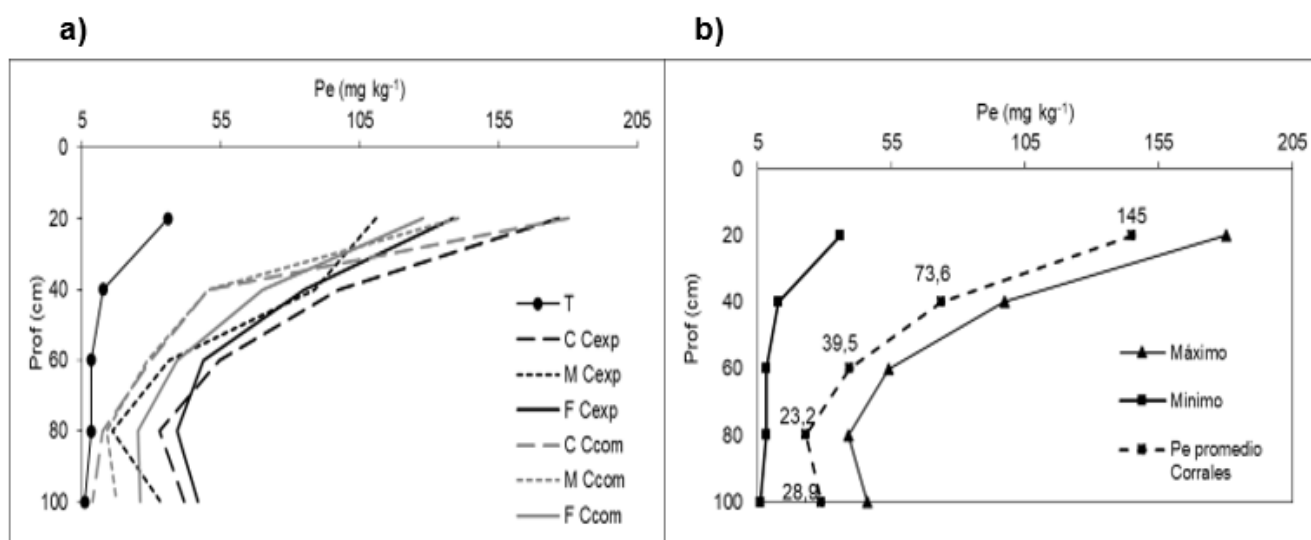


Figura 2: a) Contenido defósforo extractable (Pe , $mg\ kg^{-1}$). b) Valor máximo, mínimo y promedio de Pe de corrales cada 20 cm hasta los 100 cm de profundidad de suelo evaluados en los tratamientos: T (testigo), C Cexp (comedero corral experimental), M Cexp (medio corral experimental), F Cexp (fondo corral experimental), C Ccom (comedero corral comercial), M Ccom (medio corral comercial), F Ccom (fondo corral comercial).

Tabla 2. Contenido de nitratos (NO_3 , $mg\ kg^{-1}$) cada 20 cm hasta los 100 cm de profundidad de suelo en los tratamientos: T (testigo), C Cexp (comedero corral experimental), M Cexp (medio corral experimental), F Cexp (fondo corral experimental), C Ccom (comedero corral comercial), M Ccom (medio corral comercial), F Ccom (fondo corral comercial).

Tratamiento	Prof (cm)				
	20	40	60	80	100
T	136,38	101,01	91,18	83,9	53,43
C Cexp	120,6	171,81	112,52	81,29	54,93
M Cexp	114,97	111,23	60,62	47,85	51,76
F Cexp	112,52	104,7	59,11	75,4	48,63
C Ccom	81,76	32,05	25,95	41,75	55,01
M Ccom	53,41	27,25	27,64	23,49	22,19
F Ccom	47,5	26,09	32,09	31,14	27,9
EE	7,68	9,9	9,1	7,89	5,76
P valor	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,005

CONCLUSIONES

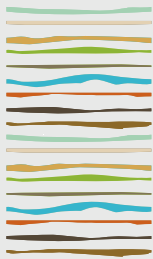
A los fines de este experimento y de un único momento de evaluación se concluye que hubo incidencia del corral de feedlot en las propiedades químicas de suelo estudiadas en todas las posiciones evaluadas. Esa incidencia fue mayor en los primeros 20 cm de profundidad de suelo. En la posición C hubo mayor concentración de Pe , de sales y mayor aporte de MO , respecto de la posición M y F. En relación a nitratos en los Ccom donde se midió una menor infiltración se registraron menores concentraciones de nitratos lo cual nos indicaría la importancia y función del auto-sellado de la capa de interfaz estiércol-suelo como barrera al movimiento de solutos y nutrientes en profundidad.



BIBLIOGRAFÍA

- Ciganda, V & A La Manna. 2013. Estudio sobre el potencial de contaminación de los Sistemas intensivos de Engorde Bovino a Corral sobre los recursos suelo y agua en el Uruguay. En Simposio Fertilidad 2013 [Acceso 08-03-2021 [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/\\$FILE/Ciganda%20y%20La%20Manna%202013.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/$FILE/Ciganda%20y%20La%20Manna%202013.pdf)]
- Ciganda, V; C Lizarralde & G Eguren. 2015. Establecimientos de engorde de ganado a corral o "feedlots". En Revista INIA, pp 39-44 [Acceso 03-10-2022 <file:///I:/Backup%20disco%20WD/Enero2022/Feedlot%20grupo%20GAF/Proyectos/2015-n.41-p.39-44-CIGANDA-revista-INIA-41.pdf>]
- Di Rienzo, JA ; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- García, AR; R Maisonnave; M Massobrio & AF de Iorio. 2012. Field scale evaluation of water fluxes and manure solution leaching in feedlot pen soils. *J Environ Qual* 41:1591–1599. doi:10.2134/jeq2011.0320
- Miller, JJ; BP Handerek; BW Beasley; EC Olson; LJ Yanke; FJ Larney & P Hasselback. 2004. Quantity and quality of runoff from a beef cattle feedlot in southern Alberta. *Journal of environmental quality*, 33(3), 1088-1097.





BALANCE DE CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE EN DIFERENTES USOS Y MANEJOS DEL SUELO

Digüero, N.^{1*}, M.A. Luna ¹, L.M. Molina ¹, H.J. Hernández ¹, P.I. Pesatti ¹, G.M. González ²

¹Universidad Nacional de Río Negro, Sede atlántica (ruta provincial N° 1 y rotonda cooperación). Viedma - Río Negro - Argentina.

²Agencia de Extensión Rural Carmen de Patagones. Buenos Aires - Argentina.

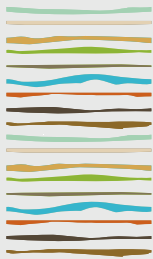
*Mail: nicodcai10@gmail.com Cel: 2920489317

RESUMEN

El incremento exponencial de la población mundial de los últimos años trae como consecuencia mayor demanda de alimentos, fibras y combustibles. Para abastecer dicha demanda es necesario intensificar los sistemas productivos y/o incrementar la superficie cultivada, abarcando zonas de menor aptitud productiva y menos resilientes a los impactos erosivos. La transformación de los ecosistemas naturales en agroecosistemas provoca una descarbonización de los suelos. Los usos y manejos intensivos generan pérdida del carbono orgánico (CO) y su liberación en forma de dióxido de carbono (CO₂) hacia la atmósfera, lo que contribuye en un aumento progresivo de los gases de efecto invernadero (GEI). El objetivo del presente estudio consistió en cuantificar los cambios que generan diferentes usos y manejos productivos sobre las ganancias y/o pérdidas de CO en suelos del sudoeste (SO) de la provincia de Buenos Aires. Para ello se compararon cuatro modelos productivos representativos de la región: 1) Pastoreo rotativo sobre pastizal natural (Pastizal N.+PR), 2) Pastoreo rotativo sobre Monte arbustivo-graminoso (Monte+PR), 3) Pastoreo rotativo sobre agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) (Agrop.+PR), y 4) Pastoreo rotativo sobre rastrojos de cereales de invierno (Agric.+PR). Para cada modelo productivo se tomaron muestras de suelo de: 0-10, 10-20 y 0-20 cm de profundidad. Las determinaciones físicas y químicas en las muestras de suelo incluyeron: composición granulométrica (arena "A", limo "L" y arcilla "a"), densidad aparente (DA), carbono orgánico total (COT) y formas oxidables de CO (CO lábil y CO humificado). Se encontró una relación directa entre la fracción L+a y el contenido de COT. En los suelos con usos y manejos de menor intervención antrópica (Pastizal N.+PR y Monte+PR) se encontró mayor concentración y cantidad de COT, CO lábil y CO humificado. Considerando el Pastizal N.+PR situación de referencia, se halló 16,2% menos cantidad de CO lábil en los suelos con Monte+PR y 35,3% en aquellos con Agrop.+PR y Agric.+PR. Respecto a la cantidad de CO humificado los suelos con Agric.+PR presentaron la mayor diferencia (32,0% menos CO), seguido por el Agrop.+PR (20,8%), mientras que por el contrario en los suelos Monte+PR se encontró 6,5% más CO humificado que en la situación de referencia. Estos resultados sustentan la necesidad de planificar alternativas de uso y manejo conservacionistas y sustentables que permitan mejorar la capacidad de retención y acumulación de CO en los suelos, y de esta manera evitar agravar futuros procesos erosivos.

Palabras clave: degradación, manejo edáfico, materia orgánica.





EFFECTO DEL RIEGO SOBRE PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DE ARGUJDOLES TIPICOS DEL SUDESTE BONAERENSE

Domínguez, G.F.*; M. de los A. Agostini

*Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP,

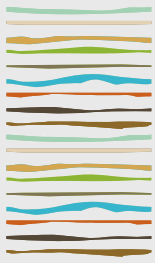
Ruta Nacional 226, km 73.5 (7620), Balcarce, Prov. de Buenos Aires gdominguez@mdp.edu.ar

RESUMEN

En el Sudeste Bonaerense (SB) se ha intensificado el uso de riego asociado a la producción de granos (p.e maíz para semilla) y de hortalizas (Papa). El agua de riego posee un elevado contenido de bicarbonato de sodio. El RAS (Relación de absorción de sodio) es una medida de calidad del agua de riego. Valores de RAS por encima de 3,5, afectan la salud física del suelo. Las láminas de riego utilizadas oscilan entre 150 mm hasta valores extremos mayores de 600 mm en Papa por campaña. Ello implica un importante riesgo de sodificación del suelo aún con agua de riego de calidad media, lo cual hace necesario el monitoreo anual de la salinidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue describir la condición física y química del suelo en lotes de producción del SB bajo riego. En los años 2018 y 2022 se determinaron en lotes bajo riego los valores de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), la relación de absorción de sodio en extracto de saturación (RASe), densidad aparente (DA) en la profundidad de 0 a 60 cm de profundidad y la velocidad de infiltración (VI) en sectores regados y en sectores testigo sin riego. También se realizó una calicata en la que se describió el estado estructural del suelo hasta el inicio del horizonte argílico, (aproximadamente a 50 cm de profundidad). En los sectores bajo riego, afectados por sodio se observó una pérdida de estructura en la capa sub-superficial del suelo coincidente con la parte inferior del horizonte A y el horizonte BA. El PSI osciló entre 0,38- a 0,75 % para el sector sin riego y de 4,18 a 7,50 % bajo riego. El RASe varió de un rango de 1,6 a 2,4 en los testigos a 6,7 a 9 en los sectores regados. Se observó una marcada disminución de la VI en los sectores regados con respecto al testigo. No en todos los casos se observó un incremento de la DA. Es esperable que en esta condición física del suelo los cultivos tengan inconvenientes para su provisión de agua y nutrientes, que exista mayor probabilidad de escurrimientos que incrementen los riesgos de erosión hídrica. Se debe ajustar el manejo de lámina y rotación del riego para no provocar una degradación del suelo que podría comprometer su uso a largo plazo.

Palabras clave: sodio, riego, estructura.





EVALUACIÓN DE LA SALUD DEL SUELO EN ESTABLECIMIENTOS CON DISTINTOS NIVELES DE INTENSIFICACIÓN

Domínguez, G.F.^{1*}; M. de los A. Agostini¹, C. Crespo^{1,2}; D.R. Martínez¹; M.R. Di Nápoli³; J.H. Gonzalez Montaner³

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); (B7620BKL) Balcarce, Prov. de Buenos Aires.

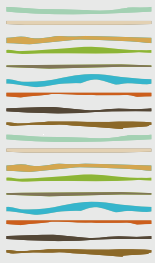
³ AACREA gdominguez@mdp.edu.ar

RESUMEN

La intensificación sustentable (IS) de la agricultura se presenta como una herramienta fundamental y se asocia con: i) un aumento en el uso de los recursos ambientales a través del uso de una mayor fracción de la estación de crecimiento, ii) el uso de prácticas sustentables orientadas a preservar los recursos naturales, y iii) un mantenimiento o aumento en la productividad de cultivos por unidad de superficie. Para la adopción de las alternativas de IS es fundamental evaluar su combinación a través de los diferentes sistemas de manejo. Dicha evaluación puede ser realizada a través de la medición de propiedades físicas, químicas y biológicas llamadas indicadores de salud edáfica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos niveles IS de rotaciones sobre indicadores de salud edáfica en tres establecimientos agropecuarios del Sudeste Bonaerense. Los niveles de IS fueron establecidos hace más de 10 años. En el año 2021 se realizaron muestreos de suelo. Sobre las muestras de suelo se determinó: materia orgánica total (MO) y particulada (MOP), nitrógeno anerbico (Nan), velocidad de infiltración (VI), densidad aparente (DA) y estabilidad de agregados (EA). Se analizó la relación entre el aporte de carbono (C) de las secuencias con distinto nivel de IS y las variables mencionadas a través de regresiones lineales. Las variables químicas (MO, MOP y Nan) presentaron mayor sensibilidad que las físicas entre niveles de IS, aunque no se detectaron diferencias significativas. En las variables físicas, la DA osciló entre 1,21 Mg m⁻³ y 1,26 Mg m⁻³, la VI entre 178 mm h⁻¹ y 255 mm h⁻¹, y la EA entre 14 y 20 g 100 g suelo⁻¹ entre niveles de IS. Estos valores indicarían que los suelos analizados tienen una adecuada salud física en los dos niveles de IS analizados. El aporte de C promedio anual presentó relaciones lineales y significativas con MO, MOP y Nan ($R^2= 0,57$; $R^2= 0,69$; y $R^2= 0,94$, respectivamente) independientemente del grado de IS. Las secuencias de cultivos fueron diversificadas tanto para el nivel de alta como el de baja IS para los tres establecimientos, lo cual se refleja en los resultados de las distintas propiedades edáficas, cuyos valores no serían limitantes para la producción de los cultivos. De todos modos, las variables químicas mostraron una mayor sensibilidad ante el cambio en los niveles de IS. Por lo tanto, para poder determinar diferencias de mayor magnitud en las propiedades físicas, sería necesario contar con situaciones con niveles de IS más contrastantes.

Palabras clave: intensificación sustentable, aporte de carbono, propiedades edáficas





UTILIZACIÓN DE CULTIVOS DE SERVICIO PARA MEJORAR SUELOS DEGRADADOS Y EL RENDIMIENTO DE *PHASEOLUS VULGARIS*

Ducci, A.^{1,2*}, C. Abán¹, J. Huidobro², M. Acreche^{1,2}, y C. Pérez Brandan^{1,2}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) CCT-Salta, J.M. Leguizamón 366, 4400 Salta, Salta, Argentina.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - Estación Experimental Agropecuaria Salta, Ruta Nacional 68, Km 172, C.P. 4403, Cerrillos, Salta, Argentina.

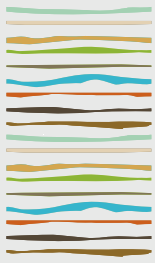
*email: ducci.antonella@inta.gob.ar

RESUMEN

En la actualidad, los suelos presentan signos de degradación debido a la labranza intensiva y la falta de prácticas conservacionistas enfocadas en la restauración de servicios ecosistémicos. Esto genera una mayor necesidad de insumos externos para alcanzar los rendimientos esperados, lo que conlleva a una menor sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La utilización de cultivos de servicio (CS) se propone como estrategia de manejo para la mitigación de diversas problemáticas, observándose mejoras en parámetros tanto físicos, químicos y microbiológicos del suelo, los cuales impactan positivamente en el rendimiento de los cultivos de renta que se siembran posteriormente. En el Valle de Lerma, provincia de Salta, el cultivo de poroto se efectúa con un ciclo estivo-otoñal, quedando previamente el lote bajo barbecho, de modo que este manejo podría ser reemplazado con la implementación de cultivos de servicios. El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de diferentes CS en dos indicadores de suelo y en el rendimiento de *Phaseolus vulgaris*. El ensayo fue llevado a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Cerrillos, durante la campaña 2019-2020. Se implantaron cuatro CS: *Avena sativa*, *Tricosecale*, *Melilotus alba* y *Vicia villosa*, en el periodo otoño-invernal. Como testigo se utilizó el monocultivo de poroto (sin cultivo de servicio). Llegada plena floración se procedió al secado químico de los CS y posteriormente a la toma de muestras de suelo. Los indicadores de suelo seleccionados para determinar fueron: estabilidad estructural de agregados de suelo (EAS) y materia orgánica particulada (MOP). EAS se determinó por medio del método de microtamices y MOP siguiendo el fraccionamiento mediante tamices y posterior cuantificación de carbono. Las profundidades seleccionadas fueron: 0-5; 5-10; 10-20 y 20-40 cm. Se evaluó el rendimiento de poroto, para lo cual las muestras se llevaron a estufa hasta alcanzar peso constante. Luego se realizaron comparaciones de medias mediante ANOVA entre tratamientos y con el testigo (poroto/barbecho). Los resultados obtenidos mostraron que, el rendimiento del poroto, fue 4800 kg/ha cuando se utilizó como CS *Melilotus*, seguido por *Vicia* (4500 kg/ha) y *Avena* (4365 kg/ha). *Melilotus*, *Vicia* y *Avena* se diferenciaron significativamente entre sí y con el testigo. En las cuatro profundidades de suelo bajo análisis, los CS *Avena*, *Melilotus* y *Vicia* mostraron valores de EAS entre un 20 a un 15% mayores que el testigo, que presentó los niveles más bajos. El efecto en el incremento en EAS fue mayor en el rango de 5-10 cm. En relación a la MOP, los mayores valores se observaron en el rango de profundidad 5-10 cm, siendo siempre los CS mayor que el testigo (1,09% de MOP). Se destaca la *Vicia* con 2,12% de MOP. En las restantes profundidades se evidenciaron tendencias similares. En conclusión, se observó que el uso de cultivos de servicio es una práctica de manejo que muestra prometedores resultados que alientan su adopción en la región, permitiendo un manejo más sustentable y sostenible.

Palabras clave: poroto, estabilidad de agregados, materia orgánica particulada





EVALUACIÓN DE CULTIVOS DE SERVICIO INVERNALES PARA EL SUDOESTE BONAERENSE

Duval, M.E.^{1,2,*}, M. De Lucia¹, E. Rodriguez¹, M. Bouza¹, L. Rodriguez¹

¹ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur,

² Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS);

* San Andrés 800, (8000) Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires, mduval@criba.edu.ar

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la factibilidad de incluir cultivos de servicio (CS) en sistemas agropecuarios del sudoeste bonaerense, durante cuatro años (2019 a 2022) se evaluaron distintas especies como CS sobre un haplustol éntico. Las especies utilizadas fueron: centeno (C), avena (A), vicia (V), sus consociaciones (C+V y A+V) y un testigo (barbecho) sobre el cual no se hizo CS. Se evaluó producción de materia seca (MS), uso consuntivo (UC), eficiencia de uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH). El promedio general de MS fue de 3683 kg ha⁻¹, destacándose centeno puro y consociado, los cuales superaron los 4400 kg ha⁻¹. El UC promedio para los CS fue de 196 mm y en el testigo de 152 mm. La EUA promedio fue de 21 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, destacándose C con 27 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, con valores entre 10 y 50 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ dependiendo del año. El resto de las gramíneas puras o consociadas tuvo una EUA entre 20 y 25 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, mientras que V presentó una EUA promedio de 10 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, siendo significativamente inferior al resto de los CS para la mayoría de los años. El CH promedio fue de 42 mm, con un máximo de 71 mm y un mínimo de 13 mm. Los mayores CH ocurrieron en el año con mayor producción de MS (2020). Teniendo en cuenta la información generada en este trabajo, en años con precipitaciones inferiores a la media histórica, la inclusión de CS en el sudoeste bonaerense es una práctica que permitiría intensificar los planteos productivos incrementando los aportes de carbono y cobertura al suelo sin un CH que ponga en riesgo el cultivo posterior. Además, en el mismo periodo que los CS, el barbecho tradicional presentó una eficiencia del 6 al 42%, poniendo de manifiesto la ineficiencia de dicha práctica para retener agua durante el invierno.

Palabras clave: centeno, vicia, dinámica hídrica.

INTRODUCCIÓN

Los actuales sistemas agrícolas de la región pampeana presentan una escasa reposición del carbono y nutrientes al suelo (Sainz Rozas *et al.*, 2019) ya que, a partir de la década del 90, se intensificó el uso agrícola de los suelos aumentando tanto en superficie como en productividad a causa de un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2003). El sudoeste bonaerense (SOB) semiárido no escapó a estos cambios y, por su vulnerabilidad ecosistémica, presenta un desafío importante a la hora de mantener la sustentabilidad de dichos sistemas (De Leo *et al.*, 2020). En el SOB, los cereales de invierno (trigo y cebada) predominan en las secuencias agrícolas y, en los últimos años, ha aumentado la participación del maíz baja densidad con el objetivo de diversificar la producción, cortar el ciclo de algunas malezas problemáticas y mejorar la rentabilidad de la empresa agropecuaria. Estos sistemas se caracterizan por largos periodos de barbecho otoño-invernal, generando una subutilización de recursos agua, luz y nutrientes. A su vez, durante el período de barbecho se producen las mayores pérdidas de agua por evaporación, siendo una práctica poco eficiente para conservar el agua en regiones semiáridas. En este escenario, la inclusión de cultivos de servicio (CS) durante parte del período de barbecho sería una alternativa agronómica viable que colaboraría a mejorar la economía del agua y aumentar los aportes de carbono.



Los CS, cuyo objetivo es mejorar aspectos del suelo o los cultivos que se realizan en la rotación con fines productivos (Lu *et al.*, 2000; Duval *et al.*, 2015), también pueden reducir la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo respecto al barbecho pudiendo afectar negativamente los rendimientos del cultivo de cosecha (Unger & Vigil, 1998). Esa disminución del contenido de agua del suelo se conoce como costo hídrico (CH), el cual se encuentra entre 30 a 40 mm y 40 a 80 mm para leguminosas y gramíneas respectivamente (Baigorria & Cazorla, 2010). La decisión de finalizar los CS debe adaptarse a dos premisas fundamentales (Ruffo, 2003); (i) lograr una acumulación de biomasa que garantice cobertura y aporte de carbono y, (ii) ajustarse a las precipitaciones de la región con la finalidad de garantizar la recarga del perfil. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad de incluir cultivos de servicio (CS) a través del análisis durante cuatro años (2019 a 2022) la dinámica del agua en el suelo y la producción de materia seca de los CS.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en un lote del Campo Experimental Napostá (convenio UNS y MDA-PBA) (38° 26' 30" LS; 62° 15' 59" LW). El suelo clasifica como Haplustol éntico, franco grueso, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 2010), con una secuencia de horizontes Ap-A2-AC-C-Ck₁-2Ck₂-3Ck₃. Las lluvias le otorgan a la región un carácter subhúmedo o de transición, con un valor medio anual de precipitaciones de 562 mm (Figura 1). Sobre un diseño en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones se evaluaron diferentes especies utilizadas como CS: centeno (C), avena (A), vicia (V), sus consociaciones (C+V y A+V) y un barbecho (B) testigo sobre el cual no se realizaron CS.

Manejo de los cultivos

Entre marzo y abril de cada año se sembraron los CS bajo el sistema de siembra directa. La supresión del crecimiento de los CS se realizó entre los meses de agosto y octubre, aproximadamente a los 155 días desde su siembra, en estadios reproductivos. El criterio que se tuvo en cuenta para definir el momento de supresión fue que los cultivos de gramíneas llegaran a floración, a fin de lograr una elevada producción de materia seca total (MS). Información adicional sobre fechas y manejo, se detallan en la Tabla 1.

Muestreo de los cultivos de cobertura

La producción MS de las distintas especies de CS se determinó al momento de secado de los mismos, tomando una muestra de 0,25 m² por parcela, mediante cortes al ras del suelo. Las muestras fueron secadas a 40°C de temperatura para la determinación del peso seco.

Monitoreo del contenido hídrico del suelo

Al inicio del ensayo (2019), se determinaron las constantes hídricas: capacidad de campo mediante olla de presión a 33 kPa (Klute, 1986) y el punto de marchitez permanente mediante membrana de presión a 1500 kPa (Richards, 1947). El agua útil (AU) del suelo se calculó como la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La densidad aparente se determinó mediante muestras sin disturbar por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). Se determinó el contenido de humedad del suelo por método gravimétrico en hasta los 100 cm de profundidad a la siembra y secado de los CS. Las muestras extraídas se pesaron en húmedo y se secaron en estufa a 105 °C hasta peso constante.

Se registraron las precipitaciones diarias para evaluar el balance hídrico. Los datos de precipitación diaria se obtuvieron de la estación meteorológica automática davis vantage pro2, ubicada a 1,2 km dentro del campo experimental. Mediante los valores de humedad y las precipitaciones se estimó el uso consuntivo (UC). Se calculó la eficiencia en el uso del agua, el consumo de agua (costo hídrico) y eficiencia de barbecho.

Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó regresiones lineales simples y Análisis de la Varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en cada variable y se utilizó el método LSD Fisher para la separación de medias. Todos los análisis estadísticos se elaboraron a partir del software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).



Tabla 1. Densidad de siembra, fechas de siembra y secado, y precipitaciones durante el ciclo de los cultivos de servicio.

Año	Tratamientos	Densidad de siembra (kg ha ⁻¹)	Fecha		Ciclo (días)	PP (mm)	Barbecho (mm)*
			Siembra	Supresión			
2019	Centeno (C)	60					
	Avena (A)	62					
	Vicia (V)	20	29/4/2019	4/10/2019	158	130	106
	C + V	50 + 12					
	A + V	48 + 12					
	C	40					
2020	A	60					
	V	14	20/4/2020	23/9/2020	156	160	85
	C + V	30 + 10					
	A + V	50 + 10					
	C	40					
	A	60					
2021	V	18	31/3/2021	23/9/2021	176	202	104
	C + V	17 + 8					
	A + V	27 + 8					
	C	39					
	A	58					
	V	23	16/3/2022	18/8/2022	155	360	--
2022	C + V	15 + 15					
	A + V	15 + 15					

*Periodo de tiempo transcurrido entre la supresión de los CS y la siembra del cultivo de verano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra la distribución de las precipitaciones mensuales para los 4 años de ensayo, las cuales, en general fueron inferiores al promedio histórico con un déficit hídrico para los meses de enero, febrero y agosto generando condiciones adversas para el establecimiento y crecimiento de los CS. Las precipitaciones durante el ciclo de los CS fueron entre 130 a 360 mm, mientras que las precipitaciones registradas entre el secado de los CS y la siembra del cultivo de verano fue entre 85 y 106 mm (Tabla1).

La variabilidad en la cantidad y distribución de las precipitaciones generó que la producción de MS presente un comportamiento diferente en cada CS debido a la interacción significativa Año x Tratamiento (Tabla 2). En los 4 años de estudio el centeno puro o consociado fue el tratamiento con mayor producción de MS superando en promedio los 4400 kg ha⁻¹, siendo un 22% superior al de avena pura o consociada, mientras que V fue el CS de menor producción de MS (1624 kg ha⁻¹). Estos resultados indicarían que, para años con precipitaciones inferiores a la media histórica, el C sería la especie con mejor comportamiento.

El uso consuntivo (UC) presentó efectos significativos tanto de los tratamientos ($p < 0,001$) como de los años ($p < 0,001$) e interacción no significativa ($p > 0,05$) (Tabla 2). El barbecho fue el de menor UC con 152 mm diferenciándose significativamente de los CS. A su vez, las gramíneas puras o consociadas presentaron consumos similares de agua (200 mm) diferenciándose significativamente de V (182 mm). Las variaciones en el consumo de agua en el barbecho tradicional (UC= 94-274 mm) se asociaron a las precipitaciones durante dicho período ($R^2 = 0,89$, $p < 0,05$) poniendo de manifiesto la ineficiencia de dicha práctica para retener agua



durante el invierno. Dicha ineficiencia también se reflejó en la eficiencia hídrica de barbecho con valores entre 6 y 42%. Estos resultados coinciden con los de otros autores que remarcan la ineficiencia del barbecho para almacenar el agua de las precipitaciones (Quiroga *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2007).

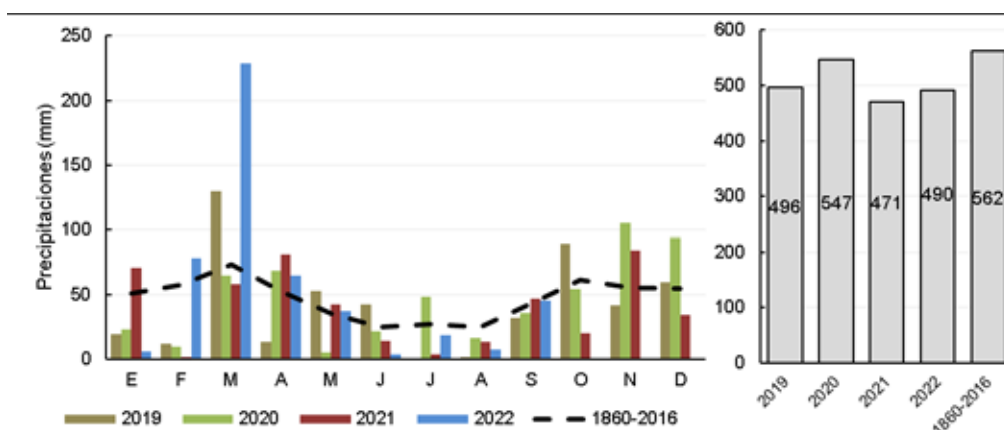


Figura 1. Precipitaciones mensuales registradas durante período 2019-2022* e históricas de la región. *contabiliza las precipitaciones hasta septiembre.

En función de los cambios en la MS y UC, la EUA en los CS varió según el año (Tabla 2). En promedio, los tratamientos con gramíneas presentaron EUA superiores a $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, mientras que la leguminosa fue solamente de $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Las EUA obtenidas en este trabajo fueron similares a la informadas por otros autores bajo condiciones edafoclimáticas similares (Prieto Angueira *et al.*, 2018), mientras que fueron inferiores a la publicadas en otra zona del país con mayor disponibilidad hídrica (Restovich *et al.*, 2012). Frasier *et al.* (2009) evaluando centeno hasta encañazón sobre un haplustol éntico obtuvieron valores de EUA de $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. La variación interanual en los valores de EUA (9 a $39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), estuvo asociada principalmente a la cantidad y distribución de las precipitaciones, encontrándose una relación estrecha con las precipitaciones acumuladas en los meses de junio, julio y agosto ($R^2= 0,97, p<0,01$), es decir las precipitaciones hacia fines de ciclo de los CS. Diferencias en las precipitaciones entre años pueden modificar el comportamiento de un mismo cultivo afectando la EUA (Huang *et al.*, 2003).

El CH de la inclusión de CS presentó efectos significativos tanto de los tratamientos ($p < 0,001$) como de los años ($p < 0,001$) e interacción no significativa ($p > 0,05$) (Tabla 2). El CH promedio fue de 42 mm , con un máximo de 71 mm y un mínimo de 13 mm con respecto del barbecho largo. Dicha variabilidad en el CH estuvo asociada principalmente a la MS producida por los CS ($R^2= 0,58, p < 0,001$). A su vez, se observaron diferencias significativas entre CS, donde las gramíneas puras o consociadas presentaron en promedio más de 40 mm de CH, mientras que V fue de 29 mm (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los reportados en ambientes semiáridos que demuestran que el contenido de agua disminuye entre 30 y 100 mm al realizar un CC (Quiroga *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2012). Conocer el efecto de los CC sobre la dinámica del agua en el suelo es una herramienta fundamental para el manejo de los CC en regiones semiáridas. En este caso la fecha de secado de los CC es una herramienta clave para su inclusión en regiones con déficit hídrico. En tal sentido, Fernández *et al.* (2012) evaluando al centeno como CC, obtuvieron mayor agua útil en aquellos tratamientos con fechas de secado julio/agosto comparadas con el barbecho tradicional. Para el presente estudio, considerando la distribución histórica de las precipitaciones (Figura 1), secando el CS antes de septiembre y sembrando el CV a partir de noviembre, sería viable poder realizar un CS sin un costo hídrico restrictivo para el cultivo de verano. Kriger, (2021) trabajando sobre el mismo ensayo, estimó una probabilidad de recarga del perfil de suelo superior al 60% con supresión de los CS en septiembre.

Tabla 2. Uso consuntivo (UC), materia seca (MS), eficiencia de uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) de los cultivos de servicio durante los 4 años de evaluación.

Año	Tratamiento	UC mm	MS kg ha ⁻¹	EUA kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹	CH mm	
2019		c	145	2980	21	28 c
2020		b	153	5528	39	65 a
2021		bc	152	1809	14	39 b
2022		a	303	2410	9	36 bc
	B	c	152	--	--	--
	V	b	182	1624	10	29 b
	C	a	200	4748	27	46 a
	C+V	a	197	4464	25	40 a
	A	a	201	3937	22	49 a
	A+V	a	200	3641	20	47 a
	B		122	1588	13 d	--
	V		133	1434 d	11 d	13 b
	C		158	4732 a	30 a	37 a
2019	C+V		150	4100	27 ab	28 a
	A		153	3184 b	21 bc	32 a
	A+V		155	2841	18 cd	33 a
	B		94	1113 b	12 b	--
	V		153	1839 b	12 b	55 a
	C		166	8109 a	50 a	68 a
2020	C+V		170	7377 a	44 a	64 a
	A		169	7519 a	45 a	71 a
	A+V		169	7212 a	43 a	69 a
	B		118	--	--	--
	V		150	1391 b	9 b	30 b
	C		162	2962 a	19 a	42 ab
2021	C+V		159	2762 a	18 a	33 b
	A		165	2065	12 ab	48 a
	A+V		163	1677 b	11 b	44 ab



	B	274	--	--	--
	V	291	1833 b	7 b	18 b
	C	312	3191	10	39 a
2022	C+V	309	3619 a	12 a	36 ab
	A	318	2983	9 ab	45 a
	A+V	315	2833	9 ab	41 a
	Tratamiento	***	***	***	**
	Año	***	***	***	***
	Año x Tratamiento	ns	***	***	ns

Para cada variable, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos o años (LSD de Fisher, $p < 0,05$).

CONCLUSIONES

El barbecho largo (>6 meses) es una práctica ineficiente para el almacenamiento de agua en suelos del sudoeste bonaerense, perdiéndose más del 60% de las precipitaciones que ocurren en dicho período. La inclusión de CS en el sistema permitió disminuir las pérdidas de agua producidas durante los barbechos largos tradicionales.

Las gramíneas puras o consociadas provocan un mayor consumo de agua que la leguminosa (vicia), siendo el consumo directamente proporcional a la materia seca producida. A su vez, el centeno acumuló el nivel más alto de biomasa junto con una mayor EUA.

A partir de los resultados recopilados durante cuatro años, los CS serían una alternativa eficiente en las regiones semiáridas, para la generación de biomasa, y por ende el aporte de carbono al suelo, donde su CH no afectaría al cultivo siguiente siempre y cuando se maneje correctamente la fecha de secado de los mismos.

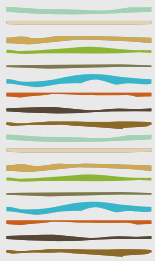
BIBLIOGRAFÍA

- Baigorria, T & C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
- De Leo, G; C Torres Carbonell; A Lauric; F Ross; J Massigoge; M Vigna; J Irastorza & M Dumrauf. 2020. Evaluación de cultivos de servicio en maíces de baja densidad en el sudoeste bonaerense semiárido. INTA – Centro Regional Buenos Aires Sur. 15 pp.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duval, ME; JE Capurro; JA Galantini & JM Andriani. 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivos de soja: Efectos sobre el balance hídrico y orgánico. Ci. Suelo 33(2) 247-261.
- Fernández, R; A Quiroga; F Arena; C Antonini & M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Quiroga, A. & A Bono (Eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. EEA INTA ANGUIL. Publicación técnica 71: 51-59.
- Fernández R, A Quiroga & E Noellemeyer. 2012. Cover crops: ¿A viable alternative for the semiarid Pampa region? Ci. Suelo 30: 137-150.
- Huang, M; M Shao; L Zhang & Y Li. 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. Soil Till. Res. 72: 95-104.
- Kruger, A. 2021. Prácticas de manejo que condicionan la eficiencia hídrica del barbecho en el sudoeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 33 pp.
- Lu, YC; KB Watkins; JR Teasdale & AA Abdul-Baki. 2000. Cover crop in sustainable food production. Food Rev. Int. 16: 121-157.



- Prieto Angueira, S; MC Berton & J Ventura. 2018. Cultivos de cobertura en Santiago del Estero: I. biomasa, evapotranspiración y eficiencia de uso del agua. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán, 15 al 18 de mayo del 2018. ISBN 978-987-46870-0-5.
- Quiroga, A; D Funaro & O Ormeño. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. En: Trigo actualización 2003, INTA Anguil, Bol. Tec. 76:33-44.
- Quiroga A, P Carfagno, MJ Eiza & R Michelena. 2007. Inclusión de cultivos de cobertura bajo agricultura de secano en la Región Semiárida Pampeana. Jornadas de Cultivos de Cobertura. 28 y 29 de septiembre de 2007, General Villegas y General Pico.
- Restovich, SB; A. Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res.* 128: 62-70.
- Ruffo, ML. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. XI Congreso de AAPRESID: 171-176.
- Sainz Rozas, HR; M Eyherabide; GE Larrea; N Martínez Cuesta; HP Angelini; NI Reussi Calvo & N Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Simposio de fertilidad. Fertilizar AC. 141-158.
- Satorre, E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Ed.). Las Ciento y Una "Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne". 37-38.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources 22 Conservation Service, Washington, DC.
- Unger, PW & MF Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *J. Soil Water Conserv.* 53: 224-229.





DETERMINACIÓN DEL CARBONO Y SUS FRACCIONES EN SISTEMAS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS EN SANTA FE, ARGENTINA

Biggeri, M.E.^{1*}, M.A. Arena Benavídez¹, J.A. Vetta¹, P.L. Fernández^{1,2}, F. Behrends Kraemer.^{1,2}

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;

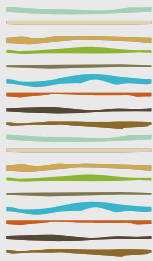
*Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, mbiggeri@agro.uba.ar

RESUMEN

Los suelos de la Pampa Ondulada se caracterizan por contener altos porcentajes de limos (70-90%). Esto los vuelve frágiles a la degradación física, desarrollando estructuras laminares y encostramientos superficiales como síntoma más visible, culminando en problemas graves de compactación. Para evitarlos, es esencial contar con un manejo adecuado como labranzas reducidas y aporte de materia orgánica, a partir de la rotación y asociación de cultivos. El carbono orgánico total (COT) se fracciona físicamente en carbono orgánico particulado (COP) y resistente (COR). La primera fracción comprende al material orgánico más joven y activo del suelo, y estaría asociada a cambios en el manejo del suelo en el corto plazo, ya que disminuye ante planteos agrícolas, especialmente simplificados, y aumenta al incorporarse pasturas en las rotaciones, entre otros manejos. La segunda fracción influye en la reactividad físico-química. Ambas son clave en los procesos de estabilización y agregación del suelo. En el sur de la provincia de Santa Fe, la producción agrícola se desarrolla principalmente siguiendo el modelo convencional (CONV), con secuencias de cultivos simplificadas (dominancia de soja) y ausencia de rotaciones. En contraposición, es cada vez más frecuente la transición hacia modelos agroecológicos (AE), con predominio de rotaciones y asociaciones de cultivos. El objetivo del presente resumen es exponer datos de COT y sus fracciones en suelos de esta zona, bajo distintos tipos de manejo. Se midió, en marzo del 2020 y 2021, el contenido de COT, COP y COR en 3 sitios de las localidades de San Genaro y Casilda, en suelos de textura limosa (0-20 cm). Se evaluaron los manejos AE (con distinta antigüedad de transición: 1=5 años; 2=9 años; 3=13 años) y CONV, y se los comparó con un tratamiento cuasi-prístino (QP). El COT se midió con la metodología de Walkley-Black (1934) y sus fracciones a partir de Cambardella y Elliot (1992). En todos los casos se encontraron diferencias ($p < 0,05$) según el tratamiento, destacándose CONV con los menores contenidos de carbono: COT=CONV:1,07(a)<AE:1,31(b)<QP:2,05(c); COP=CONV:0,24(a)<AE:0,38(b)<QP:0,70(c); COR=CONV:0,85(a)<AE:0,95(a)<QP:1,35(b). La falta de diferencias en COR entre CONV y AE puede deberse a que es una variable poco sensible a los cambios en el manejo, y que las transiciones hacia AE poseen diferentes años. El COT presentó interacción tratamiento*año, de la siguiente manera: CONV-2021:1,03(a)<CONV-2020:1,11(a)<AE-2021:1,30(b)<AE-2020:1,31(b)<QP-2021:1,91(c)<QP-2020:2,19(d). Los manejos simplificados como los de CONV presentaron el menor COT para ambos años de muestreo. Asimismo, en las 3 variables existe interacción sitio*tratamiento, y en el caso de COP y COR hubo una triple interacción con el año. Se observó en todos los casos una tendencia a la disminución de los contenidos de carbono en el segundo año de muestreo y en los planteos agrícolas, especialmente en aquellos simplificados y/o labrados. Queda en evidencia la sensibilidad de COP al manejo, y la necesidad de incorporación de rotaciones en suelos con altos porcentajes de limos.

Palabras clave: agroecología, carbono orgánico, manejo productivo





USO DEL SUELO, ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL Y STOCKS DE C EN EL CENTRO BONAERENSE

Bocchio, M.V.¹, S.A. Mestelan^{1*}, A.G. Alonso¹, M. Curto¹, N.M. Ramos¹, A. Bertolami¹, J. Gutiérrez¹, J. Marchessi¹, E.C. Requesens¹, A. Lencina^{1,2}

¹ Facultad de Agronomía NACT CRESCA UNCPBA,
Av. Rep. de Italia 780, (B7300), Prov. de Buenos Aires;

² CONICET, Godoy Cruz 2290, (C1425FQB), Capital Federal;

* silviamestelan@gmail.com

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el impacto del uso del suelo en características centrales desde el funcionamiento del mismo en la región Centro bonaerense, se lleva a cabo desde 2021 un relevamiento extensivo, del cual para esta contribución se han seleccionado 3 sitios a presentar. Los sitios A, C y K difieren en textura del horizonte superficial (de franco arcillosa a franco limosa), labranza (rotacional en los sitios A y C, y desde hace dos décadas sólo labranza cero en el sitio K), riesgo a la erosión hídrica (% de pendiente menor al 1% en el sitio A y entre el 4 y 7% en los sitios C y K), con presencia marcada de gramíneas en la secuencia de cultivos en los 3 sitios y mayor frecuencia de soja en los sitios C y K. Como controles (suelos prístinos) se tomaron suelos aledaños en cada lote muestreado, predominantemente bajo cobertura de pradera de gramíneas, y eventualmente bajo cortina forestal. Para el horizonte superficial (0-5 y 5-20 cm) se tomaron muestras no disturbadas a los fines de evaluar la densidad aparente (Dap), y la macroestructura por el método de la pala. Muestras disturbadas se obtuvieron para determinar la concentración de C orgánico total (COT) por combustión húmeda, y calcular el almacenamiento (stock) de CO con y sin corrección de masa para evitar el efecto de la compactación en el valor. Bajo uso agrícola se verificaron signos de degradación estructural, con la presencia de estructura laminar o bloques medios a gruesos en la capa 0-5 cm, en contraste con una estructura predominantemente granular bajo uso prístino. Estas observaciones correlacionan con valores más elevados de Dap, sugiriendo compactación. Los stocks de C (0-20 cm) fueron afectados negativamente en general bajo uso agrícola y se observaron diferencias por corrección de masa debido a la compactación.

Palabras clave: macroestructura, C orgánico, manejo del suelo.

INTRODUCCIÓN

En la región Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina, el estudio del cambio en el uso de suelo como consecuencia del proceso de agriculturización ha sido documentado en numerosos estudios (Vázquez *et al.*, 2013; Bocchio *et al.*, 2019). No obstante, la información disponible sobre el impacto de dichas transformaciones agroproductivas en el suelo es escasa, particularmente aquella asociada a la evaluación de la estructura del suelo. La estructura tiene un rol fundamental sobre la dinámica de los servicios ecosistémicos edáficos (Bronick & Lal, 2005; Kumar *et al.*, 2012). Los agregados del suelo protegen físicamente a la fracción orgánica influyendo sobre la actividad y diversidad de la biota, la dinámica del C y el ciclo de nutrientes. A su vez, regula la aireación, el flujo y retención de agua e incide sobre la susceptibilidad a la erosión y dispersión de químicos (Roldán *et al.*, 2014). A su vez propiedades como la textura (Six *et al.*, 2004) y el contenido de C orgánico total (COT; Mestelan *et al.*, 2010; Six *et al.*, 2004) influyen directamente sobre la agregación del suelo. Por este motivo, y debido a su sensibilidad al cambio en el uso del suelo, es utilizada como indicador de su calidad (Six *et al.*, 2004; Bronick & Lal, 2005). Las consecuencias más significativas del deterioro de esta agregación se traducen en una disminución de la estabilidad estructural y un aumento de los microagregados estables



al agua a expensas de los macroagregados (Vidal *et al.*, 1981). Paralelamente, resulta un efecto combinado de pérdida de materia orgánica, disminución de la porosidad (principalmente macroporosidad) e incremento de la densidad aparente del suelo (Dap; Meza & Geissert, 2003).

Partiendo del análisis anterior, el objetivo principal del presente trabajo es analizar el impacto del cambio en el uso del suelo sobre la agregación y almacenamiento de COT en suelos de la región centro de la provincia de Buenos Aires. Se predice que los distintos usos agrícolas del suelo tienen consecuencias negativas sobre la agregación y el potencial almacenamiento de CO del suelo (stocks de C). Asimismo, la intensidad con que son afectadas las propiedades previamente mencionadas es dependiente de las propiedades intrínsecas de cada ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de entrevistas realizadas a productores y asesores agroproductivos del Centro de la provincia de Buenos Aires se seleccionaron, teniendo en cuenta su historial de uso y aptitud edáfica, tres sitios (nomenclados como A, C y K) perteneciente el primero a la llanura de derrames en intergrado con la planicie de inundación del arroyo del Azul, y los sitios C y K a la subregión periserrana del Pedemonte y Sistema de Tandilia. De cada sitio se obtuvieron 3 muestras disturbadas compuestas del horizonte superficial en dos estratos, 0-5 y 5-20 cm para la cuantificación de COT (Walkley & Black, 1934) y textura (técnica de la pipeta de Robinson; Day, 1965). Cada muestra procedió de posiciones contrastantes del relieve (loma-media loma-bajo). Asimismo se obtuvieron, en gradiente entre estas tres posiciones muestreadas, 10 submuestras no disturbadas de los mismos estratos para la caracterización estructural empleando pala de punta, tal como describen Ball *et al.* (2007) y la Dap determinada por el método del cilindro (USDA-NRCS, 2004). Para cada posición en el relieve muestreada bajo uso agrícola se obtuvieron muestras de suelo de sitios con el menor grado de disturbio posible ("prístinos"), que se utilizaron con fines comparativos a los suelos en producción. Toda la información obtenida en las capas mencionadas fue integrada para el intervalo 0-20 cm. Los stocks de C para la profundidad mencionada fueron calculados sin y con corrección de masa, en este último caso para evitar el efecto del incremento en la concentración de C orgánico debida a compactación que se estaría dando en uso agrícola (Toledo *et al.*, 2013). Se sometieron los datos a análisis de varianza y test de comparación de medias por el test de t entre usos del suelo dentro de un sitio, y el test *Least significant difference* (LSD) entre sitios mediante el software estadístico InfoStat, versión 2010 (Di Rienzo *et al.*, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sitios bajo estudio difieren en la textura del horizonte superficial (de franco arcillosa y franco arcillo limosa a franco limosa), labranza (rotacional en los sitios A y C, con 5 y 10 años continuos bajo siembra directa (SD) respectivamente; y desde hace dos décadas sólo SD en el sitio K), y riesgo a la erosión hídrica (% de pendiente menor al 1% en el sitio A y entre el 4 y 7% en los sitios C y K). En todos los casos se registró una presencia marcada de gramíneas en la secuencia de cultivos, con escasa presencia de soja y un par de años de cultivos de cobertura (sitio A), y presencia de soja en 1 de cada 4 años en los sitios C y K. Estos últimos establecimientos presentan predominantemente suelos Argiudoles típicos, incluyendo las fases inclinadas, y el sitio A presenta suelos clasificados como Argiudoles petrocálcicos y Argiudoles ácuicos (Tabla 1).

El relevamiento realizado acerca del estado estructural del horizonte superficial utilizando el método descripto por Ball *et al.* (2007) en suelos de aptitud y uso agrícola reflejó que, en caso de 10 a 20 años continuos bajo siembra directa, se promueven estructuras de menor porosidad comparados con suelos bajo pastizal o arboleda (considerados similares a los prístinos), con predominancia de bloques gruesos por sobre la estructura de tipo granular y aparición de láminas gruesas y muy gruesas (Tabla 1). En concordancia a lo observado con la macroestructura, la mayor compactación con degradación estructural asoció con valores más elevados de Dap los que se verificaron cuando los suelos estuvieron sometidos a uso agrícola con más años bajo siembra directa (hasta un 30% de incremento respecto respecto del suelo prístino, sitio K, Tabla 1). La compactación fue atemperada en el sitio A, que tuvo menor presencia de soja en la rotación y que contó a través de los años con labranza rotacional en el sector evaluado. La compactación en agricultura continua bajo siembra directa ha sido documentada tanto en suelos de la región (Mestelan *et al.*, 2010) como en suelos de otras zonas templadas (Botta *et al.*, 2010; Mestelan *et al.*, 2021), y en general, el suelo prístino, por ma-



yores contenidos de COT, presentó menores valores de Dap, tal lo observado por Blanco Canqui & Lal (2008). Como se observa en la Tabla 1, existe un fuerte efecto de la posición en el paisaje en la capacidad de retener C como COT, tal como se evidencia para los sitios K y C, siendo este efecto atemperado en la Chacra Experimental de la Facultad (sitio A) dadas las menores pendientes. A su vez, la concentración de COT es mayor en los suelos prístinos que sus correspondientes con uso agrícola, situación que se traslada a los stocks (Tabla 1). Suele adscribirse esta mayor capacidad de acumulación de C a la menor oxidación del mismo por los menores disturbios a los que se encuentran sometidos, coincidiendo con lo observado por Blanco Canqui & Lal (2008) y Mestelan et al. (2021). Sólo para el sitio K es necesaria la corrección del stock de C por masa, dada la compactación de la capa 0-20 cm bajo uso agrícola. En el sitio K se observó en los 0-5 cm, que los suelos prístinos presentan una concentración mayor de CO (10-15 % superior, datos no mostrados) respecto de los suelos cultivados tanto en posición de bajo como de media loma, mientras que por el contrario, en la loma es 10 % mayor (datos no mostrados) en uso agrícola, lo cual señala posiblemente una elección no adecuada del referente prístino en esta posición (suelo debajo de alambrado al borde de corral de encierro). A los 5-20 cm se observa un mayor stock de C en el bajo y principalmente en la loma para suelos laboreados, mientras que en la media loma se observó el comportamiento inverso (datos no mostrados, sitios A y K). El sitio C se comportó de manera diferencial, en el sentido de que acumula más la loma que el bajo, tanto para suelo bajo uso agrícola como prístino, presentando los máximos valores de acumulación de todos los sitios considerados en esta contribución (Tabla 1).

CONCLUSIONES

El uso del suelo agrícola en el Centro de la provincia de Buenos Aires ha generado deterioro estructural evidenciado en alteraciones de la macroestructura y el incremento de la densidad aparente, y ha provocado una disminución del contenido de C orgánico total y de la capacidad de almacenar C del suelo en relación a los correspondientes suelos prístinos. Queda verificar el verdadero efecto sobre la dinámica del agua de esta alteración estructural. Los ensayos de infiltración de campo son una posibilidad en este sentido, y el análisis de microestructura puede eventualmente corroborar las observaciones sobre la macroestructura.

Tabla 1: Descripción de los sitios y manejos del suelo, y su efecto en la densidad aparente, los stocks de C, uso del suelo y la macroestructura (0-20 cm) en tres sitios seleccionados del Centro bonaerense.

Sitio	Labranzas	Posición en el paisaje	Uso del suelo	Dap (g cm ⁻³)	COT (g kg ⁻¹)	Stock de C* (kg C m ⁻²)	Stock de C# (kg C en 2500 ton)	Li+Arc (%)	Macro-estructura
A	LR 10 años bajo LC 5 años bajo SD	Loma tendida (Posición baja)	Ag	1.2±0.0 ^a	24.1±8.9 ^b	5.8±2.2 ^b	6.0 ^b	84.4±17.0	Ag 0-5 cm: BI2,3 + Gr 2,3 Ag 5-20 cm: Gr 2,3 / BI 2,3
			P	1.1±0.2 ^b	32.4±9.5 ^a	7.1±2.5 ^b	8.0 ^a	89.4±1.7	
		Loma tendida (Posición int.)	Ag	1.2±0.0 ^a	20.7±7.4 ^b	4.9±1.8 ^b	5.2 ^b	92.9±4.7	P 0-5 cm: Gr (1) 2,3/BI 1,2 P: BI 2,3 (4)/ Gr 2,3
			P	0.9±0.1 ^b	33.5±10.6 ^a	6.5±2.3 ^b	8.3 ^a	85.9±6.2	
		Loma tendida (Posición cuspidal)	Ag	1.2±0.0 ^a	23.3±8.4 ^b	5.7±2.0 ^b	5.8 ^b	93.1±5.3	
			P	1.1±0.1 ^b	32.9±6.9 ^a	7.3±2.0 ^b	8.1 ^a	81.1±19.2	
C	LR 10 últimos años bajo SD	Bajo	Ag	1.3±0.2 ^a	28.4±8.6 ^b	6.9±2.5 ^a	7.0 ^b	91.0±8.3	Ag 0-5 cm: Lam 3 /BI 2,3/Gr 1,2,3 Ag 5-20 cm: BI 2,3/Gr 1,2,3
			P	1.0±0.1 ^b	37.4±11.3 ^a	8.4±2.8 ^a	9.3 ^a	98.1±1.0	
		Media loma	Ag	1.3±0.0 ^a	25.5±4.8 ^b	6.4±1.2 ^a	6.4 ^b	70.9±3.7	P 0-5 cm: Gr 2,3/BI 2,3 P 5-20 cm: BI 1,2,3/Gr 1,2,3
			P	1.1±0.0 ^b	51.4±21.2 ^a	11.2±4.4 ^a	12.8 ^b	73.1±3.2	
		Loma	Ag	1.3±0.1 ^a	29.7±10.2 ^b	7.6±2.8 ^a	7.4 ^b	83.3±18.5	
			P	1.1±0.1 ^b	42.3±17.0 ^a	8.9±3.7 ^a	10.6 ^b	84.7±19.8	
K	20 años de AA bajo SD	Bajo	Ag	1.4±0.0 ^a	28.9±9.9 ^b	8.2±2.9 ^b	7.2 ^b	85.4±1.3	Ag 0-5 cm: Lam 3 /BI 2,3/Gr 2,3 Ag 5-20 cm: BI 2,3/Gr 1,2,3
			P	1.1±0.1 ^b	38.1±10.2 ^a	8.05±2.4 ^b	9.5 ^a	86.7±5.6	
		Media loma	Ag	1.4±0.0 ^a	12.9±2.1 ^b	3.6±0.8 ^b	3.2 ^b	78.0±4.3	P 0-5 cm: Gr 1,2,3/BI 2,3 P 5-20 cm: BI 1,2,3/Gr 1,2,3
			P	1.0±0.2 ^b	28.5±6.4 ^a	5.4±1.7 ^b	6.9 ^a	90.9±5.8	
		Loma	Ag	1.3±0.1 ^a	25.3±11.9 ^b	6.7±3.3 ^b	6.4 ^b	83.1±1.7	
			P	1.1±0.0 ^b	15.1±4.6 ^a	3.4±1.1 ^b	3.8 ^a	86.4±0.2	

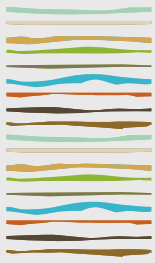


LR: Labranza rotacional; AA: años de agricultura; LC: Labranza convencional; SD: siembra directa; Posición int.: posición intermedia; Ag: Uso agrícola; P: Prístino; Dap: densidad aparente por el método del cilindro; COT: C orgánico total, Walkley y Black, método semimicro; *: se consideraron los contenidos de C y la densidad aparente de la capa 0-20 cm; #: dato de C orgánico contenido en 2500 toneladas de horizonte superficial, de modo de evitar el efecto de la compactación en la concentración de C; Li+Arc: % de limo + arcilla, según el método de la pipeta de Robinson; Gr 1, 2 y 3: granular fina, media y gruesa, respectivamente; Bl 1,2,3: bloques finos, medios o gruesos, respectivamente; Lam 3: laminar gruesa. Letras minúsculas (test de t entre usos del suelo) o mayúsculas (test LSD entre sitios para stocks de C) iguales indican que las diferencias no son significativas ($P > 0,05$) entre uso del suelo o sitios respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Ball, BC; T Batey & LJ Munkholm. 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerkamp test. *Soil Use and Manag.* 23: 329-337.
- Blanco Canqui, H & R Lal. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:693–701. doi:10.2136/sssaj2007.0233
- Bocchio, MV; E Requesens & S Mestelan. 2019. Tendencias y equitatividad de los principales cultivos extensivos en el centro de la provincia de Buenos Aires. *RIA.* 45 (2): 196-203.
- Bronick, CJ & R Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Botta, GF; A Tolón -Becerra; X Lastra-Bravo & M Tourn. 2010. Tillage and traffic effects (planters and traffic) on soil compaction and soybean yield. *Soil & Till Res* 110: 167-174.
- Day, PR. 1965. Particle Fraction and Particle- Size analysis. En: Black (Ed.) *Methods of Soil Analysis Agronomy* 9, (1). 545-567.
- Di Rienzo, JA; M. Balzarini; F Casanoves; L González; M Tablada & CW Robledo. 1995. Software estadístico InfoStat Estadística Aplicada. Versión 2010. Ed. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Kumar, S; A Kadono; R Lal & W Dick. 2012. Long-Term No-Till Impacts on Organic Carbon and Properties of Two Contrasting Soils and Corn Yields in Ohio. *Soil Sci Soc Am J.* 76:1798–1809 doi:10.2136/sssaj2012.0055.
- Mestelan, S; JC Ramaglio; H De Dominicis; O Sánchez; D Cogliatti & R Silvestro. 2010. Evolución de propiedades físicas en sistemas ganaderos integrados a agricultura continua bajo siembra directa. *Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Rosario, 31 de mayo al 4 de junio.
- Mestelan, S., Smeck, N., Sprunger, C., Dyck, A. and Dick, W. 2021. Four decades of continuously applied tillage or no-tillage on soil properties and morphology. *Agrosystems, Geosciences and Environment* DOI: 10.1002/agg2.20195. 17pp.
- Meza, E & D Geissert. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivos de origen volcánico del Cofre De Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 5(2).
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Toledo, D.M.; Galantini, J. Dalurzo, H. 2013. Methods for assessing the effects of land use changes on carbon stocks of subtropical oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77 (5): 1542-1552.
- USDA-NRCS. 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report number 42. Version 4.0. USDA (United States Department of Agriculture)- NRCS (Natural Resources Conservation Service) – National Soil Survey Center.
- Vázquez, P & L Zulaica. 2013. Intensificación agrícola y pérdida de servicios ambientales en el partido de Azul (provincia de Buenos Aires, Argentina) entre 2002- 2010. *Revista Sociedade & Natureza* 25(3):543-556.
- Vidal, I; B Fernández & N Duarte. 1981. Influencia de cuatro métodos de labranza sobre la velocidad de infiltración y estabilidad de los agregados del suelo. *Agricultura Técnica* 41(2):83-88.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.





ÍNDICE DE QUALIDADE FÍSICA E FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS CULTIVADOS COM SOJA

Bocuti, D.E.^{1*}, Amorim, R. S. S.², DI Raimo, L. A. DI L.¹, Weber, O. L. S.¹, Azevedo, E. C.¹, Jardini, D. C.¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Cuiabá-MT;

²Universidade Federal de Viçosa –UFV, Minas Gerais – MG;

* Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367. Boa Esperança. Cuiabá-MT, Brasil (CEP 78060-900), edwaldobocuti@secitec.mt.gov.br

²Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa, MG, Brasil

RESUMO

Em regiões cultivadas com soja se observa a importância de quantificar diferentes atributos do solo que estão relacionados com a sustentabilidade da produção agrícola e traduzi-los na forma de indicadores e em índices de qualidade. Desse modo, propôs-se com este trabalho estabelecer indicadores para geração de índices de qualidade física de solos cultivados com soja, destacando os mais importantes. O estudo foi conduzido em 21 áreas agrícolas produtoras de soja, localizada no estado de Mato Grosso, Brasil, em sistema cultivo mínimo. Para cada área foram coletadas 36 amostras indeformadas de solo, 12 semipreservadas e mais 27 kg de solo deformado. As amostras foram utilizadas para a determinação de atributos físicos e físico-hídricos do solo. O índice de qualidade física e físico-hídrico do solo (IQFS) foi gerado em quatro etapas, a saber: seleção dos indicadores de qualidade física do solo; exclusão das variáveis redundantes e criação do conjunto mínimo de dados; aquisição de pontuação linear; determinação e classificação do IQFS. Os dados foram submetidos a análise de componentes principais dos atributos, teste de Kruskal Wallis, regressão linear e teste de Anova. Foi verificado que a textura do solo foi o mais importante na diferenciação das áreas de estudo. Os valores IQFS das áreas variaram de 1,73 a 2,48. Solos do agrupamento textural arenosa obtiveram IQFS menor que 2,06, o que permitiu inferir que a qualidade física e físico-hídrica exibiram maiores limitações que a dos solos com maior teor de argila. Solos de média e alta qualidade física e físico-hídrica apresentaram a macroporosidade como o atributo mais limitante para composição do IQFS. O condicionamento dos solos visando a melhoria do seu índice de qualidade física e físico-hídrica IQFS é dependente de atributos como: macroporosidade, condutividade hidráulica, densidade relativa, resistência do solo a penetração, agregados e curva de retenção de água.

Palabras clave: atributos do solo, condições do solo, produtividade da soja.

INTRODUÇÃO

Para a análise da sustentabilidade da produção agrícola é importância quantificar os atributos de solos, a fim de expressá-los na forma de indicadores e índices de qualidade. Uma vez que, a maioria dos conceitos sobre a qualidade do solo se baseiam na capacidade dele funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o meio ambiente externo a esse ecossistema (Araújo, 2012). Além disso, a única forma de verificar se tem ocorrido a gestão adequada da terra é avaliar de forma contínua a qualidade dos solos utilizados para produção agrícola, evitando assim a degradação acelerada desse recurso natural.

Cabe salientar que, atualmente, há um esforço multidisciplinar tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade da produção agrícola, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo (Freitas et al., 2012). Na literatura, atributos do solo como: textura, porosidade, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, teor de água, avaliação de agregados e carbono orgânico total,



são frequentemente utilizados como indicadores de qualidade do solo e para geração de índices de qualidade (Freitas et al, 2012; Vasu et al, 2016; Yu et al, 2018). Portanto, torna-se relevante o desenvolvimento de pesquisas que envolvam a avaliação das condições físicas e físico-hídricas de áreas cultivadas com soja, considerando a realidade de uso e manejo do solo, para que a partir daí seja possível a tomada de decisões que visem melhoria na gestão desse recurso natural. Diante disso, este estudo pretende avaliar indicadores e índice de qualidade física e físico-hídrica de solos cultivados com soja, destacando os mais limitantes e/ou importantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo e coleta de amostras de solo

O estudo foi realizado em 21 fazendas produtoras de soja localizadas no estado de Mato Grosso – Brasil, que adotam o cultivo mínimo como sistema de produção. Para a coleta de solo, em cada fazenda, foi selecionada uma área com dimensões 300 x 200 m, que posteriormente foi subdividida em três subáreas com dimensões 100 x 200 m. Na região central de cada subárea foi limitada uma área útil de 3 x 2 m, onde foram coletadas amostras de solo na camada 0 a 0.20 m. Em cada área foram coletadas 36 amostras indeformadas de solo, 12 semipreservadas e mais 27 kg de solo deformado. As amostras foram utilizadas para a determinação de atributos físicos e físico-hídricos do solo. Em cada fazenda foi adquirida informação sobre área de estudo, quanto ao histórico do manejo do solo, sobre a produtividade de soja na safra 2016/2017 e do material genético utilizado. Essas informações permitiram o cálculo do rendimento relativo da soja.

Análises Laboratoriais

Foram determinados os seguintes atributos físicos do solo: fracionamento da areia, que foi realizado por tamisação via seca e segundo a escala do Soil Survey Staff – USA, (2017); análise granulométrica, argila dispersa em água e grau de floculação, utilizando o método da pipeta; análise de carbono orgânico, pelo método de Walkley Black; densidade do solo (D_s), através do método do cilindro volumétrico, como descrito no manual de métodos de análise de solos (Teixeira et al., 2017). Densidade máxima do solo (D_{max}), determinada por meio do ensaio de Proctor Normal, energia de compactação indicada para o uso de cilindro e soquete pequenos, de acordo com o padrão normatizado na NBR 7182, (1986). Análise de agregados do solo, realizada via tamisamento úmido, utilizando as equações propostas por Bavel, (1949) Castro Filho et al., (1998) e Schaller e Stockinger, (1953). Análise de micromorfométrica de agregados, conforme proposto por Cremon et al., (2011). Para determinação da resistência do solo à penetração foi utilizado penetrógrafo eletrônico automático de bancada, desenvolvido por Bianchini et al., (2013).

Os atributos físico-hídricos do solo determinados foram: condutividade hidráulica do solo (K_0), pelo permeâmetro de carga constante; porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo, submetidas a mesa de tensão, como proposto por Teixeira et al. (2017). Curva de retenção de água no solo (CRAS), através da mesa de tensão, câmara de pressão de Richards e psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter), de acordo com proposto por Klein; Reinert e Reichert (2006). Índice S, obtido por meio da equação proposta por Dexter (2004) e parâmetros do modelo de Van Genuchten, (1980).

Índice de qualidade física do solo

O índice de qualidade física do solo (IQFS) foi gerado em quatro etapas. Na primeira ocorreu a seleção dos indicadores de qualidade física do solo, por meio de análise de componentes principais (CP), de acordo com recomendado por Brejeda et al., (2000) e Kaiser (1960). Em cada CP foram selecionados apenas os indicadores que receberam valores de carga $\geq 0,40$.

A segunda consistiu na exclusão das variáveis redundantes e criação do conjunto mínimo de dados, como proposto por Andrews et al., (2001). Na terceira etapa ocorreu a aquisição de pontuação linear, de acordo com o proposto por Andrews, Karlen e Mitchell, (2002) e Sharma et al., (2008). Os valores dos atributos do solo foram transferidos para pontuações, como propostas por Masto et al., (2008).

Tratamento Estatístico dos dados

Para obtenção do índice de qualidade física do solo (IQFS) foi realizada análise de componentes principais dos atributos. Pelo teste de Kruskal Wallis foi verificado se houve diferença entre a intensidade de contribui-



ção dos atributos do solo na geração dos índices de qualidade. Os valores de IQFS e de rendimento relativa da soja foram submetidos à regressão linear, tendo IQFS como variável independente. Para avaliação do modelo de regressão linear foi realizado teste de anova.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise multivariada, oito componentes principais (CP) foram obtidos com autovalores acima de 1, que explicaram 85,05% da variância global dos dados (Tabela 1). Os atributos físicos e físico-hídricos do solo evidenciados como altamente significativas ($r \geq 0.50$) foram: carbono orgânico, resistência a penetração, condutividade hidráulica saturada, estrutura, densidade, porosidade e curva de retenção de água no solo. Considerando o caráter individual dos atributos físicos e físico-hídricos dos solos e os seus escores, foi verificado que a textura do solo foi o mais importante na diferenciação das áreas de estudo.

Estão dispostos na figura 1, os índices médios de qualidade física e físico-hídrica do solo (IQFSm), que foram compostos por frações granulométricas, macroporosidade, curva de retenção de água (CRAS), condutividade hidráulica (k_0), agregados, resistência a penetração e densidade relativa (RSP + DR). Pelo teste de Kruskal Wallis ($p \leq 0,05$), houve diferença entre a intensidade de contribuição dos atributos do solo na geração dos índices de qualidade, sendo que as frações granulométricas, curva de retenção de água (CRAS) e agregados, tiveram maior participação quando comparado aos atributos macroporosidade e condutividade hidráulica saturada. Esses atributos também foram destacados por Bocuti et al. (2021) e Centeno et al. (2017) sobre o estudo o solo, que o teor de areia e argila estão entre os principais atributos indicadores de qualidade e produtividade, visto que influenciam na formação dos agregados do solo e na dinâmica da água. Já que, a intensidade de contribuição da resistência do solo a penetração e densidade relativa do solo não diferenciaram dos outros atributos do solo na geração do índice.

O coeficiente linear do modelo assumiu o valor de -0.308 e o angular 0.4588 (Figura 2), ambos significativos. Pela Anova foi verificado valor $p < 0.05$, por isso se pode afirmar que o modelo matemático utilizando IQFS como preditor da variação do rendimento relativo da soja foi melhor que simplesmente utilizar a média da produtividade. Nesse sentido, os valores de IQFS mantiveram coerentes com rendimento relativo da soja das áreas de estudo, evidenciando que a condição física e físico-hídrica do solo deve ser considerada nas estratégias que visam o incremento da produtividade das culturas. Haja vista que, segundo Araújo et al., (2012), o suporte ao crescimento radicular das plantas está em função das propriedades físicas do solo e processos que envolvem armazenamento e suprimento de água e nutrientes a cultura.

Tabela 1. Análise de componentes principais das variáveis físicas e físico-hídricas de solos cultivados com soja.

Componentes da variância	Componentes Principais							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Autovalores	11,67	4,70	2,97	2,36	2,23	1,72	1,26	1,16
% da variância	35,36	14,23	8,99	7,14	6,67	5,22	3,84	3,51
% da variância acumulada	35,36	49,59	58,57	65,71	72,48	77,70	81,54	85,05
Variáveis	Correlações com os componentes principais							
Areia ¹	-0,94*	0,19	-0,09	0,08	0,06	0,07	0,13	0,03
argila	0,94*	-0,02	0,06	-0,07	0,03	-0,20	-0,11	-0,05
AMG + AG ¹	0,35**	0,04	-0,08	-0,29	0,42**	-0,45**	-0,02	0,19
Areia média ¹	-0,44**	0,28	-0,39**	-0,05	0,19	-0,31**	0,23	0,20
Areia fina e areia muito fina	-0,82*	0,02	0,12	0,19	-0,15	0,34**	0,02	-0,13
Argila dispersa em água	0,71*	0,11	0,05	-0,23	0,13	-0,04	-0,29	-0,05
Diâmetro médio ponderado	0,63*	0,09	0,23	-0,31**	0,25	0,28	0,44**	0,04
Diâmetro médio geométrico ¹	0,68*	0,11	0,16	-0,31**	0,27	0,24	0,45**	0,05
IEA ²	0,82*	0,07	0,14	-0,22	0,18	0,10	0,13	-0,02
Carbono orgânico	0,78*	0,00	0,20	-0,04	-0,01	0,16	0,01	-0,22



Densidade máxima	-0,86*	0,01	-0,06	-0,07	-0,12	-0,04	0,15	0,13
Densidade relativa"	0,19	-0,38**	-0,53*	0,04	0,31	0,45**	0,09	0,05
Microporosidade	0,77*	-0,13	0,11	0,26	0,05	-0,18	-0,31	-0,16
Macroporosidade"	-0,18	0,59*	0,38**	-0,32**	-0,36**	0,07	0,04	0,01
Resistencia do solo a penetração"	0,43**	-0,42**	-0,54*	0,15	0,12	0,27	0,17	-0,07
Condutividade hidráulica do solo"	-0,28	0,55*	0,47**	-0,19	-0,02	-0,17	-0,04	0,16
Umidade residual"	0,31**	0,28	0,26	0,42**	-0,34**	0,24	0,28	0,46**
Umidade de saturação"	0,63*	0,43**	0,44**	-0,04	-0,26	0,05	-0,13	-0,07
Parâmetro α "	0,21	0,43**	-0,01	-0,12	0,24	-0,57*	0,36**	-0,06
Parâmetro n "	-0,19	-0,24	-0,14	0,44**	0,02	-0,30**	-0,02	0,53*
Potencial 10,13	0,82*	-0,10	0,14	0,39**	-0,18	0,02	-0,04	0,24
Potencial 33,43	0,91*	-0,14	0,03	0,25	-0,15	-0,06	-0,01	0,14
Potencial 60,79"	0,93*	-0,13	0,01	0,21	-0,15	-0,06	0,01	0,12
Potencial 1500	0,93*	-0,03	0,06	0,13	-0,15	0,07	0,11	0,11
Índice s "	-0,60*	0,40**	0,41**	0,03	-0,12	0,23	0,00	0,10
Área < 32	0,41**	0,61*	-0,52*	-0,18	-0,23	0,02	-0,03	0,09
Área \geq 32"	-0,41**	-0,61*	0,52*	0,18	0,23	-0,02	0,03	-0,09
Perímetro < 2,4	0,22	0,69*	-0,56*	0,01	-0,25	0,09	-0,08	-0,11
Perímetro \geq 2,4"	-0,24	-0,67	0,58*	-0,03	0,25	-0,08	0,07	0,05
Aspecto < 0,87"	0,04	-0,54*	-0,07	-0,11	-0,66*	-0,29	0,32**	-0,21
Aspecto \geq 0,87	-0,04	0,54*	0,07	0,11	0,66*	0,29	-0,32**	0,21
Rugosidade < 0,69	-0,03	-0,54*	-0,07	-0,69*	-0,23	0,12	-0,20	0,32**
Rugosidade \geq 0,69"	0,03	0,54*	0,07	0,69*	0,23	-0,12	0,20	-0,32**

Critério de classificação das variáveis utilizadas na geração do IQFS (Coelho, 2003): ** escores 0,30–0,40 mediamente significativo e * escores \geq 0,50 altamente significativo;"; 1. Soma de areia muito grossa e areia grossa; 2. Índice de estabilidade de agregados.



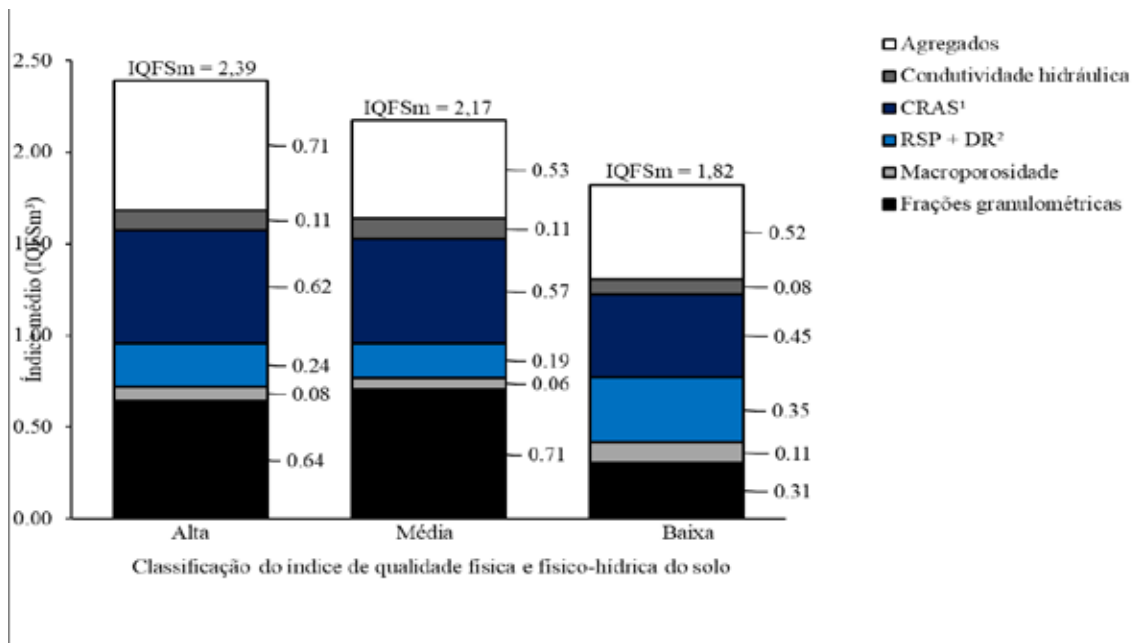


Figura 1. Índice médio da qualidade física e físico-hídrica do solo em função da alta, média ou baixa qualidade das áreas agrícolas
 1. Atributos ligados a curva de retenção de água no solo; 2. Resistência do solo a penetração e Densidade relativa; 3. Índice médio de qualidade física e físico-hídrica do solo

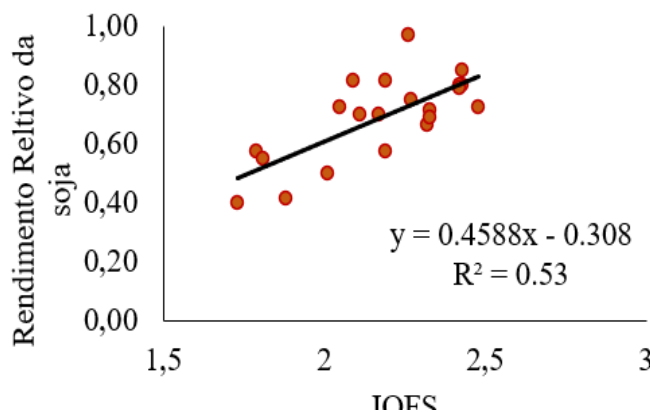


Figura 2. Modelo matemático o rendimento relativo de soja em função do índice de qualidade física dos solos.

CONCLUSÃO

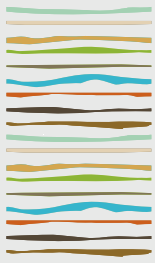
Os solos de baixa, média e alta qualidade física e físico-hídrica tiveram como atributo mais limitante a macroporosidade, seja pela elevada drenagem ou baixa aeração. Os solos com maiores índices de qualidade tiveram às características inerentes aos agregados mais adequadas, o que evidencia a importância dos agregados na conservação dos solos e no incremento da produtividade da soja. A qualidade física e físico-hídrica de solos cultivados com soja do grupamento textural arenosa é predominante baixa. Os solos de textura média podem ter alta, média ou baixa qualidade física e físico-hídrica. Enquanto os solos do grupamento textural argilosa cultivados com soja são, predominantemente, classificados como de alta ou média qualidade física e físico-hídrica.



BIBLIOGRAFÍA

- ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 90, n. 1, p. 25–45, 2002.
- ANDREWS, S.S., CARROLL, C.R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agro-ecosystem management. *Ecol. Appl.* V. 11, p. 1573–1585. 2001.
- ARAÚJO E.A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de tecnologia aplicada nas ciências agrária*, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- BAVEL, C. J. M. V. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* v. 14: 20-23, -1949.
- Bianchini, Aloísio, Roque, Márcio W. and Rosa, Rodrigo P. Development of an automated bench top electronic penetrometer. *Engenharia Agrícola*. 2013, v. 33, n. 6 p. 1191-1199.
- BOCUTI, E. D., AMORIM, R. S. S., DI RAIMO, L. A. DI L., KAVASAKI, K. F. L., PRADO, M. R. V., SANTOS, C. L. R., DI RAIMO, L. A. DI L. (2020). Soil structure and its relationship with soybean yield. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.25, n.3, p.168-173, 2021.
- BREJEDA, J.J. et al. Identification of regional soil quality factors and indicators. I. Central and southern high plains. *Soil Science Society of America Journal*. v. 64, n. 6, p. 2115–2124, 2000.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.527-538, 1998.
- CREMON, C. SACCO, D.; GRIGNANI, C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; MAPELI, N. C. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, p.370-377, 2011.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 20:201-214, 2004.
- FREITAS, D. A. F. et al. Soil quality indexes under different forestry and adjacent native scrubland use and management systems. *Rev Ciênc Agron*, v. 43, p. 417–428, 2012.
- KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor active soil organic matter pools. *Soil Science Society of America Journal*. v. 58, p. 1130–1139, 1960.
- KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. *Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 10, p. 646-650, 2006.
- SCHALLER, F. W.; STOCKINGER, K. R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 17, p. 310-313, 1953.
- SHARMA, K. L. et al. Evaluation of long-term soil management practices using key indicators and soil quality indices in a semi-arid tropical alfisol. *Australian Journal of Soil Research*. v. 46, n. 4, p. 368–377, 2008.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey manual: Soil conservation service. Handbook 18.
- TEIXEIRA, P. C et al. Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-897, 1980.
- VASU, D. et al.. Soil quality index as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau. *India Geoderma* 282, 70–79. 2016





PROPIEDADES Y PROCESOS PEDOGENÉTICOS EN HUMEDALES COSTEROS DEL NORESTE BONAERENSE

Boff, L.D.^{1,2,*}, P. Ontivero^{1,2}, E. Sosa Fabre³, J. Salduondo^{1,3}

¹ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata;

² Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena-Instituto de Geomorfología y Suelos; calle 1, nro. 644, (1900) La Plata, Prov. de Buenos Aires, lauraboff@fcnym.unlp.edu.ar

³ Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC). Cno. Centenario y 506 s/n, (1894) M.B. Gonnet, pcia. de Buenos Aires.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo generar conocimiento pedogenético como herramienta para la identificación de humedales, tomando como caso de estudio los suelos de humedales costeros del sector noreste de la provincia de Buenos Aires. Se seleccionaron seis sitios dentro de la planicie costera en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui, tres en la llanura aluvional, clasificados como Fluvacuente y tres en la llanura de fango, clasificados como Epiacuente y Natracuente. Se realizaron descripciones morfológicas de suelos, análisis físicos, químicos y mineralógicos. Todos los suelos estudiados presentaron hidromorfismo durante el período de crecimiento y regeneración vegetal, con predominio de vegetación hidrófita. Se identificaron condiciones de episaturación por anegamiento después de lluvias intensas o por inundación debido a crecientes del Río de la Plata, y endosaturación evidenciada por gleización. La melanización y acumulación de materia orgánica resultaron procesos relevantes en el desarrollo de los suelos, contribuyendo a la retención de altos contenidos de carbono orgánico. A su vez, en la llanura de fango se manifestaron los procesos de vertisolización, sodificación, salinización y argiluviación. Estos procesos pedogenéticos identificados resultan de vital importancia para el desarrollo de las funciones ecosistémicas de los humedales, fundamentales en el contexto actual de cambio climático.

Palabras clave: suelos, procesos pedogenéticos, humedales

INTRODUCCIÓN

Los ambientes de humedales presentan gran diversidad geográfica, climática, biológica y genética, y a su vez comparten características básicas que los identifican. En el presente trabajo se considera la definición de humedal planteada para el Inventario Nacional y Provincial de Humedales, que los considera ambientes en los cuales la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos. Rasgos distintivos son la presencia de biota adaptada a estas condiciones, comúnmente plantas hidrófitas, y/o suelos hídricos o sustratos con rasgos de hidromorfismo. Los humedales son sistemas naturales complejos, por lo tanto es fundamental poder comprender el funcionamiento de cada una de las variables que los definen; a su vez cada una de estas variables son en sí mismas sistemas naturales complejos, abiertos y dinámicos, como el caso de los suelos. Comprender la dinámica pedogenética implica abordar las principales variables que definen los humedales, vinculando los procesos pedogenéticos con las funciones ecosistémicas fundamentales y claves en el contexto actual de cambio climático. En este trabajo se realizó la identificación, descripción, caracterización y clasificación de suelos de humedales costeros del sector noreste de la provincia de Buenos Aires. El objetivo es generar conocimiento pedogenético como herramienta para la identificación de humedales y aporte para el avance necesario tanto de la ley de humedales, el Inventario Provincial de Humedales y la implementación de políticas públicas de carácter ambiental.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron seis sitios dentro de la planicie costera en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui, según criterios hidrogeomorfológicos. Se realizaron descripciones morfológicas de suelos (Soil Survey Staff, 2017), análisis físicos, químicos (Soil Survey Staff, 2014a) y mineralógicos (Moore and Reynolds, 1989) que permitieron la caracterización de los materiales, y la definición de propiedades y procesos pedogenéticos. Finalmente se clasificaron los suelos según el sistema Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2014b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos analizados en el presente trabajo se desarrollan en la unidad geomorfológica denominada planicie costera (Fidalgo y Martínez 1983, Cavallotto 2002, Fucks et al. 2017). Los perfiles se sitúan en dos subunidades geomorfológicas, la primera denominada llanura aluvional (LLA), formada por depósitos de playa originados por la selección de material aluvial transportados por el Río de La Plata e influenciada por su dinámica actual. La segunda, llanura de fango (LLF), formada durante el proceso relacionado con el ciclo regresivo del mar holoceno. En ambas subunidades se describieron una amplia diversidad de suelos desarrollados en condiciones de drenaje deficiente (Camilión et. al. 1998, 2005; Boff et. al. 2000; Imbellone y Mormeño, 2011), condición clave para la identificación de humedales. El Inventario de humedales de la Provincia de Buenos Aires Nivel II, categoriza esta zona como "Sistemas de paisajes costeros fluviales del Río de La Plata" (Molvany et al., 2019). Según la clasificación de Pereyra 2022, estos humedales pertenecen al tipo A Litorales marinos (relicto) y tipo C Mixtos (subtipo C1 humedales de planicies estuáricas). Se ubicaron en el área seis perfiles de suelo, tres en la llanura aluvional (P1, P2 y P3) y tres en la llanura de fango (P4, P5 y P6) en los partidos de Berisso, Ensenada y Berazategui respectivamente (Fig. 1).



Figura 1. Mapa de ubicación de los suelos analizados en la planicie costera (llanuras aluvionales y llanuras de fango) de los partidos de Berazategui, Berisso y Ensenada. LLA Berisso (LLABsso) P1, LLA Ensenada (LLAE) P2, LLA Berazategui (LLAB) P3, LLF Berisso (LLFBsso) P4, LLF Ensenada (LLFE) P5, LLF Berazategui (LLFB) P6.

A- Llanura aluvional

Los suelos de esta unidad, formados a partir de materiales depositados por sucesivos desbordes del Río de la Plata, fueron clasificados como Fluvacuentes. Exhiben un desarrollo relativamente bajo y presentan variaciones texturales en profundidad, de arenosas a muy arcillosas, que definen discontinuidades en el perfil, y además variaciones laterales evidenciadas por horizontes de poco espesor, en algunos casos lenticulares, que pierden continuidad espacial a corta distancia. No se observan rasgos vérticos y los ensayos de expansión libre evidencian porcentajes de expansión mínimos de 15 y máximos de 70.

Otro rasgo característico es la distribución irregular de la materia orgánica en profundidad, con valores que oscilan entre 14.7% a menos del 1%, y la formación de horizontes orgánicos con material poco descompuesto (Oi) 72% de materia orgánica en el P1 y la particularidad en el P3 de un horizonte orgánico enterrado con un tenor de 32,82 % de materia orgánica, evidenciando la rápida dinámica aluvional. La gran acumulación de



materia orgánica en estos suelos se debe a las condiciones de saturación del suelo, que genera condiciones anóxicas e impide la actividad microbiana responsable de la descomposición de los restos orgánicos, y por otro lado al abundante aporte orgánico que supera la tasa de descomposición en este ambiente de selva en galería. En los horizontes A se evidencia el proceso de melanización, con coloración oscura y valores de luminosidad menores a 4. Son de escasa potencia (menores a 6 cm), con estructura migajosa a granular tanto en el P1 como en el P3, mientras que en el P2 no se presenta horizonte eluvial, desarrollándose sobre los horizontes C, pobres en carbono orgánico, un horizonte de acumulación (Oi). En los horizontes C se observan estructuras masivas o laminares, ambas condiciones que favorecen la lenta permeabilidad. La reacción del suelo (pH) oscila entre ácidos a neutros, no superando el pH 6 y destacándose la acidez del P3 con valores que llegan a 4,43. Los valores de conductividad eléctrica no superan en ningún caso los 4 dS/m por lo tanto son considerados no salinos. La capacidad de intercambio catiónico oscila entre valores bajos de 11 cmolc/Kg en horizontes con predominio de la fracción arena, a medios a altos de 30 y 36 cmolc/Kg en horizontes con alto contenido orgánico o altos porcentajes de arcilla respectivamente. Se destaca el horizonte 30ib del P3 donde la CIC alcanza valores de 70 cmolc/Kg. Con respecto a la saturación en bases, es alta en todos los perfiles.

Los horizontes más profundos presentan colores glei (matices 2,5 Y), observándose permanentemente saturados y reducidos por agua freática cuyo nivel se encontró a los 55-60 cm de profundidad. Este proceso de gleización se evidenció en los tres perfiles. En los horizontes suprayacentes, la presencia de rasgos redoximórficos como moteados de hierro (5YR 5/8 en seco 5YR 4/6 en húmedo), concreciones de Fe (7,5Y 5/6 en húmedo) y Mn (N 1.5/0 en húmedo) indican saturación y estado reducido intermitente, con condiciones de oxidación en algún período del año. Se pueden identificar también pérdidas redox en el P2 en forma de vetas color grisáceas (5Y 5/1 en húmedo). La dinámica hídrica es multigenética: el agua en el suelo presenta distintos orígenes, desde precipitaciones, agua freática hasta inundaciones por sudestadas, generándose procesos de epi y endosaturación. En algunos períodos, estos procesos se superponen y actúan simultáneamente debido a la escasa profundidad a la que se encuentra el nivel freático y al escaso desarrollo que presentan estos suelos, que evolucionan en condiciones de hidromorfismo. Los suelos se encuentran 100% cubiertos por vegetación principalmente hidrófila de las siguientes especies: *Hydrocotyle bonariensis*, *Trifolium repens* sp, *Portulaca* sp y *Rumex crispus* sp, *Echinonorus argentinensis* sp y especies del género *Juncus* (junco).

B- Llanura de fango

Los tres perfiles analizados de esta unidad (P4, P5 y P6) fueron clasificados como Epiacuert hálico (P4) Epiacuert típico (P5) y Natracuert típico (P6). Efectuando una generalización se pueden distinguir dos materiales superpuestos de diferente origen. En la parte superficial aparece un material arcilloso muy plástico y adhesivo, posiblemente de origen mixto (fluvial y marino) con evidencias de iluviación de arcilla (cutanes) y escasos rasgos vérticos. Subyace en discontinuidad un material muy arcilloso de origen marino cuyas características más notables son los rasgos vérticos y los colores glei muy conspicuos. La granulometría presenta un claro predominio de la fracción arcilla con tenores que oscilan entre un 60 % en superficie a 79 % en profundidad, excepto en el P4 donde los valores se mantienen pero con tendencia decreciente en profundidad. A partir de los difractogramas de roca total realizados en los horizontes más profundos del P4 y P5, se identificaron y semicuantificaron diferentes fases minerales, confirmándose el predominio de minerales de arcilla (50%) (Fig. 2 A, B). La presencia de slickensides muy abundantes principalmente en los horizontes más profundos, indica la presencia de argilominerales expansivos que fue corroborada con los resultados de los análisis de expansión libre, alcanzando valores extremadamente altos de 320%, 280% y 215% en el P5, P4 y P6 respectivamente. A partir de los difractogramas de las muestras orientadas se identificaron tres fases minerales correspondientes a la fracción arcilla. Se realizó el análisis semicuantitativo de las mismas el cual confirma el predominio de argilominerales del grupo de las esmectitas (Fig. 2 A, B), resultado que concuerda con los obtenidos por Imbellone (2011) y Gomez Samus et. al. (2017) para suelos de la zona. Los contenidos de caolinita en P4 son similares a los de esmectita, mientras que en P5 son menores, resultando la illita el argilomineral menos abundante (Fig. 2 A, B). Esta particular mineralogía le otorga a los suelos elevados valores de capacidad de intercambio catiónico. Todos los horizontes de los tres perfiles analizados presentaron valores mayores a 40 cmolc kg⁻¹, alcanzando máximos de 48,7 cmolc kg⁻¹ en el P6, mayores a los obtenidos por Manassero et al. (2013). Cabe destacar la presencia de yeso en el P4, con porcentajes de 4%, asociado a valores elevados de conductividad eléctrica, que alcanzan en los horizontes más profundos



registros mayores al 15 dS/m. Esta condición que permite clasificar al P4 como Epiacuert hálico, se asocia al carácter marino del material parental, además de su ubicación en cotas deprimidas del terreno, lo que favorece el desarrollo del proceso de salinización. El P6 presentó muy altos contenidos de sodio intercambiable (53,3%), con reacción fuertemente alcalina (pH 8,8) clasificándose como Natracuert típico, similar a los suelos descritos por Cabral et al, (2016) en la unidad cartográfica M2 de la Planicie costera, donde se expresan claramente el proceso de sodificación. El P5 fue clasificado como Epiacuert típico ya que presenta similares características al mencionado anteriormente pero con reacción ácida a levemente alcalina, bajos niveles de sodio intercambiable y conductividad eléctrica.

Todos los suelos de esta unidad tienen deficiencias en el drenaje, permeabilidad muy baja, anegamiento superficial muy frecuente y el nivel freático cercano a la superficie. Un aspecto a destacar es la abundancia de rasgos redoximórficos, principalmente los colores glei con matices 2,5Y y 5Y que indican condiciones reductoras extremas en los horizontes profundos, evidenciando endosaturación, condición convalidada en campo con la reacción positiva del reactivo α dipiridyl. Por otra parte, esta coloración fue atribuida por Gómez Samus op cit. (2017) a minerales con Fe⁺³ en su estructura cristalina, en particular a esmectitas ricas en hierro del tipo nontronita/Fe-beidellita, cuyo origen se considera ligado a ambientes con ciclos de inundación/desecación, donde las fluctuaciones de Eh en un medio levemente alcalino, habrían favorecido la incorporación de hierro en la estructura de las esmectitas. Se considera que estos colores reductivos, en estos suelos, se generan por ambos procesos en forma simultánea. Por un lado la neoformación de argilominerales férricos de coloración verdosa y la presencia de compuestos de Fe en estado reducido corroborado en campo. Los moteados de Fe y las concreciones de Fe /Mn se encuentran muy bien expresados en todos los perfiles desde la superficie, generados por la alternancia de períodos de oxidación y reducción, condición que a su vez retroalimenta la formación de esmectitas ricas en hierro. El anegamiento prolongado de origen pluvial impide la mineralización adecuada de los restos vegetales en superficie, que se evidencia por la presencia de horizontes orgánicos (Oi) de poco espesor en el P4 y P6. Analizando el contenido y distribución de materia orgánica, se observaron elevados tenores en los horizontes superficiales (17 % en horizonte A del P4), disminuyendo marcadamente en los horizonte Cgss, con luminosidades menores a 3, lo que estaría vinculado a la posición que este suelo ocupa en el terreno, a las condiciones ácidas a las que está sometido y a la densa cobertura vegetal (100%). Las especies vegetales identificadas en el P4 fueron *Salicornia sp* y *Solanum glaucophyllum sp* (duraznillo); en el P5 se observaron ejemplares de poáceas, y especies de los géneros *Mentha* y *Tripholium* (trébol) y *Solanum glaucophyllum sp* (duraznillo) mientras que en el P6 se desarrollan poáceas y *Distichlis spicata sp*.

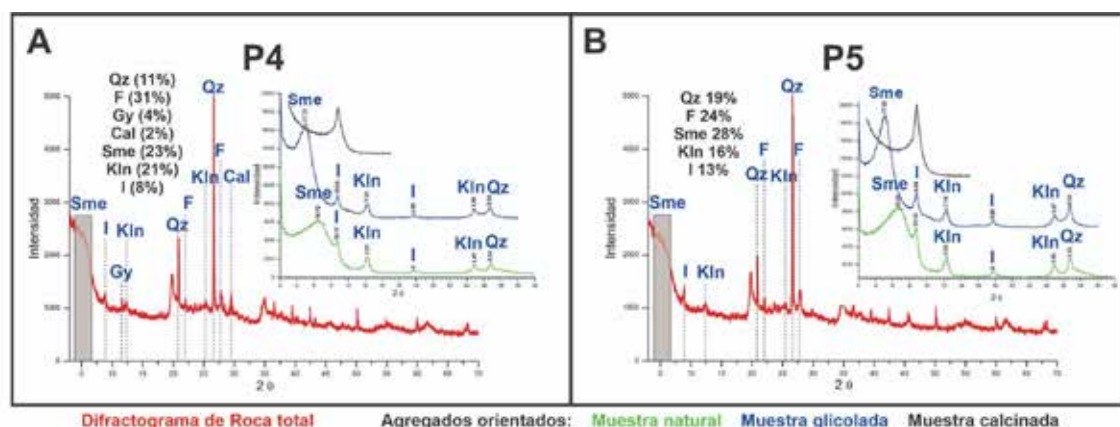


Figura 2. Difractogramas de roca total y fracción arcilla. A. Difractogramas de la muestra del perfil P4. B. Difractograma de la muestra del perfil P5. QZ (cuarzo), F (feldspatos), Gy (yeso), Cal (calcita), Sme (esmectita), Kln (caolinita), I (illita).

CONCLUSIONES

Diversos procesos pedogenéticos caracterizan el desarrollo de los suelos del área. Todos los suelos estudiados presentan *hidromorfismo* durante el período de crecimiento y regeneración vegetal, ya que entre



las especies identificadas predominan las hidrófitas. Se identifica *episaturación* por anegamiento después de lluvias intensas o por inundaciones por crecientes del río de la Plata y endosaturación, evidenciada por *gleización*, como consecuencia del nivel freático saturando permanentemente los horizontes profundos. . La *melanización y acumulación de materia orgánica* resultaron procesos relevantes en el desarrollo de los suelos, contribuyendo a la retención de altos contenidos de carbono orgánico. En la llanura de fango se manifiestan exclusivamente los procesos de *vertisolización, sodificación, salinización y argiluviciación*. El primero en condiciones húmedas favorece la retención hídrica, pero en épocas de déficit hídrico, el agrietamiento profundo, acentúa el desecamiento del perfil y puede facilitar la percolación a horizontes más profundos (flujo preferencial) alterando la dinámica hídrica y los flujos biogeoquímicos propios del humedal. Estos procesos pedogenéticos identificados resultan de vital importancia para el desarrollo de diversas funciones ecosistémicas, como: (i) regulación de inundaciones y filtro hídrico; (ii) soporte y medio para el crecimiento vegetal y biodiversidad; (iii) reciclado, sumidero, purificación de contaminantes; (iv) fuente de nutrientes, capacidad química reguladora; (v) modificación de la atmósfera, regulación del clima y retención de carbono, función primordial en el contexto actual de cambio climático. Se aportan criterios pedogenéticos como herramienta para la identificación de humedales que vinculan los procesos específicos de los suelos con las funciones ecosistémicas de los humedales costeros.

BIBLIOGRAFÍA

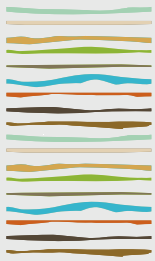
- Boff, L., Russo, C. y Camilión, M. (2000). Contenido de metales pesados en suelos hidromórficos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, pcia. de Bs.As. Con referato.
- Cabral, M.; Muntz, D.; Giani, E.; Hurtado, M.A.; da Silva, M.; Boff, L.; Palma, J.C. y Sánchez, C. (2016) Capítulo 1: Las inundaciones en la región capital: cartografía temática para el planeamiento. Ronco, A. PIO (Proyecto de Investigación Orientado)-Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada. Análisis de Riesgos y Estrategias de Intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental.
- Camilión María C., Challiol Iris B., Russo María C. y Boff Laura D. (1998). Actividades antrópicas y anomalías geoquímicas generadas en los suelos a nivel superficial. Caso: Gran La Plata. Actas de las Quintas Jornadas Geológicas y Geofísicas bonaerenses, Mar del Plata, volumen I, 209.
- Camilión María C., da Silva Mario, Boff Laura D. y Hurtado Martín A. (2005). "Salud en riesgo por contaminación con metales pesados en los suelos aluviales de la margen derecha del Río de la Plata" Jornadas Interdisciplinarias Rioplatenses de Toxicología y Ecotoxicología, Montevideo, Uruguay.
- Cavallotto, J. (2002). Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57 (4), 376-399.
- Fidalgo, F. y Martínez, O. (1983) Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires). RAGA 27 (2), 263-279.
- Fucks, E., D'amico, G., Pisano, M.F., and Nuccetelli, G. 2017. Evolución Geomorfológica de la Región del Gran La Plata y su relación con eventos catastróficos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 74: 141–154 Gómez Samus, M.; Comerio, M.; Boff, L.; Montes, L.; Ontivero, P.; Mercader, R. y Bidegain, J.C. 2017. Minerales con hierro en arcillas vinculadas a la ingesión marina holocena en la llanura costera del Río de la Plata. Implicancias paleoambientales. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis.
- Imbellone, P. y Mormeneo, L. (2011) Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del Río de la Plata, Argentina. Ciencias del Suelo 29, 107-127.
- Manassero, M.; da Silva, M.; Boff, L.D. y Hurtado, M.A. (2013) Metales pesados en suelos de la Planicie Costera del Río de la Plata, partidos de Ensenada y Berisso. Ciencia del Suelo, AACS, volumen 31, 253-264.
- Moore, D.M. & Reynolds, R.C. (1989) X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, Oxford, 187-196.
- Mulvany, S.; Canciani, M.; Pérez Safontas, M.; Tangorra, M.; Sahade, E. y Sánchez Actis, T. (2019). Inventario de Humedales de la Provincia de Buenos Aires. Nivel 2: Sistemas de Paisajes de Humedales –Primer Informe. Organismo Provincial Para El Desarrollo Sostenible (OPDS). La Plata: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.
- Pereyra F. X., Ragas D.B y Cornacchia M. C. 2022. Clasificación geológica-geomorfológica de los humedales de Argentina. RAGA 79 (2): 275-291.
- Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 2014a. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt



and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Soil Survey Division Staff. 2014b Keys to Soil Taxonomy omy. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture, 7th Edition.





CULTIVOS DE COBERTURA Y GESTIÓN DEL AGUA DEL SUELO EN EL BARBECHO

Bonvecchi V.E.^{1,*}, N. Nivoida¹, J. Irigoín¹, L. Bulos¹, M. Petrasek¹, J.A. Ramírez¹, G. Fernández¹

¹ Edafología, Dpto. de Tecnología, Universidad Nacional de Luján.
Ruta 5 y Av. Constitución, B6700 Luján, Provincia de Buenos Aires.
* virginiabonvecchi@gmail.com

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) en sistemas agrícolas simplificados de la Pampa Ondulada son una alternativa para asegurar sistemas ambientalmente más sustentables, que provean diversos servicios ecosistémicos. Entre los principales beneficios se reconoce un mejor aprovechamiento de los recursos, fundamentalmente una mayor eficiencia en el uso del agua. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes CC sobre la gestión del agua del suelo durante el período de barbecho invernal. Se realizó un ensayo en el campo experimental de la Universidad Nacional de Luján bajo siembra directa. Los tratamientos fueron: avena (A), avena-vicia (A-V), avena fertilizada (AF) con N, vicia (V) y testigo sin CC (T). Los CC se sembraron en dos fechas diferentes: 07/04/21 y 03/06/21 y se secaron el 27/10/21. El diseño fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Se determinó el agua disponible (AD) del suelo a la siembra y secado de los CC, acumulado de 0-40 cm. Se calculó el costo hídrico (CH), uso consuntivo (UC), la producción de biomasa aérea y la eficiencia en la utilización del agua (EUA). Los diferentes CC presentaron diferencias en el AD al secado, en la producción de biomasa y en la EUA. La avena sembrada en segunda fecha fue más eficiente (105.4 kg MS mm⁻¹) que la sembrada en primera fecha (54,6 kg MS mm⁻¹). Similar comportamiento mostró la avena-vicia. La fertilización nitrogenada resultó efectiva para las condiciones del ensayo, como estrategia para equiparar la producción de biomasa de segunda fecha de siembra con la de primera fecha. Se concluyó que la inclusión de estas especies invernales como CC se presentan como una alternativa viable para mejorar la gestión del agua en los sistemas agrícolas simplificados de la región pampeana, aún en condiciones de baja oferta hídrica.

Palabras clave: eficiencia de uso del agua, cultivos de servicio, fecha de siembra.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de cobertura (CC) en sistemas agrícolas simplificados de la Pampa Ondulada son una alternativa para asegurar sistemas ambientalmente más sustentables, que provean diversos servicios ecosistémicos. Los principales beneficios son el incremento del carbono orgánico del suelo (Hendrix *et al.*, 1998; Ding *et al.*, 2006), la captura de nutrientes (Nyakatawa *et al.*, 2001; Strock *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2005) el control de malezas (Liebman y Davis 2000; Fisk *et al.*, 2001) y la mayor EUA del suelo (Fernández *et al.*, 2005). En una encuesta de Aapresid, se identificó que la falta de conocimiento en el tema es el principal factor que dificulta la adopción de los CC y, en segundo lugar, el costo y el consumo de agua que podría comprometer el rendimiento del cultivo sucesor. Además, se menciona que las especies adaptadas a cada zona y su manejo agronómico son los temas que aún demandan mayor información (REM-Aapresid, 2018). Por lo tanto, conocer el comportamiento zonal y el manejo de algunas especies de CC, es importante para avanzar en una tecnología de procesos que requiere mayor ajuste que una tecnología de insumos.

Actualmente, son diversas las especies que se siembran como coberturas. Trabajos realizados en el Partido de Luján, mostraron que la producción de MS es variable según la especie, la fecha de secado del CC y el



manejo aplicado (Angiolini, 2016). Por otra parte, el consumo de agua por los CC, en años con excesos hídricos, tiene un efecto positivo en el sistema de producción ya que contribuye a disminuir el nivel freático. En años con precipitaciones normales o escasas, el CC puede disminuir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente, especialmente para especies sensibles como el maíz (Andriulo y Cordone, 1998). Por otro lado, en un ensayo con cultivo de soja y avena como CC, no se observaron diferencias en el agua disponible a la siembra y en el rendimiento de soja (Bonvecchi *et al.*, 2014, Costa *et al.*, 2014). Por esa razón, el manejo del CC, desde la elección de la especie, el momento de secado y la duración del barbecho, son fundamentales para asegurar los recursos (agua y nutrientes) para el cultivo de verano.

OBJETIVO

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes CC sobre la gestión del agua del suelo durante el período de barbecho invernal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó sobre un lote agrícola en el campo experimental de la Universidad Nacional de Luján, provincia de Buenos Aires (61°70'92" S 30°94'66" O) en un suelo Argiudol típico, serie Mercedes, familia fina illítica térmica, con textura superficial franco limosa. El clima es templado húmedo con medias en invierno de 13° C y medias en verano de 23° C (Goldberg *et al.*, 1995) y la precipitación media anual es de 1097 mm. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y en parcelas de 50 m². Los CC fueron avena (A), avena-vicia (A-V), avena fertilizada con N (AF), vicia (V) y testigo sin CC (T) y se sembraron en dos fechas: FS1 (07/04/2021) y FS2 (03/06/2021). La densidad de siembra de los distintos CC fue de 100 kg/ha de avena para el tratamiento A, 100 kg/ha avena +100 kg urea ha⁻¹ para la AF, 50 kg/ha de avena y 25 kg/ha vicia para A-V y 40 kg/ha para V, en siembra directa. El T se mantuvo libre de malezas mediante el control químico. El secado de los CC se efectuó el 27 de octubre con glifosato (2,5 Lha⁻¹), en estado de madurez fisiológica.

Se tomaron muestras de suelo a la siembra y secado de los CC a 0-10,10-20 y 20-40 cm, de profundidad para la determinación del contenido de agua útil por gravimetría. Se utilizaron los datos de humedad gravimétrica a punto de marchitez permanente determinados previamente en la caracterización del lote, los cuales fueron 14.5 % para 0-10 cm, 13.5 % 10-20 cm y de 15.9 % para la profundidad de 20-40 cm. Para el análisis de los datos de humedad se consideró la lámina acumulada de agua disponible de 0-40 cm (AD en mm).

El costo hídrico (CH) se calculó como la diferencia de agua útil disponible en el suelo en los diferentes tratamientos con CC al momento de secado en relación al tratamiento control (sin CC), Fernández *et al.*, 2007. Además, se obtuvieron datos de precipitaciones provenientes de la estación agrometeorológica-CIDEPA-UN-Lu (34°36'S y 59°04'O, 28 msnm) para la campaña 2021 y datos históricos (1988-2017). En la Figura 1, se indica el comportamiento de las lluvias durante el período 2021 y las precipitaciones históricas. Según se observa en el gráfico, las precipitaciones mensuales previas a la siembra de los CC fueron inferiores respecto al promedio histórico. Por su parte, el período en que se desarrolló el CC, incluye a los meses en que ocurrió el mayor déficit de lluvias respecto a los registros medios históricos.



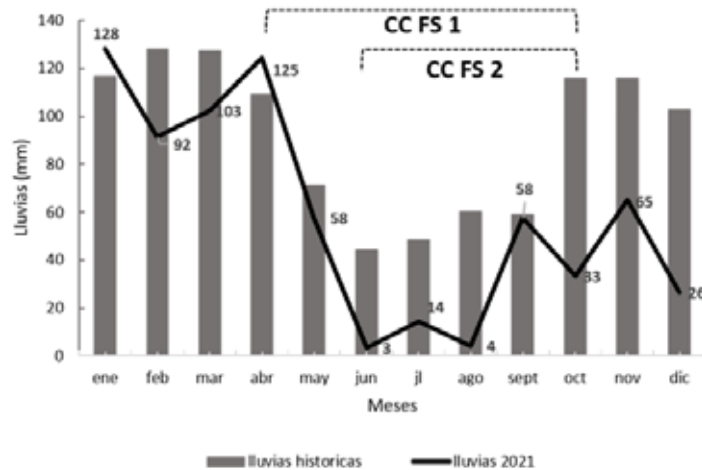


Figura 1. Lluvias mensuales registradas para el año 2021 y medias mensuales históricas registradas por la Estación Meteorológica CIDE-PA-UNLu. Donde: CC FS 1 corresponde al ciclo de los CC en primera fecha de siembra y CC FS 2 ciclo de los CC en segunda fecha.

El uso consuntivo (UC) se calculó mediante la suma del contenido de agua útil disponible al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de los CC, a la cual se le restó el contenido de agua útil disponible al momento de finalizar el ciclo de los CC.

Previo al momento de secado del CC, se tomaron 5 muestras por parcela de 0.25m² cada una para la determinación de biomasa aérea. Las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio y colocadas en estufa a 60 °C por 72 h hasta peso constante. Se registró el peso seco y se calculó la producción de materia seca de cada tratamiento por hectárea.

La eficiencia en la utilización del agua (EUA) se calculó mediante el cociente entre la MS y el UC.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA, considerando los distintos CC y las fechas de siembra como factores fijos. Posteriormente, se analizaron individualmente cada CC en las distintas FS. Se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013) y las diferencias entre medias fueron analizadas mediante el test de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de agua disponible (AD) al momento de la siembra, no presentó diferencias entre tratamientos en la FS1, mientras que en la FS2, el CC avena-vicia mostró un contenido de AD 21.1 mm superior al tratamiento avena.

El AD al secado del cultivo de cobertura presentó diferencias solamente en la FS1, con menores contenidos de AD en los tratamientos A y AF, respecto al resto (Tabla 1 y 2). Desde la siembra del CC al momento de secado del CC llovieron para la FS1 284 mm y para la FS2 102 mm. Este importante diferencial a favor de la primera fecha de siembra fue aprovechado por la A y AF dado que son especies que presentan un crecimiento y desarrollo más rápido que la vicia.

En relación al uso consuntivo (UC), se observaron diferencias significativas entre fechas siendo mayor el UC en la FS1 (317 mm) en relación a la FS2 (134 mm). Estos resultados son esperables debido a que entre las dos fechas de siembra se registró una diferencia en la precipitación de 182 mm. Es importante destacar que para la campaña del ensayo (2021) la precipitación anual fue de 708.3 mm, muy por debajo de los valores medios históricos y se corresponden con una probabilidad de ocurrencia del 20 %, quintil 1 (< 887.5 mm año⁻¹), clasificada como muy baja. Por lo tanto, los resultados obtenidos estarán claramente condicionados por la restricción hídrica descrita.



Para la FS1 el tratamiento avena fertilizada presentó el mayor UC (338.2 mm) y presentó diferencias significativas ($p < 0.1$) con los tratamientos vicia (312.0 mm) y avena-vicia (312.9 mm), Tabla 1. Sin embargo, para la segunda fecha de siembra no hubo diferencias entre tratamientos, Tabla 2.

La máxima producción de materia seca (biomasa área) aportada por los CC fue para la avena de 15.4 Mg MS ha⁻¹. No hubo interacción entre CC-fechas de siembra y sólo se diferenció la vicia del resto de los CC, con el menor valor de biomasa aérea (4.7 Mg MS ha⁻¹). Sin embargo, al analizar el comportamiento de cada CC para ambas fechas de siembra, se observó que en la FS1, el tratamiento de avena pura presentó una producción de biomasa significativamente superior (17.6 Mg MS ha⁻¹) ($p < 0,1$) respecto de la FS2 (13.3 Mg MS ha⁻¹). Similar comportamiento obtuvo la vicia con valores de 5.7 Mg MS ha⁻¹ para la FS1 y 3.8 Mg MS ha⁻¹ para la FS2. El resto de los CC no presentaron diferencias entre fechas con valores promedio para la avena fertilizada de 15.1 Mg MS ha⁻¹ y avena-vicia de 13.2 Mg MS ha⁻¹. Si bien se han reportado incrementos en la producción de materia seca, asociadas a la mayor disponibilidad de agua y a la fertilización nitrogenada en los CC (Quiroga, A., 2007, Ruti *et al.*, 2016), es probable que la escasa precipitación ocurrida en el período de crecimiento haya sido la principal limitante en la producción de biomasa aérea.

En relación a la estrategia de fertilización nitrogenada no se observaron diferencias al comparar la producción de biomasa del tratamiento avena FS1 con avena fertilizada FS2, De esta manera, la práctica de la fertilización nitrogenada conforme se retrasa la fecha de siembra sería una alternativa para compensar la producción de biomasa con un ciclo del CC más corto.

Respecto a la EUA y al UC en la FS1, se puede observar que el tratamiento vicia fue el que presentó los menores valores (18.3 kg MS mm⁻¹; 312 mm) y el único que se diferenció significativamente del resto de los tratamientos que presentaron valores medios de 50.4 kg MS mm⁻¹, y 324.6 mm (Tabla 1). Por el contrario, para la FS2 no se observaron diferencias significativas en ninguno de los dos parámetros.

Al comparar para cada CC el efecto de la fecha de siembra sobre la EUA se determinó que la avena sembrada en segunda fecha (105.4 kg MS mm⁻¹) fue más eficiente que la sembrada en primera fecha (54,6 kg MS mm⁻¹). Similar comportamiento mostró el tratamiento mezcla de avena-vicia con una eficiencia mayor en segunda fecha (Tabla 1 y 2). Para el resto de los tratamientos el efecto de la fecha de siembra no fue significativo.

Tabla 1. Agua disponible de 0-40 cm, a la siembra y al momento de secado de los cultivos de cobertura, costo hídrico (CH), uso consuntivo, eficiencia de uso del agua (EUA) y precipitaciones (PP) durante el período de crecimiento para FS1. Letras distintas muestran diferencias entre los tratamientos dentro de una misma variable.

Tratamiento	AD a la siembra del CC (mm)	AD al secado del CC (mm)	CH (mm)	Uso Consuntivo (mm)	EUA kg MS mm ⁻¹	PP en el CC (mm)
Testigo	54,1 a	28,9 b	-	-	-	284
Avena	43,2 a	4,9 a	-24.0 a	322,6 ab	54,6 b	
Avena/Vicia	58,2 a	29,6 b	-6.0 a	312,9 a	47,6 b	
Vicia	55,7 a	28,0 b	-0.97 a	312,0 a	18,3 a	
Avena fert.	59,3 a	5,4 a	-23.5 a	338,2 b	48,8 b	



Tabla 2. Agua disponible de 0-40 cm, a la siembra y al momento de secado de los cultivos de cobertura, costo hídrico (CH) uso consuntivo, eficiencia de uso del agua (EUA) y precipitaciones (PP) durante el período de crecimiento para FS2. Letras distintas muestran diferencias entre los tratamientos dentro de una misma variable.

Tratamiento	AD a la siembra del CC (mm)	AD al secado del CC (mm)	CH (mm)	Uso Consuntivo (mm)	EUA kg MS mm ⁻¹	PP en el CC (mm)
Testigo	52,7 ab	28,9 a	-	-	-	102
Avena	44,3 a	18,7 a	-10.2 a	127,6 a	105,4 a	
Avena/Vicia	65,4 b	22,3 a	-6.6 a	145,1 a	80,0 a	
Vicia	62,2 ab	27,6 a	-1.3 a	136,5 a	52,9 a	
Avena fert.	51,8 ab	18,5 a	-10.4 a	135,5 a	131,3 a	

Con respecto al CH se pudo observar en la FS1 una disminución de la oferta hídrica para el cultivo de verano debido a la inclusión de un CC. El mayor CH fue para la avena fertilizada y el menor para la vicia, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Fernández *et al.* (2005) y Carfagno *et al.* (2008) reportaron costos hídricos bajos de CC (entre 30 y 60 mm) debido a la inclusión de un CC. Si bien las gramíneas tuvieron altos valores de costo hídrico, éste fue compensado con la alta producción de MS aérea.

Los resultados presentados indican que los CC son una alternativa muy eficiente para la generación de biomasa y de aporte de C al suelo, sin producir un costo hídrico extra en el período de barbecho. Similares resultados fueron reportados por Fernandez, *et al.*, 2012. Por lo tanto, la inclusión de CC en la rotación es una alternativa viable para la zona de estudio seleccionando la especie adecuada y ajustando la fecha de siembra y secado del CC.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones hídricas de este estudio se concluye que la inclusión de un CC previo a un cultivo de verano determinó según la especie y fecha de siembra, una diferente oferta hídrica al momento de secado. El cultivo de avena presentó el mayor costo hídrico y la vicia el menor, en ambas fechas de siembra. Sin embargo, el atraso en la fecha de siembra determinó que al momento del secado no se observaran diferencias en la disponibilidad de agua entre los distintos CC.

La fertilización nitrogenada como estrategia de manejo para equiparar la producción de biomasa de segunda fecha de siembra con la de primera fecha, resultó efectiva para las condiciones del ensayo.

La gramínea (avena) fue más eficiente que la leguminosa (vicia) en producir MS y por consiguiente, en el aporte de carbono orgánico al suelo.

Por lo tanto, la inclusión de estas especies invernales como CC se presentan como una alternativa viable para mejorar la gestión del agua y los nutrientes en los sistemas agrícolas simplificados de la región pampeana.

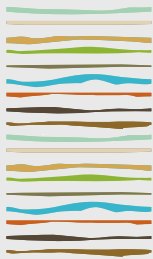
BIBLIOGRAFÍA

- Angiolini, JF y Bonvecchi VE. 2016. Evaluación de diferentes especies como cultivos de cobertura: efecto sobre la eficiencia de uso del agua y la captura de nitratos, en sistemas de secano bajo siembra directa. Consejera: Bonvecchi Virginia. Universidad Nacional de Luján.
- Andriulo, A.; Cordone, G. 1998. Impacto de labranza y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En: Panigatti, J.L.; Marelli, H.; Buschiazzo, D.; Gil, R. (Eds.). Siembra directa. INTA. Hemisferio Sur. p.65-96.
- Bonvecchi, V.E.; Costa, M.C.; Irigoien, J.; Dettler, A.; Bulos, L.; Ruti, S. 2014 "Cobertura de rastrojos y eficiencia en el uso de agua del suelo". XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Costa, M.C.; Bonvecchi, V.E.; Irigoien, J.; Dettler, A.; Ruti, S.; Bulos, L. 2014. "Cultivos de cobertura: longitud de barbecho y disponibilidad



- hídrica". XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández, R; A Quiroga; F Arenas; C Antonini & M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En: Quiroga, A & A Bono (eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Pp. 51-59. INTA. EEA Anguil, Argentina.
- Fernández R, Funaro D. y A. Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana.
- Fisk J, Hesterman O, Shrestha A, Kells J, Harwood R, Squire J. y C. Sheaffe. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn Agronomy Journal 93:319-325.
- Goldberg, S & Cirera, I. 1995. Caracterización climática y agroclimática de la cuenca del Río Luján. Actas Jornada sobre la cuenca del Río Luján. Pp 13-19.
- Liebman M. y A. Davis. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low- external- input farming systems. Weed Res. 40:27-47.
- Nyakatawa E, Reddya K. y K.Sistanib. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. Soil. Till. Res. 58:69-79.
- REM-Aapresid, 2018. Red de manejo de plagas -Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Fecha de acceso: 14/08/2019 <http://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2018/03/Analisis-encuesta-sobre-CC-web.pdf>
- Ruti MS, Costa MC, Bonvecchi VE, Bulos L e Irigoien J. 2016. "Momentos de secado y fertilización en cultivo de cobertura: efecto sobre disponibilidad de agua edáfica". XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Córdoba. Del 27 de junio al 1 de julio.
- Strock J, Porter P. y M. Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. J. Environ. Qual. 33: 1010-1016.





FERTILIZACIÓN Y CULTIVOS DE COBERTURA EN UN OLIVAR DEL SUDOESTE BONAERENSE

M.A. Busso^{1y2}, L.G. Suñer^{1y2}, R.A. Rodríguez¹

1 Departamento de Agronomía Universidad Nacional del Sur.

2 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

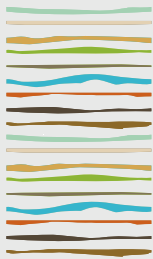
Autor de contacto: lsuner@criba.edu.ar

RESUMEN

La región del sudoeste bonaerense presenta condiciones edafoclimáticas óptimas para el desarrollo de la olivicultura, obteniéndose aceites de excelente calidad. Sin embargo, es necesario ajustar pautas que efficien su manejo mejorando la productividad. En un olivar bajo riego del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), se han aplicado cuatro tratamientos de fertilización; 1-Fertilizante orgánico: Bioorganutsa (suelo), 2 Fertilizante inorgánico (foliar), 3 Fertilizante inorgánico (suelo), 4 control, en dos condiciones de cobertura del suelo. En hoja se cuantificó de N, P y K. En el suelo se determinó pH, humedad, densidad aparente, N, P y K. Se trabajó sobre un total de 196 plantas. En hojas, el P varió entre 1358,5 y 1530,5 ppm entre los tratamientos de fertilización en las áreas sin cobertura vegetal, y entre 1082,4 y 1335,7 ppm en las áreas con cobertura vegetal. El N total en hojas varió entre 3,61 y 5,70% en las áreas sin cobertura vegetal, y 3,74 y 5,02% en las áreas con cobertura en los distintos tratamientos de fertilización. El K mostró no mostró diferencias entre las áreas con o sin cobertura ($p>0,05$), pero sí hubo diferencias significativas ($p=0,0027$) entre los tratamientos de fertilización. Las áreas fertilizadas mostraron una mayor ($p0,05$) entre las coberturas, se hallaron diferencias significativas entre las profundidades ($p0,05$) en las áreas sin cobertura (3,76 ppm) y con cobertura (2,31 ppm) para ambas profundidades. En áreas sin cobertura el N tuvo (2,58 mg N/100 g de suelo seco) una mayor ($p0,05$) a 0-20 (2,16 mg N/100 g de suelo seco) y 20-40 cm (1,53 mg N/100 g de suelo seco) de profundidad para ambas condiciones de cobertura. El amonio presentó diferencias entre las coberturas ($p=0,07$) y las profundidades ($p=0,06$). Las áreas sin cobertura (3,03 mg N/100 g de suelo seco) tuvieron una mayor ($p0,05$) entre las coberturas y la profundidad. Tampoco se hallaron diferencias ($p>0,05$) entre las coberturas. Sin embargo, se hallaron diferencias entre las profundidades ($p0,05$) en áreas con cobertura (488,3 ppm) y sin cobertura (497,3 ppm) para las dos profundidades. Sin embargo, dicha concentración fue mayor ($p 0,05$) a 0-20 (513,2 ppm K) que a 20-40 cm (472,5 ppm K) para ambas condiciones de cobertura. De los nutrientes del suelo analizados, el N fue el más influenciado por la cobertura.

Palabras clave: olivicultura, sustentabilidad, manejo.





IMPACTO ECONÓMICO Y PRODUCTIVO SOBRE EL PUERTO DE DIAMANTE AL SISTEMATIZAR UNA SUBCUENCA

Cabrera, A.M.^{1*}, S.N. Roda¹, C.A. Heinze¹, M.F. Saluzzio¹, J.J. Gvozdenovich^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER;

² INTA EEA Paraná;

*Los Colibríes 247 (3100), Prov. de Entre Ríos, arac27760@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en una subcuenca del Arroyo Gómez que pertenece a la cuenca del Arroyo de La Ensenada, ubicado a 20 km de la Estación Puerto Diamante, en la provincia de Entre Ríos, Argentina, con el objetivo de estimar la pérdida de suelo y evaluar el impacto económico y productivo utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Para esto se delimitó automáticamente la subcuenca con SAGA GIS obteniendo una superficie de 7.680 ha. Con la utilización del Sistema de Información Geográfico Quantum se procedió a digitalizar los lotes y calcular los factores de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada: $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$; donde A= pérdida de suelo por erosión pluvial; R= Índice de erosividad de la lluvia; K= factor de erodabilidad del suelo; L= factor longitud de pendiente; S= factor inclinación de la pendiente; C= factor de cobertura de cultivos y rastrojos; P= factor prácticas de conservación. Estos factores se tomaron de acuerdo a bibliografía consultada y se calcularon a través de metodologías propuestas por autores con el uso de herramientas de Información Geográfica. Obteniendo con esto una pérdida de suelo total de 48.360 t.año⁻¹ que van al cauce del Arroyo principal que deriva en el puerto, a su vez se dejan de producir 69 t de grano que corresponde a una rotación agrícola de Trigo/Soja2°-Maíz-Soja1° y esto equivale a un impacto económico local de US\$19.634, que a su vez podría ser un fuerte financiamiento por año al calado del Puerto de Diamante y de esa manera habilitar el mismo en forma progresiva para sacar la producción local sin tener que ir al Puerto de Rosario, disminuyendo costos de transporte y aumentando el valor de productos locales.

Palabras clave: erosión, cuenca, teledetección.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un proceso físico de remoción de las partículas de la superficie del mismo, producido por el agua y/o viento e inducido por la acción antrópica debido al uso y manejo que se le ha dado a dicho suelo (Do Prado & Da Veiga, 1992).

La erosión hídrica se define como el desagregado de las partículas del suelo, arrastre y posterior deposición de las mismas en la parte más baja del terreno. Este tipo de erosión es la que predomina en la provincia de Entre Ríos debido a la baja velocidad de infiltración como consecuencia de la escasa capacidad de los horizontes inferiores para transmitir agua y la intensidad de las precipitaciones en esta zona (Scotta *et al.*, 1989), sumado a esto el grado y la longitud de la pendiente.

La erosión hídrica tiene como principal impacto la disminución en la productividad de los cultivos como consecuencia de la pérdida de fertilidad, debido a que se produce el arrastre parcial o total del horizonte A, en el cual se encuentra la mayor cantidad de los elementos que hacen posible el crecimiento y desarrollo de las plantas. Según Rubio (1969), los efectos directos de la erosión hídrica son la pérdida de materia orgánica lo que lleva a un debilitamiento de la estructura del suelo disminuyendo la porosidad y con ello la capacidad de



infiltración; y como efectos indirectos menciona la contaminación de aguas superficiales y subsuperficiales, los daños en redes de canales y la alteración de caminos vecinales, entre otros.

La tecnología que permite hacer el mayor aprovechamiento del agua en el campo y evacuar los excedentes a una velocidad no erosiva son las terrazas de evacuación, definidas como canales que atraviesan una pendiente de forma perpendicular disminuyendo su longitud (Scotta *et al.*, 1989).

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue estimar la pérdida de suelo en la subcuenca del Arroyo Gómez y evaluar el impacto económico y productivo en el Puerto de Diamante utilizando herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en la subcuenca del Arroyo Gómez (32°0,1'55,06" S; 60°25' 27,03" O) que pertenece a la cuenca hidrográfica del Arroyo de La Ensenada, cuya desembocadura se encuentra 450 m aguas arriba del Puerto Diamante, en la provincia de Entre Ríos, Argentina (Figura 1).

La subcuenca cuenta con un total de 7.680 ha, en la cual los suelos que predominan pertenecen, al orden de los molisoles, principalmente, del tipo de los Argiudoles ácuicos y vérticos.

La cuenca y subcuenca se delimitaron automáticamente utilizando los modelos de elevación de 5 m de resolución espacial tomados del Instituto Geográfico Nacional (IGN), luego fueron exportados al software SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses o Sistema para Análisis Automatizados Geocientíficos) y como resultado se obtuvo la delimitación vectorial de las mismas por la red hidrográfica (Figura 1).

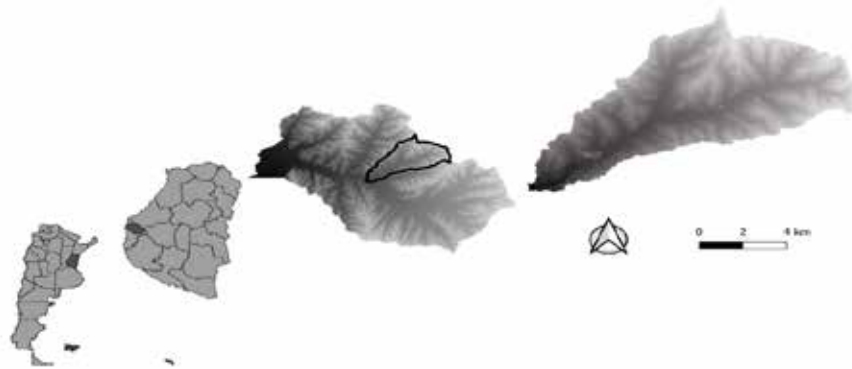


Figura 1. Modelo Digital de Elevación de la subcuenca Arroyo Gómez y su ubicación geográfica.

A continuación, se trabajó con el Sistema de Información Geográfico Quantum (QGIS) para digitalizar el 100% de los lotes y las misceláneas.

Para la estimación de la pérdida anual de suelo, se utilizó la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE, Renard & Ferreira, 1993). La expresión del modelo cuantitativo se presenta como: $A=R \times K \times L \times S \times C \times P$; Donde: A= pérdida de suelo por erosión pluvial ($t.ha^{-1}.año^{-1}$); R= Índice de erosividad de la lluvia ($Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}$); K= factor de erodabilidad del suelo ($t.ha.h.ha^{-1}.Mj^{-1}.mm^{-1}$); L= factor longitud de pendiente (m); S= factor inclinación de la pendiente (%); C= factor de cobertura de cultivos y rastrojos; P= factor prácticas de conservación.

Para el factor R se utilizó la metodología del Índice de Fournier (1960) modificada por Arnoldus (1978) y posteriormente ajustada por Crettaz *et al.* (2016) para la localidad de Paraná y zonas aledañas, el cual plantea ecuaciones de regresión que permitieron estimar un valor de R= 626 para el departamento Diamante. El factor K se calculó a partir de las unidades cartográficas digitalizadas en QGIS, tomadas del mapa de la



Carta de Suelos de Entre Ríos del Visor GeoINTA (<http://visor.geointa.inta.gob.ar/>) y del software INTA USLE-RUSLE (Gvozdenovich *et al.*, 2015). Como esta fuente de información no ajusta el factor k, al valor arrojado por el software se le sumó un porcentaje de 17%, 35% y 52% según la erosión que presentaban las series de suelo pudiendo ser, leve (h1), moderada (h2) o severamente (h3) erosionada, respectivamente; teniendo en cuenta que la pérdida de suelo en el horizonte A impacta directamente en el contenido de materia orgánica. En cuanto al factor combinado LS se estimó mediante la metodología de Desmet & Govers (1996), para esto fue necesario introducir el DEM de la subcuenca al software SAGA GIS, el cual presenta un módulo que permite calcular el factor LS con la metodología RUSLE. Una vez obtenida la capa raster, fue exportada a QGIS, obteniendo un valor medio por pixel.

El factor C se digitalizó en base a información de la cobertura total de los cultivos en la subcuenca proporcionada por proyecto SIBER de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (responsable Ing. Agr. Pablo Fontanini).

Por último, para el factor P se toma como información base el trabajo de Gvozdenovich *et al.* (2020) de clasificación de terrazas según su estado otorgándole los siguientes valores: Muy Bueno, no se detectan problemas de erosión (0,5); Bueno, se detectan problemas menores y de fácil solución como algún canal erosionado con surcos o terraza desbordada (0,7); Regular, si bien la sistematización es adecuada, se detectan problemas en más de un canal y terrazas cortadas, con surcos y cárcavas (0,8); Malo, el sistema no funciona por tener graves problemas de erosión o lotes sin terrazas o sistemas de control de erosión (1,0).

Para determinar el impacto económico teniendo en cuenta la importancia que tiene la actividad agrícola en esta zona, se realizó una estimación de la pérdida de suelo con QGIS solamente para la superficie destinada a la rotación Trigo/Soja 2°-Maíz-Soja 1° y basado en la bibliografía, donde se plantea que por cada centímetro de suelo que se pierde, se reduce el rendimiento en 95 kg.ha.⁻¹ en soja de primera, 273 kg.ha.⁻¹ en maíz y 71 kg.ha.⁻¹ en trigo (Iruña & Mon, 2000) y para soja de segunda 60 kg.ha.⁻¹ (Gvozdenovich *et al.*, 2015), se calculó aproximadamente cuanto se deja de ganar en unidades monetarias por dicha pérdida tomando el precio pizarra de la Bolsa de Comercio de Rosario (\$/kg de grano) de 67, 32,8 y 42,2 para los cultivos soja, maíz y trigo, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado se determinó un total de 394 lotes de los cuales el 80% pertenece a producción agrícola y el 20% restante a producción ganadera y además se delimitaron dos grandes zonas urbanas (General Racedo y Villa Libertador San Martín), casas, galpones, entre otros.

Factor K. Como se muestra en la Tabla 1, con las herramientas utilizadas se determinó que la unidad cartográfica que abarca mayor superficie de la subcuenca es Complejo A° Ensenada con 1.874 ha y la más susceptible a erosionarse por el tipo de suelo que presenta es General Racedo h2 (Argiudol vértico) con un K=0,72, teniendo en cuenta que el valor del K original de 0,539 fue incrementado en un 35% por presentar una erosión moderada como se mencionó anteriormente, pero a pesar de su valor extremo y de su muy alta susceptibilidad a erosionarse, sólo ocupa 10 ha.



Tabla 1. Susceptibilidad a la erosión del suelo en las distintas unidades cartográficas

Unidades cartográficas	Tipo de suelo	Superficie (ha)	Factor K
Complejo A° Ensenada	Argiudol cumúlico	1874,20	0,58
Consociación I	A. ácuico; A. rendólico	1576,67	0,66
Consociación II	A. ácuico; A. vértico	1400,97	0,54
Tezanos Pinto	A. ácuico	1225,31	0,49
Crespo	A. vértico	946,88	0,39
Consociación San Alfonso	A. ácuico; A. vértico	268,19	0,46
Puiggari	A. ácuico	76,07	0,54
Asociación General Racedo	A. ácuico; A. vértico	43,04	0,52
General Racedo	A. vértico	10,12	0,72

Factor LS. El factor LS de la subcuenca se encuentra entre los valores de 0 y 2,5, teniendo un menor valor en las partes más bajas como son las costas del A° Gómez y sus ramificaciones, mientras que los valores más altos se encuentran cercanos a los límites de la subcuenca perteneciente a zonas con mayor elevación.

Factor C. La subcuenca cuenta con una superficie agrícola-ganadera de 6.300 ha, de ellas 5.090 ha que pertenecen a agricultura y 1.210 ha restantes a la ganadería. El doble cultivo trigo/soja^{2º} representa el 55% de la superficie seguido por el maíz con un 40% y por último la soja 1º con un 5%, ocupando la Soja en total el 60% de la superficie agrícola (Figura 2).

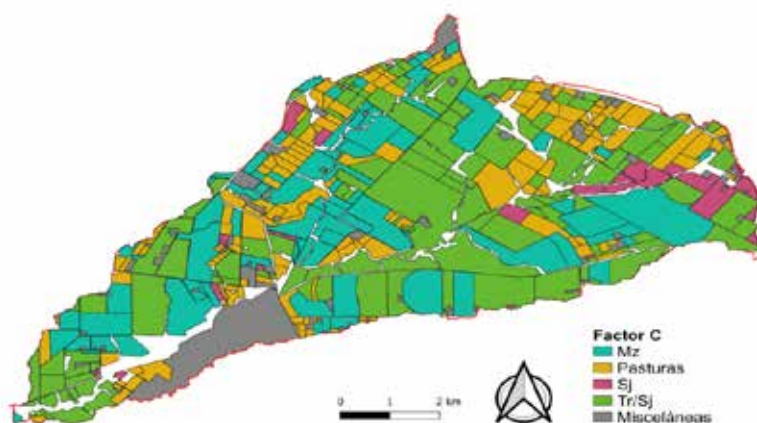


Figura 2. Factor Cobertura de Cultivos. Maíz (Mz), Soja (Sj), Trigo/Soja (Tr/Sj).

Factor P. Como se muestra en la Figura 3, se determinó que del total de la superficie de la subcuenca, el 46% se encuentra sistematizado, pero de este último solamente el 16% está en una condición Muy Buena, para la cual se asignó un valor de P=0,5, mientras que el 26% se encuentra en estado Bueno y el resto en estado Regular, con un P=0,7 y P=0,8 respectivamente. Sin sistematizar o en estado Malo se encuentra el 54%, con valor 1.

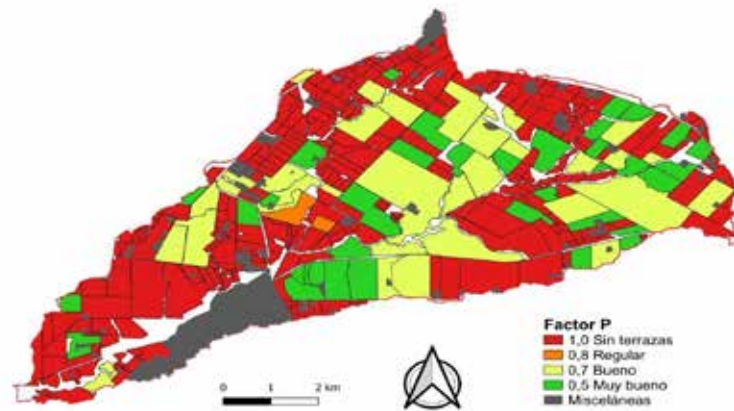


Figura 3. Factor Prácticas de Conservación.

A nivel de subcuenca, la pérdida total de suelo por erosión hídrica es de 48.360 t.año⁻¹, como se observa en la Figura 4, ocupando un 47% de la superficie una pérdida de suelo promedio menor a 5 t.ha⁻¹.año⁻¹ (color verde), coincidiendo en la mayoría de los casos, con lotes sembrados con pasturas, mientras que los máximos valores de pérdida de suelo mayor a 11 t.ha⁻¹.año⁻¹ (color anaranjado y rojo) coincide con los lotes que se encuentran sembrados con un solo cultivo agrícola en el año (maíz o soja) representando un 23% y el resto de los valores alrededor del 15% de la superficie se encuentran moderados (entre 5,1 y 11 t.ha⁻¹.año⁻¹) coincidiendo con la rotación tr/sj2^o-mz-sj1^o y pasturas (figura 3), agregando tecnologías de control de erosión hídrica como la sistematización.

Asimismo, comparando con la figura 4, se observa claramente que donde las pérdidas de suelo son de moderadas a severas coincide con lotes donde no hay sistematización, mientras que con erosiones leves a moderadas son lotes sistematizados.

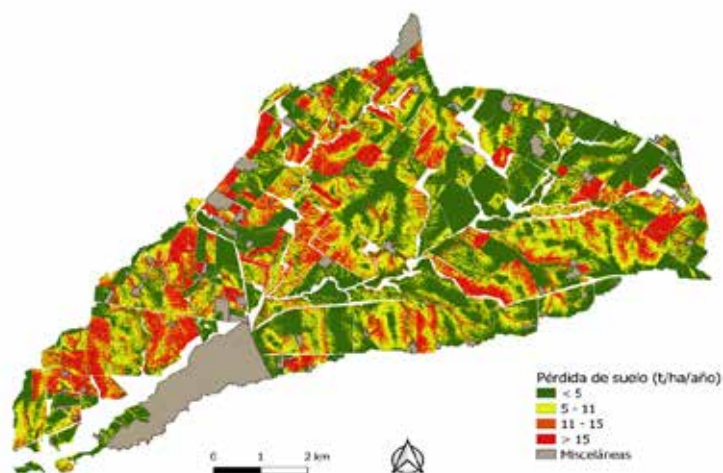


Figura 4. Pérdida de suelo a nivel de subcuenca.

Impacto productivo y económico

Se obtuvo como resultado que se estaría dejando de producir en la superficie agrícola 69.192 kg de granos, lo que equivale aproximadamente a US\$19.634 (Tabla 2).



Tabla 2. Impacto económico y productivo de la pérdida de suelo con rotación agrícola

Cultivos	Suelo perdido (cm)	Pérdida productiva (kg granos)	Pérdida económica (\$)	Pérdida económica (US\$)
Tr/Sj 2°	204	26.802	1.435.524	9.765
Mz	148	40.622	1.332.424	9.064
Sj 1°	18	1.767	118.389	805
		69.192	2.886.339	19.634

Realizar el calado del Puerto tiene un presupuesto cercano a los US\$340.000 y esta acción habilita para recibir la producción de aproximadamente 665.000 ha de su zona agrícola de influencia. Si en 5.000 ha agrícolas del Arroyo Gomez, que corresponde solo al 1% del área de influencia, se encontró un costo evitable de aproximadamente US\$20.000, el impacto de toda el área de producción de granos que se transportarían hacia el puerto, al no tener sistematización ni tecnología de control de erosión, equivaldrían aproximadamente a seis veces el presupuesto del calado actual (US\$1.900.000).

De esta forma permitiría que en dicho Puerto se pueda completar la carga de las barcas con posibilidades de comercio exterior, esto disminuiría el costo del transporte terrestre en un 33,3%, ya que cuesta US\$21 llevar los granos al Puerto de Rosario y US\$7 al Puerto de Diamante y aumentar así el valor de los productos locales.

CONCLUSIONES

Concluimos que con la rotación Tr/Sj-Mz-Sj, el 53% de la superficie tiene una pérdida promedio mayor a 5 t.ha⁻¹.año⁻¹.

En la subcuenca Arroyo Gómez la pérdida de suelo total es de 48.360 t.año⁻¹.

El impacto en lo productivo y económico es negativo, dejando de producir 69.000 t de granos, que equivalen a US\$20.000.

Considerando que esta superficie es solamente el 1% del área de influencia del Puerto de Diamante, permitiría progresivamente el transporte de la producción local sin tener que ir al Puerto de Rosario, disminuyendo los costos de transporte y aumentando el valor de la producción local.

BIBLIOGRAFÍA

- Crettaz, E., Gvozdenovich, J., & Saluzzio, M. 2016. Cálculo del Factor R de la USLE a través del Índice Modificado de Fournier. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Desmet, P. & Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Revista de Conservación de Suelos y Aguas, pág 427-433.
- Do Prado, L., & Da Veiga, M. 1992. Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. [Fao.org https://www.fao.org](https://www.fao.org). 12 de agosto de 2022.
- Gvozdenovich J.; Barbagelata P; López G. 2015. Erosión Hídrica - USLE/RUSLE Argentina - INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. <https://inta.gob.ar/documentos/erosion-hidrica-usle-rusle-argentina-herramienta-para-calculiar-perdida-de-suelo>. 17 de agosto de 2022.
- Gvozdenovich, J.; Pioto, C.; & Paporotti, O. 2015. Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. INTA EEA Paraná.
- Gvozdenovich, J.; Saluzzio M. & Pioto A. 2020. Evaluación del Estado de la Sistematización con terrazas en Entre Ríos. INTA Paraná. XXVII CACS, Corrientes.
- Irurtia, C.; & Mon, R. 2000. Impacto de la erosión hídrica en la producción de granos en Argiudoles típicos de la pampa ondulada. ISCO, Buenos Aires.
- Kinderknecht, L. 2017. Uso de la Metodología USLE - RUSLE sobre una cuenca del Distrito Espinillo, como herramienta de diagnóstico y



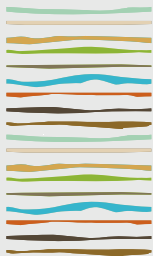
toma de decisión bajo un entorno SIG. Tesis de grado para acceder al título de Ingeniero Agrónomo de la FCA-UNER. Oro Verde - Entre Ríos - Argentina.

Renard, K. G. & Ferreira, V. A. 1993. Journal of Environmental Quality. Volumen 22. N° 3. <https://pubag.nal.usda.gov/download/6024/pdf>. 12 de agosto de 2022.

Rubio, J. 1989. Erosión del suelo y gestión ambiental en condiciones mediterráneas. In: Bellot J. (ed.). Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres. Zaragoza: CIHEAM, pág 323-326

Scotta, E.; Nani, L.; Conde, A.; Rojas, A.; Castañeira, H. & Paparotti, O. 1989. Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. Serie Didáctica N° 17.





ALTERNATIVAS DE MANEJO POSTERIOR A LA ROTACIÓN CON MANÍ EN EL SUDOESTE DE CÓRDOBA

Canale A.^{1*}, M. Toledo¹, J.C.Colazzo²

¹Agencia de Extensión Rural INTA Río Cuarto;

*Mitre 656 (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, canale.alejandra@inta.gob.ar;

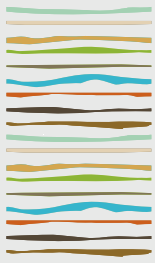
² EEA Villa Mercedes San Luis.

RESUMEN

El cultivo de maní es muy importante para el sudoeste de Córdoba por el agregado de valor y fuentes de trabajo que genera, pero también conflictivo, por las elevadas pérdidas por erosión ante manejos no adecuados y condiciones climáticas predisponentes. Por este motivo, el propósito de este trabajo fue desarrollar tecnologías de prevención y control de la erosión eólica en rotaciones con maní en campañas contrastantes climáticamente. Se realizaron dos experiencias en la zona rural de Río Cuarto durante el ciclo 2020/2021 y 2021/2022, en suelos clasificados como Haplustol típico de textura franca gruesa con distintas condiciones de humedad, la primera campaña más seca y la segunda más húmeda. Los tratamientos en la primera fueron centeno al voleo después del arrancado de maní (Cv) e incorporado post cosecha (Cs) y en el segundo, al voleo previo al arrancado con centeno (Cc) y con triticale (Ct). En ambas situaciones hubo un tercer tratamiento de barbecho (B). Las siembras fueron a principios de junio con densidades de 25 kg/ha⁻¹ y 40 kg/ha⁻¹ respectivamente y el secado químico de los cultivos usados de cobertura a principios de noviembre. En cada uno de los tratamientos se instalaron parcelas de medición de la erosión eólica usando colectores BSNE. Para evaluar el control por parte de los cultivos calculamos la erosión eólica relativa (ER) como el cociente entre el total de sedimentos recogidos en la parcela con cultivos (C) y el de la parcela barbecho (B) ($ER = E_C / E_B$). Al momento de recoger el sedimento determinamos la proporción de cobertura generado por centeno o triticale, utilizando el programa CobCalc. Las variables climáticas mensuales registradas desde julio a noviembre fueron precipitaciones (mm) y velocidad media del viento (Km/h), siendo para la primera campaña 156,4 mm con vientos importantes a partir de mediados de octubre con ráfagas superiores a 20 km/h y en la segunda 226 mm y velocidades de 15 km/h en octubre y por debajo durante el resto del período. La producción de biomasa aérea al momento del secado varió, en la primera campaña entre 777 (Cv) y 939 kg MS ha⁻¹ (Cs) y para la segunda 2200 (Ct) y 2600 kg MS ha⁻¹ (Cc). El % de cobertura fue 23% (Cv) y 27,5% (Cs) en el primer ciclo y 36,4% (Ct) y 40,6% (Cc) en el segundo, mientras que, ER fue del 77% y 72% para Cv y Cs, y 24,55 % y 37,7% para Ct y Cc. Para la zona de Río Cuarto el logro de un porcentaje mayor al 20% de cobertura permitió una erosión eólica relativa por encima del 72% al momento del secado, coincidiendo con el mes donde se registraron vientos con velocidades medias mensuales superior a 15 Km/h en ambas campañas. La siembra incorporada controló mejor la erosión durante octubre. También pudo observarse un efecto relacionado a las especies y densidades utilizadas en cuanto a la implantación y dinámica de cobertura que luego repercutió en el control de la erosión.

Palabras clave: erosión eólica, conservación, maní.





ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): I) REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN

Cantero, C.C.^{1,*}, G.V. García^{1,2}, S. Rodríguez¹, S.N. Tourn¹, G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata-Unidad Integrada Balcarce (FCA, UNMdP-UIB);

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

* Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Prov. de Buenos Aires, Argentina, claricant@gmail.com

RESUMEN

El monitoreo de la salud del suelo es imprescindible para la preservación de su capacidad productiva. Para ello, es útil contar con indicadores de salud edáfica (ISE) que permitan conocer el estado de salud del suelo rápida, sencilla y económicamente. Uno de ellos es el NAN, pero requiere de, aproximadamente, 10 días para obtener el resultado. Reducir el tiempo de incubación en la determinación de NAN sería deseable para volverlo más práctico, favoreciendo su adopción en monitoreos de rutina. Se hipotetiza que una reducción en el tiempo de incubación para determinar NAN permitiría obtener un indicador adecuado del determinado convencionalmente sin afectarlo como ISE. Se utilizaron muestras de un ensayo de rotaciones mixtas y sistemas de labranza sobre un Molisol. Los tratamientos fueron: pastura permanente (PP), agricultura continua bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) y rotaciones agricultura-pastura bajo SD y LC. Se determinó NAN con 7 (NAN7) (tradicional) y con 1 (NAN1), 2 (NAN2) y 3 (NAN3) días de incubación. Se evaluó la relación entre ellos y la correlación con el carbono (C) orgánico total (COT) y particulado (COP), C potencialmente mineralizable (C_o) y estabilidad de agregados (EA). Se observó que el NAN2 presentó la mayor asociación con NAN7 ($R^2=0,87$), seguido por NAN3 y NAN1. Por otro lado, hubo efecto significativo de los sistemas de cultivo (SC) sobre el NAN con todos los tiempos de incubación. En todos los casos, los mayores valores fueron presentados por PP, seguidos por los SC bajo SD (100SD y 75SD) y, finalmente, por aquellos bajo LC (100LC y 75LC). Las correlaciones entre NAN1, NAN2 y NAN3 con COT, COP, C_o y EA fueron aún más estrechas que las encontradas para NAN7. Se concluye que NAN2 podría ser un adecuado ISE y predictor de NAN7.

Palabras clave: indicador de salud edáfica, sistemas de cultivo, manejo sustentable.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural clave que brinda servicios ecosistémicos de los que depende la humanidad. La explotación irresponsable del suelo ha conducido a la fragilización de su salud (*i.e.* degradación), dificultando su funcionamiento (Lal, 2015). Preservarlo saludable es requisito para la sustentabilidad de la vida. Para ello, se necesitan herramientas como los ISE para evaluar a tiempo el efecto del uso y diseñar manejos que favorezcan su recuperación. Los ISE son parámetros del suelo que permiten detectar rápida, sencilla y económicamente vulneraciones de su salud. Por tanto, deben ser sensibles a las prácticas de manejo, fáciles de interpretar y relacionarse con otras propiedades edáficas (Doran *et al.*, 1996).

El NAN ha sido propuesto como ISE ya que es sensible a los cambios en el suelo producidos en el mediano a largo plazo por las prácticas de manejo (García *et al.*, 2016). Además, el NAN es fácil de interpretar, sencillo y económico de determinar, su medición requiere una incubación corta de 7 días (Keeney, 1982) y se relaciona con el nitrógeno (N) potencialmente mineralizable (Echeverría *et al.*, 2000). Por ello, hoy en día es utilizado como indicador de la capacidad del suelo de proveer N (Reussi Calvo *et al.*, 2018). A su vez, presenta escasa



variación estacional (Studdert *et al.*, 2015) y se correlaciona con propiedades del suelo relacionadas con su salud: COT y COP (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020), C extraíble en agua caliente (Rodríguez *et al.*, 2020), C oxidable con permanganato de potasio (Rodríguez *et al.*, 2022) y la EA (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020).

No obstante, la metodología de cuantificación del NAN requiere de, al menos, 10 días para obtener el dato (7 días de incubación más el tiempo de acondicionamiento de la muestra). Sería deseable reducir ese tiempo para facilitar la adopción del NAN como ISE por los laboratorios de servicio favoreciendo los monitoreos de salud. Se hipotetiza que la reducción del tiempo de incubación del suelo para determinar NAN permitiría obtener un indicador adecuado del determinado convencionalmente sin afectar su desempeño como ISE.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo utilizadas fueron tomadas en julio de 2014 de un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas y sistemas de labranza iniciado en 1976, en la FCA, UNMdP-UIB. El suelo del sitio experimental es un complejo de Argiudol Típico fino, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 2014) (Serie Mar del Plata, INTA, 1979) y Argiudol Petrocálcico fino, illítico, térmico (Soil Survey Staff, 2014) (Serie Balcarce, INTA, 1979). El complejo presenta una textura superficial franca, con un pH de 5,4 y está ubicado en una posición del relieve con menos de 2% de pendiente.

El diseño experimental del ensayo es en bloques completos aleatorizados. El factor de tratamiento es SC con cinco niveles: 1) agricultura permanente bajo SD (100SD), 2) agricultura permanente bajo LC (100LC), 3) 75% del tiempo (nueve años) bajo agricultura con SD y 25% del tiempo (tres años) bajo pastura (75SD), 4) 75% del tiempo (nueve años) bajo agricultura con LC y 25% del tiempo (3 años) bajo pastura (75LC), y 5) PP. La secuencia de cultivos durante los períodos de agricultura comprendió maíz (*Zea mays* L.) - soja (*Glycine max* (L.) Merr.) - trigo (*Triticum aestivum* L.). La PP y las pasturas de los tratamientos 75SD y 75LC fueron polifíticas con base de gramíneas. Todos los cultivos y las pasturas fueron fertilizados con fósforo para garantizar la suficiencia del nutriente. Además, los cultivos de cosecha fueron fertilizados con 60 kg N ha⁻¹. Al momento de la toma de las muestras, los tratamientos 75SD y 75LC se encontraban en el quinto año de agricultura luego de un período de pastura. Más información sobre el ensayo en Tourn *et al.* (2019).

Las muestras de suelo fueron tomadas con pala a capacidad de campo a las profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm y, en fresco, se pasaron cuidadosamente por un tamiz de 8 mm de abertura de malla. Luego fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire a 50°C hasta peso constante y almacenadas. Las muestras fueron molidas hasta pasar por tamiz de 2 mm de abertura de malla retirando los residuos identificables sobre el tamiz.

El NAN se obtuvo según la metodología descrita por Keeney (1982). Para ello, 5 g de suelo seco se incubaron en anaerobiosis a 40°C y el N de amonio (N-NH₄⁺) mineralizado se recuperó mediante destilación por arrastre con vapor y cuantificación por titulación (Keeney & Nelson, 1982). A dicha concentración de N-NH₄⁺ se le restó el contenido de N-NH₄⁺ inicial del suelo (Keeney & Nelson, 1982). Los tiempos de incubación fueron 7 (NAN7) (convencional, Keeney, 1982), 1 (NAN1), 2 (NAN2) y 3 (NAN3) días. Se analizaron los datos correspondientes a la capa arable (0-20 cm) obtenidos mediante el promedio ponderado por espesor de aquéllos obtenidos para 0-5 cm y 5-20 cm. Se contó con información de COT, COP y EA expresada como masa remanente de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA) (Tourn *et al.*, 2019) y C₀ (Tourn *et al.*, 2021) a 0-20 cm.

Se realizó el análisis estadístico (análisis de regresión, análisis de correlación y análisis de varianza) de los datos con el programa estadístico R (R Core Team, 2018) para definir cuál fue el tiempo de incubación más conveniente para ser utilizado como ISE. El análisis constó de: i) evaluar la asociación entre NAN7 y NAN1, NAN2 y NAN3, ii) evaluar el comportamiento del NAN determinado con diferentes tiempos de incubación para distinguir los efectos de los distintos SC, iii) evaluar la relación entre el NAN determinado con diferentes tiempos de incubación con COT, COP, C₀ y EA. El nivel de significación fue de 0,05 y las medias fueron comparadas mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores máximos, promedios y mínimos de NAN7, NAN1, NAN2, NAN3, COT, COP, C₀ y masaMA.

Tabla 1: Valores máximo, promedio y mínimo a 0-20 cm para nitrógeno mineralizado en anaerobiosis con 7, 1, 2 y 3 días de incubación (NAN7, NAN1, NAN2 y NAN3, respectivamente), carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y potencialmente mineralizable (C₀) y masa de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA).

Valor	NAN7	NAN1	NAN2	NAN3	COT	COP	C ₀	masaMA
	----- mg kg ⁻¹ -----				----- g kg ⁻¹ -----		mg kg ⁻¹	g 100 g ⁻¹
Máximo	97,1	40,8	68,0	73,9	35,02	11,1	666,1	33,4
Promedio	66,3	28,5	43,5	47,3	29,83	6,46	513,0	12,7
Mínimo	45,0	21,0	29,3	30,3	26,29	3,02	384,1	0,72

En la Figura 1 se presenta la relación entre el NAN7 y NAN1, NAN2 y NAN3 de la capa arable (0-20 cm). Se observó que con los tres tiempos de incubación reducidos se lograron valores de R² elevados (0,72-0,87). El NAN1 presentó la menor capacidad predictiva de NAN7 (R²=0,72). Esto se evidencia mayormente a valores bajos de NAN1 que se relacionaron con un amplio rango de valores de NAN7. Por otro lado, el NAN2 se destacó por presentar una asociación más estrecha con NAN7 con un R² de 0,87 y, por lo tanto, una mayor capacidad predictiva. Finalmente, el NAN3 presentó una capacidad predictiva intermedia entre NAN1 y NAN2. Estos resultados indican que la reducción en el tiempo de incubación permite obtener valores de NAN útiles para predecir los valores de NAN7. Así, a partir de los valores de NAN7 predichos se podrían utilizar los modelos desarrollados para estimar la capacidad de provisión de N del suelo (Echeverría *et al.*, 2000) y ajustar las dosis de fertilización de maíz y trigo (Reussi Calvo *et al.*, 2013, 2018; Orcellet *et al.*, 2017). Asimismo, dado el buen comportamiento de NAN7 como ISE (Dominguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016, 2020; Rivero *et al.*, 2020), los resultados mostrados en la Figura 1 sugieren que NAN1, NAN3 y, especialmente, NAN2, también podrían ser adecuados ISE.

En la Figura 2 se presentan los niveles de NAN1, NAN2, NAN3 y NAN7 en la capa arable para cada SC. Se observó efecto significativo del SC sobre NAN con todos los tiempos de incubación analizados. Para todos ellos, PP presentó valores significativamente mayores de NAN. Bajo PP hay presencia de raíces vivas en el suelo durante todo el año, altos aportes de material vegetal al suelo y bajo disturbio que acelere la mineralización de la materia orgánica, lo que favorece su acumulación y el incremento de sus fracciones lábiles (Tourn *et al.*, 2019). Estas últimas se encuentran asociadas a la capacidad del suelo de proveer N por mineralización (Dominguez *et al.*, 2016), lo cual se ve reflejado en el NAN.

En general, los valores de NAN para PP fueron seguidos por los de los SC bajo SD (100SD y 75SD) y, finalmente, por aquéllos bajo LC (100LC y 75LC) (Figura 2). Sin embargo, en algunos casos las diferencias entre sistemas de labranza no fueron significativas. En coincidencia con lo indicado en la bibliografía para suelos del sudeste bonaerense (Dominguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016; Rivero *et al.*, 2020), NAN7 reflejó los cambios producidos por las prácticas de manejo confirmando, una vez más, ser un adecuado ISE. Asimismo, NAN1, NAN2 y NAN3 presentaron un comportamiento similar a NAN7, haciéndolos también adecuadas herramientas para monitorear el estado de salud de los suelos.



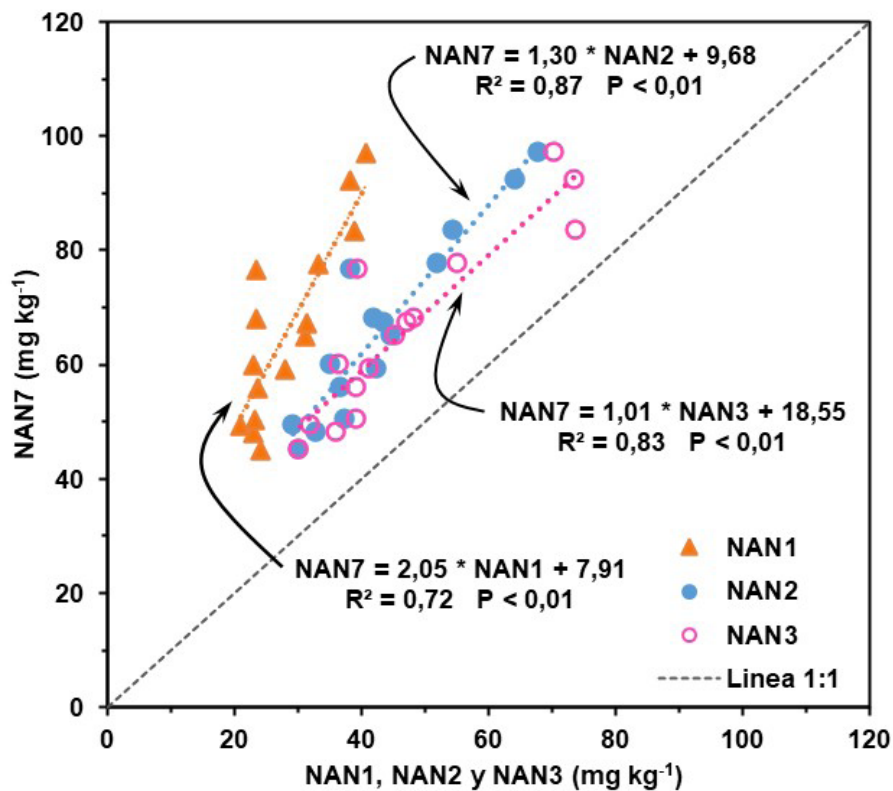


Figura 1: Relación entre el nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) con 7 días de incubación (NAN7) en función de NAN determinado con tiempos de incubación de 1, 2 y 3 días (NAN1, NAN2 y NAN3, respectivamente) a 0–20 cm.

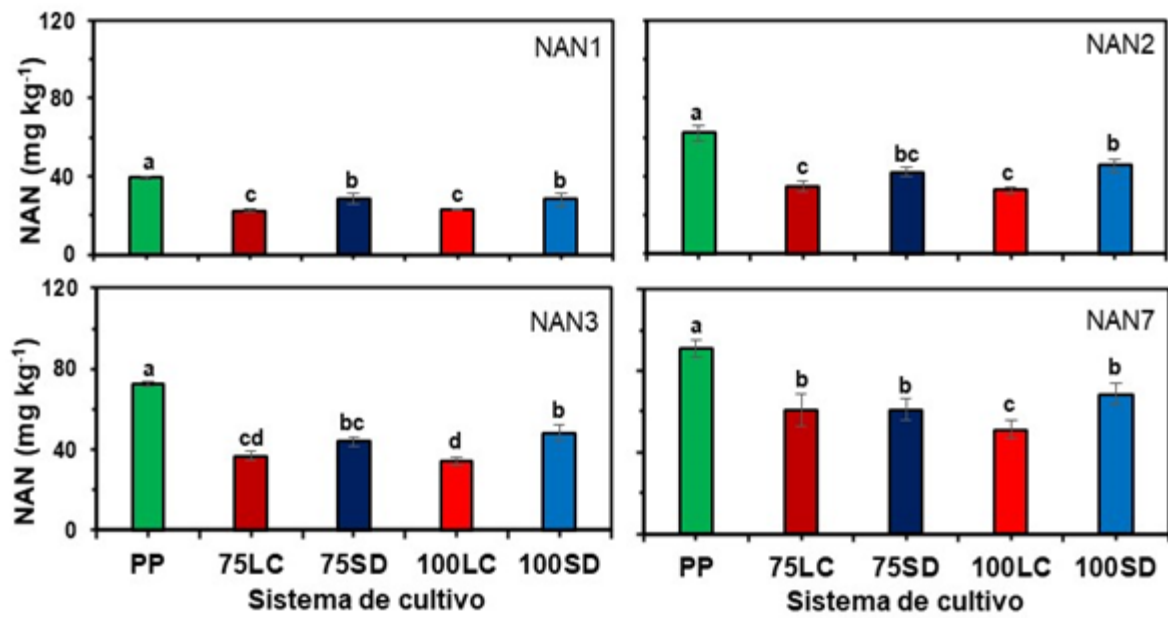


Figura 2: Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) con diferentes tiempos de incubación, 1, 2, 3, y 7 días (NAN1, NAN2, NAN3 y NAN7, respectivamente). Los niveles de NAN corresponden a diferentes sistemas de cultivo que se encuentran descritos en Materiales y Métodos. Las columnas acompañadas por la misma letra en cada gráfico indica que las medias no difieren significativamente ($P < 0,05$).

Se observó una estrecha relación entre NAN7 y COT y NAN7 y COP (Tabla 2). Estos resultados son coincidentes con los reportados por otros autores (García *et al.*, 2016, 2020). Asimismo, NAN7 se relacionó con C_0 y con la EA, tal como habían informado Tourn *et al.* (2021) y Domínguez *et al.* (2016), García *et al.* (2020) y Rivero *et al.* (2020), respectivamente. En cuanto a NAN1, NAN2 y NAN3, se comprobó que sus asociacio-



nes con COT, COP, EA y C_0 fueron más estrechas que las de estas variables con NAN7 (Tabla 2). Es decir, la disminución en los tiempos de incubación produjo, en todos los casos, aumentos en el grado de asociación (coeficiente de correlación de Pearson) entre el NAN y las variables evaluadas (Tabla 2). Las mejores asociaciones mencionadas permitirían generar modelos de predicción precisos de las variables asociadas al NAN con tiempo de incubación reducido. Desde el punto de vista operativo, la utilización de NAN con menor tiempo de incubación como predictor de dichas variables, disminuiría los tiempos necesarios para generar un diagnóstico de salud del suelo desde el punto de vista físico, bioquímico y microbiológico.

Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las variables: nitrógeno mineralizado en anaerobiosis con 7, 1, 2 y 3 días de incubación (NAN7, NAN1, NAN2 y NAN3, respectivamente) con: NAN7, carbono orgánico total (COT), particulado (COP), potencialmente mineralizable (C_0) y masa de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA) a 0-20 cm.

Variables	NAN7	NAN1	NAN2	NAN3
	----- mg kg ⁻¹ -----			
NAN7 (mg kg ⁻¹)	-	0,85	0,93	0,91
COT (g kg ⁻¹)	0,66	0,85	0,82	0,81
COP (g kg ⁻¹)	0,69	0,91	0,84	0,85
C_0 (mg kg ⁻¹)	0,86	0,88	0,92	0,96
masaMA (g 100g ⁻¹)	0,82	0,85	0,93	0,93

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo apoyan la hipótesis planteada. Se demostró que NAN1, NAN2 y NAN3 cumplen con las condiciones para ser utilizados como ISE. A su vez, NAN2 y NAN3 demostraron ser adecuados predictores de NAN7 y mostraron elevados coeficientes de correlación con el resto de las variables edáficas evaluadas. Sin embargo, NAN2 permitiría tener los resultados un día antes de NAN3. Por lo expuesto, se concluye que el NAN2 podría ser un adecuado ISE que permitiría agilizar en mayor medida los diagnósticos de salud del suelo en monitoreos de rutina, facilitando la protección y cuidado de un recurso natural clave para la vida. Sin embargo, sería deseable confirmar este resultado estudiando un rango más amplio de condiciones edafoclimáticas y de manejo.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este trabajo forma parte de la Tesis de Ingeniera Agrónoma de la primera autora quien realizó su trabajo gozando de una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional. Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Universidad Nacional de Mar del Plata (proyectos AGR633/20 y AGR653/21) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (RIST I-503).

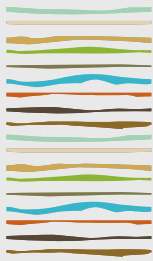
BIBLIOGRAFÍA

- Domínguez, GF; GV García; GA Studdert; MA Agostini; SN Tourn & MN Domingo. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil quality/health indicator? Spanish J. Soil Sci. 6:82-97. DOI: 10.3232/SJSS.2016.V6.N2.01.
- Doran, JW; M Sarrantonio & MA Liebig. 1996. Soil health and Sustainability. Adv. Agron. 56:1-54.
- Echeverría, HE; NF San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Cienc. Suelo 18:9-16.
- García, GV; GA Studdert; MN Domingo & GF Domínguez. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. Cienc. Suelo 34:127-138.
- García, GV; N Wyngaard; NI Reussi Calvo; S San Martino; F Covacevich & GA Studdert. 2020. Soil survey reveals a positive relationship between aggregate stability and anaerobic mineralizable nitrogen. Ecol. Ind., 117:106640. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106640.
- INTA. 1979. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. Hoja 3757-31, Balcarce 76 p.



- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* (2nd ed.). Madison, WI: ASA.SSSA. Agronomy Monograph; 9, pp. 643-698.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* (2nd ed.). Madison, WI: ASA, SSSA. Agronomy Monograph; 9. pp. 643-698.
- Lal, R. 2015. The soil-peace nexus: our common future. *Soil Sci. Plant Nut.* 1-13. DOI: 10.1080/00380768.2015.1065166.
- Orcellet, JM; NI Reussi-Calvo; HR Sainz-Rozas; N Wyngaard & HE Echeverría. 2017. Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agron J* 109, 291-298. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0115>.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing (v. 3.5.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. Último acceso febrero de 2022.
- Reussi Calvo, NI; H Sainz-Rozas; HE Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105:1-8. DOI: 10.2134/agronj2012.0287.
- Reussi Calvo, NI; N Wyngaard; JM Orcellet; HR Sainz-Rozas & HE Echeverría. 2018. Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 82:502-508. DOI: 10.2136/sssaj2017.11.0395.
- Rivero, C; SN Tourn; GV García; CC Videla; GF Domínguez & GA Studdert. 2020. Nitrogen mineralized in anaerobiosis as indicator of soil aggregate stability. *Agron. J.* 112:592-607. DOI: 10.1002/agj2.20056.
- Rodriguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2020. Carbono extraíble en agua caliente como indicador de salud de molisoles del Sudeste Bonaerense. *Cienc. Suelo* 38:149-161.
- Rodriguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2022. Permanganate oxidizable carbon, new soil health indicator for mollisols of the Southeastern Argentinean Pampas? *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 53:2029-2044. DOI: 10.1080/00103624.2022.2070631.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to soil taxonomy.* 12th ed. Washington, DC, EEUU: USDA, Natural Resources Conservation Service. 372 p.
- Studdert, GA; GF Domínguez; MC Zagame & JC Carabaca. 2015. Variación estacional de carbono orgánico particulado y nitrógeno anaeróbico. *Cienc. Suelo* 33:65-78.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411. DOI: 10.1016/j.still.2019.104411.
- Tourn, SN; C Rivero; GV García; CC Videla & GA Studdert. 2021. Dióxido de carbono emitido en incubaciones cortas como indicador de salud edáfica. *Actas XI Congreso de Uso y Manejo del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, diciembre de 2021. Libro electrónico, pp. 146.*





ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): II) REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Cantero, C.C.^{1,*}, G.V. García^{1,2}, S. Rodríguez¹, S.N. Tourn¹, G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata-Unidad Integrada Balcarce (FCA, UNMdP-UIB);

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

* Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Prov. de Buenos Aires, Argentina, claricant@gmail.com

RESUMEN

La preservación de la salud del suelo requiere de monitoreos periódicos. Herramientas que permitan analizarla rápida, sencilla y económicamente como los indicadores de salud del suelo (ISE) resultan imprescindibles. El NAN es un buen ISE de cuantificación simple, pero sus resultados muestran variabilidad entre repeticiones de la determinación. Sería deseable reducir la variabilidad para obtener datos más precisos y exactos. Se hipotetiza que la determinación de NAN con partículas de suelo más pequeñas permitirá obtener un indicador confiable del determinado convencionalmente y reducir la variabilidad, mejorando su desempeño como ISE. Las muestras utilizadas provienen de un ensayo de rotaciones mixtas y sistemas de labranza sobre un Molisol. Los tratamientos fueron: agricultura continua bajo siembra directa (SD) y bajo labranza convencional (LC), rotaciones agricultura-pastura bajo SD y LC y pastura permanente (PP). Se determinó NAN con 0,5 mm (NAN-0,5) y 2 mm (NAN-2) de diámetro de partículas y cinco repeticiones de laboratorio por muestra. Se evaluó la asociación entre NAN-0,5 y NAN-2, el comportamiento de ambos bajo los diferentes sistemas de cultivo y su relación con el carbono (C) orgánico total (COT), particulado (COP) y potencialmente mineralizable (C_p) y la estabilidad de agregados (EA). Además, se evaluó su variabilidad de laboratorio. Se observó que los valores obtenidos fueron mayores para NAN-0,5 que para NAN-2. La relación entre NAN-2 y NAN-0,5 presentó un $R^2=0,86$. Ambos NAN reflejaron los efectos de las prácticas de manejo del mismo modo, y su asociación con las demás variables evaluadas no difirió. El rango de coeficientes de variación fue de entre 6,8% y 17,5% para NAN-2 y 6,7% y 27,9% para NAN-0,5. Es decir, la reducción en el tamaño de partícula incrementó la variabilidad de las repeticiones de laboratorio. Se concluye que NAN-0,5, si bien permitiría predecir NAN-2, es menos preciso para ser utilizado como ISE.

Palabras clave: precisión, indicador de salud edáfica, sistemas de cultivo

INTRODUCCIÓN

El uso agrícola con prácticas de manejo inadecuadas ha llevado a una disminución de la funcionalidad del suelo en el ecosistema, es decir, de la salud edáfica (Lal, 2019). Es necesario monitorear el nivel de degradación para planificar prácticas de manejo adecuadas para revertirla. Esto puede ser realizado a través de ISE que son parámetros del suelo sensibles al manejo, fáciles de interpretar, sencillos y económicos de determinar, que se relacionan con otras propiedades edáficas (Bünemann *et al.*, 2018).

El NAN (Keeney, 1982), ha sido propuesto como ISE para suelos del Sudeste Bonaerense (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020). El NAN es indicador de la capacidad del suelo de proveer nitrógeno (N) y azufre (S) ya que se relaciona con el N (Echeverría *et al.*, 2000) y el S (Carciochi *et al.*, 2018) potencialmente mineralizables y se lo utiliza como herramienta de apoyo al diagnóstico de fertilidad nitrogenada (Reussi Calvo *et al.*, 2018). Asimismo, se ha demostrado sensibilidad a los cambios provocados por el uso



(García *et al.*, 2016, 2020) y su relación con los contenidos de COT y COP, EA (García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020) y otras fracciones de C del suelo (Rodríguez *et al.*, 2020, 2022; Tourn *et al.*, 2021).

Si bien la cuantificación del NAN es simple, en algunas condiciones (*e.g.* aquéllas en que en el suelo haya gran cantidad de restos vegetales parcialmente descompuestos), los resultados de NAN muestran variabilidad entre repeticiones de la determinación (García, G.V., com. pers.). Esto genera resultados poco precisos y/o no exactos que afectan la confiabilidad de los valores de NAN. La reducción del tamaño de partícula del suelo a analizar permitiría una mejor homogenización de la muestra y el retiro de mayor cantidad de restos vegetales y, así, la reducción de la variabilidad haciendo del NAN una herramienta aún más confiable para su adopción como ISE. Se hipotetiza que la determinación NAN con partículas más pequeñas (*i.e.* < 0,5 mm) permitirá reducir la variabilidad y obtener un indicador confiable del NAN determinado convencionalmente (*i.e.* < 2 mm) y mejorará su desempeño como ISE.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo utilizadas fueron tomadas en julio de 2014 de un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas y sistemas de labranza iniciado en 1976, en la FCA, UNMdP-UIB. El suelo del sitio experimental es un complejo de Argiudol Típico fino, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 2014) (Serie Mar del Plata, INTA, 1979) y Argiudol Petrocálcico fino, illítico, térmico (Soil Survey Staff, 2014) (Serie Balcarce, INTA, 1979). El complejo presenta una textura superficial franca, con un pH de 5,4 y está ubicado en una posición del relieve con menos de 2% de pendiente.

El diseño experimental del ensayo es en bloques completos aleatorizados. El factor de tratamiento que se analizará es "Sistema de Cultivo" (SC) con cinco niveles: 1) agricultura permanente bajo SD (100SD), 2) agricultura permanente bajo LC (100LC), 3) 75% del tiempo (nueve años) bajo agricultura con SD y 25% del tiempo (tres años) bajo pastura (75SD), 4) 75% del tiempo (nueve años) bajo agricultura con LC y 25% del tiempo (3 años) bajo pastura (75LC), y 5) PP. La secuencia de cultivos durante los períodos de agricultura comprendió maíz (*Zea mays* L.) - soja (*Glycine max* (L.) Merr.) - trigo (*Triticum aestivum* L.). La PP y las pasturas de los tratamientos 75SD y 75LC fueron polifíticas con base de gramíneas. Todos los cultivos y las pasturas fueron fertilizados con fósforo para garantizar la suficiencia del nutriente. Además, los cultivos de cosecha fueron fertilizados con 60 kg N ha⁻¹. Al momento de la toma de las muestras, los tratamientos 75SD y 75LC se encontraban en el quinto año de agricultura luego de un período de pastura. Más información sobre el ensayo en Tourn *et al.* (2019).

Las muestras de suelo fueron tomadas con pala a capacidad de campo a las profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm y, en fresco, se pasaron cuidadosamente por un tamiz de 8 mm de abertura de malla. Luego fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire a 50°C hasta peso constante y almacenadas. Una alícuota de cada muestra fue molida con mortero hasta pasar por tamiz de 2 mm de abertura de malla, mientras que otra alícuota fue molida hasta pasar por tamiz de 0,5 mm. En ambos casos, se retiraron los residuos identificables que quedaban sobre cada tamiz.

El NAN se obtuvo según la metodología descrita por Keeney (1982). Para ello 5 g de suelo seco molido a 2 mm y a 0,5 mm se incubó en anaerobiosis a 40°C por 7 d y el N de amonio (N-NH₄⁺) mineralizado se recuperó mediante destilación por arrastre con vapor y cuantificación por titulación (Keeney & Nelson, 1982). A dicha concentración de N-NH₄⁺ se le restó el contenido de N-NH₄⁺ inicial del suelo para ambos tamaños de partícula (Keeney & Nelson, 1982). A los efectos de evaluar la variabilidad de laboratorio se hicieron cinco repeticiones de las determinaciones de NAN-2 y NAN-0,5 para cada muestra. Para evaluar el comportamiento de NAN-0,5 y NAN-2 como ISE, se obtuvo un único dato de cada una de dichas variables por cada unidad experimental, seleccionando el valor promedio de tres de las cinco repeticiones de laboratorio que arrojó el menor coeficiente de variación porcentual. Se analizaron los datos correspondientes a la capa arable (0-20 cm) obtenidos mediante el promedio ponderado por espesor de aquéllos obtenidos para 0-5 cm y 5-20 cm. Se contó con información de COT, COP y EA expresada como masa remanente de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA) (Tourn *et al.*, 2019) y de C₀ (Tourn *et al.*, 2021) a 0-20 cm. Se realizó el análisis estadístico (análisis de regresión, análisis de correlación y análisis de varianza) de los datos para definir qué tamaño de partícula es el más conveniente para ser utilizado como ISE. El análisis



constó de: i) evaluar la asociación entre NAN-2 y NAN-0,5, ii) evaluar el comportamiento del NAN determinado con ambos tamaños de partícula para distinguir los efectos de los distintos SC, iii) evaluar la relación entre el NAN-2 y NAN-0,5 con COT, COP, C₀ y EA. Además, para evaluar la variabilidad de laboratorio del NAN obtenido con ambos tamaños de partícula se aplicó el test de Levene de comparación de varianzas. Se utilizó el programa estadístico R (R Core Team, 2018). El nivel de significación fue de 0,05 y las medias fueron comparadas mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores máximos, promedios y mínimos de NAN-2, NAN-0,5, COT, COP, C₀ y masaMA.

Tabla 1: Valores máximo, promedio y mínimo en 0-20 cm para nitrógeno mineralizado en anaerobiosis para partículas menores que 2 mm (NAN-2) y que 0,5 mm (NAN-0,5), carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y potencialmente mineralizable (C₀) y masa de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA).

	NAN-2	NAN-0,5	COT	COP	C ₀	masaMA
	mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	g 100 g ⁻¹
Máximo	97,1	120,6	35,0	11,1	666,1	33,4
Promedio	66,2	76,9	29,8	6,5	513,0	12,7
Mínimo	45,0	53,3	26,3	3,0	384,1	0,7

Los valores máximo, promedio y mínimo fueron más elevados para NAN-0,5 que para NAN-2. En las partículas de mayor tamaño, algunas fracciones orgánicas lábiles estarían menos accesibles para la acción microbiana y, por tanto, no llegarían a mineralizarse en el período de incubación y generarían menores valores de NAN (Tabla1).

En la Figura 1 se presenta la relación entre el NAN-2 y NAN-0,5 de la capa arable (0-20 cm). Se observó un R²=0,86. La reducción en el tamaño de partícula dio origen a valores de NAN que, más allá de ser mayores, permiten predecir NAN-2 con un elevado grado de confiabilidad. De este modo, si fuera ventajosa la reducción del tamaño de partícula para obtener NAN-0,5, los modelos desarrollados con el uso de NAN-2 para estimar directa o indirectamente la capacidad de provisión de N del suelo (Echeverría *et al.*, 2000; Reussi Calvo *et al.*, 2018; Orcellet *et al.*, 2017) podrían ser igualmente utilizados mediante la predicción de los valores de NAN-2. Por otro lado, siendo que se ha demostrado el buen comportamiento de NAN-2 como ISE (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016, 2020; Rivero *et al.*, 2020), los resultados mostrados sugieren que NAN-0,5 también podría ser un adecuado ISE.

En la Figura 2 se presentan los niveles de NAN con ambos tamaños de partícula en la capa arable bajo los diferentes SC analizados. La sensibilidad al efecto de los SC no difirió entre NAN-2 y NAN-0,5 ya que ambos reflejaron los efectos de las prácticas de manejo del mismo modo. Como era esperable (García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020), los SC bajo PP presentaron valores significativamente mayores de NAN para ambos tamaños de partícula. En contraposición, como también era esperable (García *et al.*, 2016; Rivero *et al.*, 2020), 100LC presentó valores significativamente más bajos de NAN. Los SC bajo SD y 75LC presentaron valores de NAN intermedios. Las diferencias entre sistemas de labranza no fueron significativas con una historia corta de cultivos agrícolas (*i.e.* 75SD vs. 75LC), pero tanto NAN-2 como NAN-0,5 bajo agricultura continua prolongada (*i.e.* 100SD vs. 100LC) fueron significativamente más elevados bajo SD.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables: NAN-2 y NAN-0,5 con: NAN-2, COT, COP, C₀ y masaMA en 0-20 cm. En todos los casos los niveles de asociación encontrados fueron elevados. No obstante, los grados de asociación tanto de NAN-2 cuanto de NAN-0,5 con COT y COP fueron más bajos que los informados por otros autores para NAN-2 (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2020; Rivero *et al.*, 2020) (Tabla 2). Por otro lado, los coeficientes de correlación de Pearson de ambos NAN



con las demás variables no difirieron entre sí. Esto sugiere que tanto NAN-2 cuanto NAN-0,5 tienen similar desempeño como ISE y podrían utilizarse indistintamente como tal sin que se vea afectada su grado de asociación con otras variables indicadoras del estado de salud del suelo.

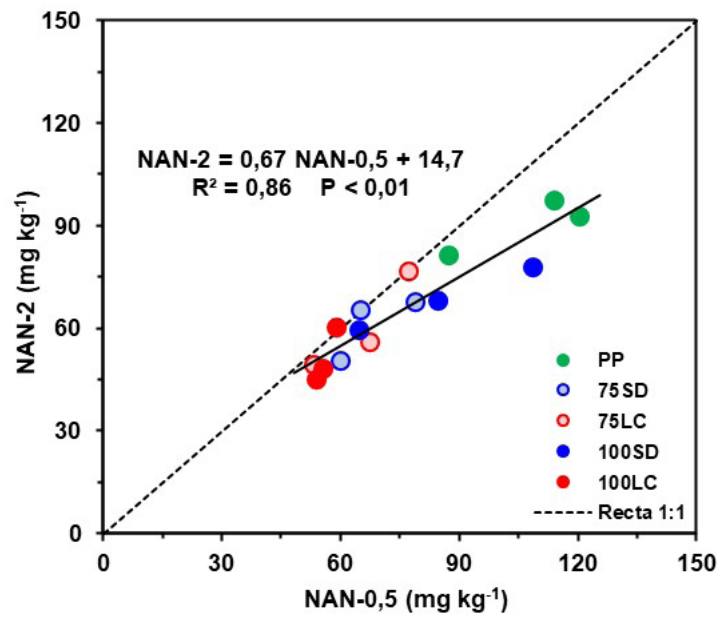


Figura 1: Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) para partículas menores que 2 mm (NAN-2) en función del NAN para partículas menores que 0,5 mm (NAN-0,5) en 0–20 cm. La identificación de los tratamientos en Materiales y Métodos.

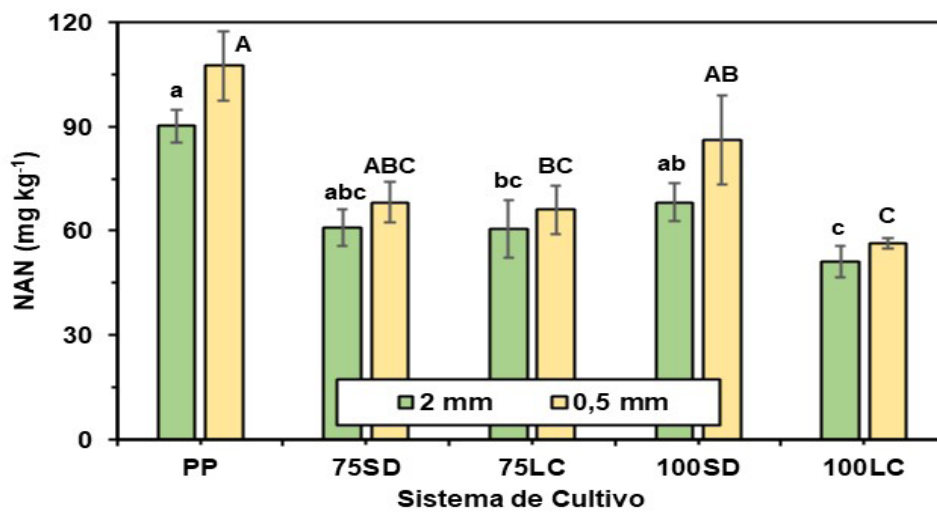


Figura 2: Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) con dos tamaños de partícula. Los niveles de NAN corresponden a diferentes sistemas de cultivo que se encuentran descritos en Materiales y Métodos. Las columnas acompañadas por las mismas letras minúsculas (NAN para 2 mm) o mayúsculas (NAN para 0,5 mm), no difieren significativamente ($P < 0,05$).



Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables: nitrógeno mineralizado en anaerobiosis para partículas menores que 2 mm (NAN-2) y para partículas menores que 0,5 mm (NAN-0,5) con: NAN-2, carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y potencialmente mineralizable (C_0) y masa de macroagregados luego de tamizado con mojado por inmersión (masaMA) a 0-20 cm.

	NAN-2 (mg kg^{-1})	NAN-0,5 (mg kg^{-1})
NAN-2 (mg kg^{-1})	-	0,93
COT (g kg^{-1})	0,66	0,64
COP (g kg^{-1})	0,68	0,73
C_0 (mg kg^{-1})	0,85	0,84
masaMA ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,81	0,80

Las varianzas de las cinco repeticiones de laboratorio por cada muestra tuvieron valores máximo, promedio y mínimo de 137,1, 67,2 y 17,1 (mg kg^{-1})², respectivamente, para NAN-2, mientras que para NAN-0,5 fueron 310,5, 124,0 y 42,1 (mg kg^{-1})², respectivamente. Esto significa un rango de coeficientes de variación de entre 17,5% y 6,8% para NAN-2 y de 27,9% y 6,7% para NAN-0,5. Esto indica que, a diferencia de lo hipotetizado, la reducción del tamaño de partícula no sólo no provocó una reducción de la variabilidad en la determinación de NAN, sino que la incrementó. No obstante, la prueba de homogeneidad de varianzas indicó que las varianzas de ambos NAN a nivel general del experimento, a nivel de cada SC y a nivel de cada unidad experimental, no fueron significativamente diferentes entre NAN-2 y NAN-0,5.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo no apoyan la hipótesis planteada. Si bien NAN-0,5 sí fue un buen predictor de NAN-2 y demostró ser una variable adecuada para ser utilizada como ISE, la reducción en el tamaño de partícula llevó a una mayor variabilidad de las repeticiones del análisis de las muestras. Por lo tanto, se concluye que NAN-0,5 es menos confiable que NAN-2 para ser utilizado como ISE. Sin embargo, sería deseable confirmar este resultado estudiando un rango más amplio de condiciones edafoclimáticas y de manejo.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este trabajo forma parte de la Tesis de Ingeniera Agrónoma de la primera autora quien realizó su trabajo gozando de una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional. Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Universidad Nacional de Mar del Plata (proyectos AGR633/20 y AGR653/21) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (RIST I-503).

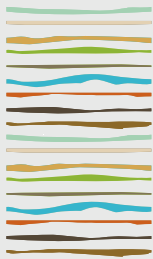
BIBLIOGRAFÍA

- Bünemann EK; G Bongiorno; Z Bai; RE Creamer; G de Deyn; R de Goede; L Fleskens; V Geissen; TW Kuyper; P Mäder; M Pulleman; W Sukkel; JW van Groenigen & L Brussaard. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biol Biochem.* 120:105-125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
- Carciochi, WD; N Wyngaard; GA Divito; ML Cabrera; NI Reussi Calvo & HE Echeverría 2018. A comparison of indexes to estimate corn S uptake and S mineralization in the field. *Biol. Fertility Soils* 54:349-362. DOI: 10.1007/s00374-018-1266-9.
- Domínguez, GF; GV García; GA Studdert; MA Agostini; SN Tourn & MN Domingo. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil quality/health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6:82-97. DOI: 10.3232/SJSS.2016.V6.N2.01.
- Echeverría, HE; NF San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Cienc. Suelo* 18:9-16.
- García, GV; GA Studdert; MN Domingo & GF Domínguez. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. *Cienc. Suelo* 34:127-138.



- García, GV; N Wyngaard; NI Reussi Calvo; S San Martino; F Covacevich & GA Studdert. 2020. Soil survey reveals a positive relationship between aggregate stability and anaerobic mineralizable nitrogen. *Ecol. Ind.* 117:106640. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106640.
- INTA. 1979. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. Hoja 3757-31, Balcarce 76 p.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* (2nd ed.). Madison, WI: ASA, SSSA. Agronomy Monograph; 9, pp. 643-698.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* (2nd ed.). Madison, WI: ASA, SSSA. Agronomy Monograph; 9. pp. 643-698.
- Lal, R. 2019. Eco-intensification through soil carbon sequestration: Harnessing ecosystem services and advancing sustainable development goals. *J. Soil Water Conserv.* 74:55A-61A. DOI: 10.2489/jswc.74.3.55A.
- Orcellet, JM; NI Reussi-Calvo; HR Sainz-Rozas; N Wyngaard & HE Echeverría. 2017. Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agron J* 109, 291-298. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0115>.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing (v. 3.5.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. Último acceso febrero de 2022.
- Reussi Calvo, NI; N Wyngaard; JM Orcellet; HR Sainz-Rozas & HE Echeverría. 2018. Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 82:502-508. DOI: 10.2136/sssaj2017.11.0395.
- Rivero, C; SN Tourn; GV García; CC Videla; GF Domínguez & GA Studdert. 2020. Nitrogen mineralized in anaerobiosis as indicator of soil aggregate stability. *Agron. J.* 112:592-607. DOI: 10.1002/agj2.20056.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2020. Carbono extraíble en agua caliente como indicador de salud de molisoles del Sudeste Bonaerense. *Cienc. Suelo* 38:149-161.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2022. Permanganate oxidizable carbon, new soil health indicator for mollisols of the Southeastern Argentinean Pampas? *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 53:2029-2044. DOI: 10.1080/00103624.2022.2070631.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to soil taxonomy.* 12th ed. Washington, DC, EEUU: USDA, Natural Resources Conservation Service. 372 p.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411. DOI: 10.1016/j.still.2019.104411.
- Tourn, SN; C Rivero; GV García; CC Videla & GA Studdert. 2021. Dióxido de carbono emitido en incubaciones cortas como indicador de salud edáfica. *Actas XI Congreso de Uso y Manejo del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, diciembre de 2021.* Libro electrónico, pp. 146.





EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES POR EROSIÓN HÍDRICA EN MONOCULTIVO DE SOJA

Capurro, J.E.^{1,*} y S. Montico²

¹ AER INTA Cañada de Gómez;

² Cátedra Manejo de Tierras. FCA Zavalla, UNR;

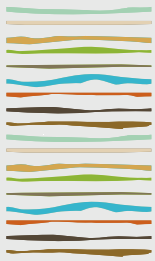
* Lavalle 1466, (2500) Cañada de Gómez, Prov. de Santa Fe, capurro.julia@inta.gob.ar

RESUMEN

Se investigó la hipótesis de la mitigación de la erosión hídrica por la inclusión de cultivos de cobertura (CC) de invierno, intercalados en una secuencia soja-soja (*Glycine max L.*) en ambientes erosionables. El objetivo fue medir el efecto de una mezcla de CC sobre las pérdidas de materia orgánica y nutrientes, y determinar la variación de pH y de las distintas fracciones granulométricas contenidas en los sedimentos erosionados, respecto del espesor 0-5 centímetros del suelo de origen. Se implantó una mezcla de avena (*Avena sativa L.*) y vicia (*Vicia sativa L.*) luego de soja y previo a soja, en un ambiente con tres sectores de diferentes pendientes (Loma 0,15%, Media Loma 0,9%, Bajo <0,1%). Se definieron seis tratamientos, combinaciones de los tres sectores, con y sin CC: Loma SCC, Loma CCC, Media Loma SCC, Media Loma CCC, Bajo SCC y Bajo CCC. Luego de la supresión de los CC, en inicio de floración de soja, se aplicaron lluvias simuladas de una intensidad constante de 60 mm.h⁻¹. En los sedimentos erosionados se calcularon las cantidades totales de suelo en kg.ha⁻¹, las de materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (Nt) en g.kg⁻¹, y de fósforo extractable (Pe) en mg.kg⁻¹. Asimismo, se determinó el pH y la textura a través de la concentración de arena, limo y arcilla en g.kg⁻¹. En Media Loma SCC, las pérdidas totales de MO y CO fueron 71,17 y 45,26 kg.ha⁻¹, respectivamente, resultando significativamente superiores a Media Loma CCC en 16,60 y 10,10 kg.ha⁻¹, respectivamente. Las cantidades de Nt perdidas en Loma SCC y Media Loma SCC fueron 1,82 y 4,56 kg.ha⁻¹, respectivamente, siendo significativamente superiores a las registradas en Loma CCC y Media Loma CCC (0,53 y 0,83 kg.ha⁻¹). En Media Loma SCC la pérdida total de Pe (87,33 g.ha⁻¹) mostró un valor significativamente superior a Media Loma CCC (36,67 g.ha⁻¹). El pH de los sedimentos en las parcelas SCC y CCC, con valores medios de 9,8 y 9,7 respectivamente, mostró incrementos importantes respecto de la situación de origen, los que tuvieron registros de 5,96 y 5,98. Las concentraciones de arena, limo y arcilla, fueron en promedio de 71,2, 675,8 y 253 g.kg⁻¹, y los contenidos determinados en los sedimentos de las parcelas SCC, fueron 74, 575 y 351 g.kg⁻¹, respectivamente. En tanto, los sedimentos provenientes de las parcelas CCC mostraron menores concentraciones de las fracciones arena y limo, 58 y 486 g.kg⁻¹, y mayores concentraciones de la fracción arcilla, 456 g.kg⁻¹. En conclusión, las pérdidas totales de MO, CO, Nt y Pe asociadas a los sedimentos erosionados, disminuyeron significativamente en el sector de Media Loma, como resultado de la inclusión de la mezcla de cultivos de cobertura, mientras que el pH de los mismos presentó importantes incrementos en todos los sectores y tratamientos. En tanto, la concentración de arena y limo fueron menores en las parcelas CCC, la de arcilla mostró un sustancial aumento, denotando probablemente la relación entre el tamaño de la fracción granulométrica erosionada y la presencia de la cubierta vegetal.

Palabras clave: cultivos de cobertura, erosión hídrica, pérdida de materia orgánica y nutrientes.





APORTES AL SUELO DE MACROELEMENTOS PROVENIENTES DE DIFERENTES ESPECIES DE CULTIVOS DE COBERTURA

Capurro, J.E.^{1*} y S. Montico²

¹ AER INTA Cañada de Gómez;

² Cátedra Manejo de Tierras. FCA Zavalla, UNR;

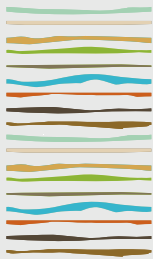
* Lavalley 1466, (2500) Cañada de Gómez, Prov. de Santa Fe, capurro.julia@inta.gob.ar

RESUMEN

Se desarrolló un experimento con el propósito de investigar los aportes de macroelementos que efectúan al suelo, distintas especies de cultivos de cobertura (CC), a través de los tejidos vegetales aéreos. Luego de un cultivo de soja, se establecieron 12 tratamientos de CC, con 132 días entre emergencia y supresión del crecimiento. Se midió la producción de materia seca aérea (MS; kg.ha⁻¹), la concentración (%) de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) de la MS obtenida, y se calculó el aporte total de los nutrientes en kg.ha⁻¹. La MS fue significativamente superior en vicia villosa (*Vicia villosa* Roth) + centeno (*Secale cereale* (L.) M.Bieb.) y centeno, con 7673 y 6794 kg.ha⁻¹, respectivamente, en comparación con cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum*), vicia sativa (*Vicia sativa* L.) + avena sativa (*Avena sativa* L.), que produjeron 6356, 6201 y 5018 kg.ha⁻¹, respectivamente. También mostraron diferencias significativas, pero de menor cantidad, avena sativa, triticale (*Triticosecale Wittmack*), vicia villosa, vicia sativa, rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y trébol persa (*Trifolium resupinatum*) + rye grass, con 4552, 4439, 4230, 4034, 3663 y 3193 kg.ha⁻¹, respectivamente. El trébol persa produjo significativamente menos MS que el resto de los tratamientos, 1609 kg.ha⁻¹. La concentración de N en vicia sativa y vicia villosa, con 4,84 y 3,24%, respectivamente, fue significativamente superior al resto de los tratamientos, cuyos valores oscilaron desde 2,14 a 1,03%, según la especie o mezcla de especies considerada. También la concentración de P en vicia sativa y vicia villosa (0,40% y 0,42%), fue significativamente superior al resto de los tratamientos, los que tuvieron entre 0,22 y 0,13%. En S se observó la misma tendencia, una concentración de 0,26 y 0,27% en los tejidos de vicia sativa y vicia villosa, significativamente superiores al resto de los tratamientos, con registros entre 0,21 y 0,08%. El aporte total de N fue de 195,2 y 136,9 kg.ha⁻¹ en vicia sativa y vicia villosa, con valores significativamente menores de las mezclas vicia villosa + centeno y vicia sativa + avena sativa, las que aportaron 81,9 y 73,3 kg.ha⁻¹, respectivamente. Trigo, avena sativa, rye grass, centeno, trébol persa + rye grass, cebada, triticale y trébol persa, también tuvieron diferencias significativas y los aportes de N fueron desde 67 a 34,5 kg.ha⁻¹. Los aportes de P, marcaron diferencias significativas con el resto de los tratamientos en vicia sativa y vicia villosa, con 16,1 y 17,93 kg.ha⁻¹, respectivamente; le siguieron vicia villosa + centeno, centeno y trigo, que aportaron 14,09, 11,99 y 11,45 kg.ha⁻¹ de P, respectivamente. El resto de las especies tuvo entre 9,70 y 3,48 kg.ha⁻¹. La contribución de S fue significativamente superior al resto de las especies en vicia sativa, vicia villosa, centeno + vicia villosa y trigo, con 10,49, 11,55, 10,43 y 8,29 kg.ha⁻¹, respectivamente. Los aportes al suelo de los tres macroelementos provenientes de la biomasa aérea de diferentes CC, presentaron diferencias significativas según la especie o mezcla de especies utilizada, la producción de MS y la concentración en los tejidos vegetales.

Palabras clave: cultivos de cobertura, producción de materia seca, concentración de nutrientes





COMPORTAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DE ENTRE RÍOS

Castiglioni, M.G.^{1*}, E. Gabioud², C. Sasal², M. Wilson², M. Seehaus²

¹Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos (FAUBA). Av. San Martín 4453. (1417). Bs.As. Argentina.

²Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos-INTA-EEA Paraná. Ruta 11. Km 12.5. (3100). Oro Verde. E.Ríos. Argentina.

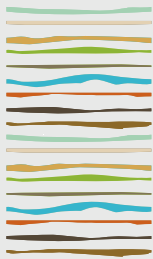
*castigli@agro.uba.ar

RESUMEN

La pérdida de agua por escurrimiento en los sistemas agrícolas, no solo genera menos disponibilidad de este elemento para los cultivos, sino que también posibilita el arrastre de partículas de suelo y otros contaminantes. El objetivo del trabajo fue analizar el comportamiento de los escurrimientos, según época del año y antecedente de humedad edáfica (AMC), ocurridos en una microcuenca agrícola bajo siembra directa. La misma está ubicada en la EEA INTA Paraná (Provincia de Entre Ríos), tiene 29 ha y el suelo presente es un Argiudol ácuico. Los escurrimientos fueron registrados mediante un limnígrafo-freatígrafo y los climáticos por una estación meteorológica, ubicada en cercanías de la microcuenca. La rotación de cultivos durante el período analizado (2019 a 2022) fue: arveja/maíz, arveja/soja, trigo/maíz. En total llovieron 3528 mm, siendo la precipitación de cada año diferente a la media anual del período 1990-2020 (1101 mm). En 2019 las lluvias fueron un 19 % superiores a dicho promedio, en 2020 y 2021 solo se alcanzó un 67 % y 88 % del mismo, respectivamente, y la precipitación ocurrida hasta setiembre de 2022 representó un 84 % de la media de los primeros ocho meses del año. Por inconvenientes técnicos del limnígrafo-freatígrafo, dentro del período analizado se estudió lo sucedido con 115 lluvias que aportaron 1463 mm. De ese total, 23 tormentas que suministraron 688 mm, fueron las que provocaron salida de agua de la microcuenca. Nueve de ellas lo hicieron durante primavera-verano (PV) y catorce en otoño-invierno (OI). El 48 % de las lluvias que desencadenaron escurrimiento ocurrieron con un AMC correspondiente a suelo seco (AMC I), un 22 % lo hizo bajo un AMC medio (AMC II) y el restante 30 % fue con suelo húmedo (AMC III). Para que se produzcan escurrimientos durante OI con lluvias menores o iguales a los 12 mm, fue necesario que se acumulen en los 5 días previos al menos 30 mm de precipitación antecedente. En PV no se registraron escurrimientos por debajo de los 13 mm de lluvia, a pesar de presentarse casos con precipitación antecedente en los 5 días previos de 32 a 46 mm. La relación pico del escurrimiento/milímetros de lluvia caídos (P/II) fue sensible al AMC y a su interacción con la época del año. Los valores mínimos y máximos promedio para P/II fueron en PV y bajo AMC I: 0,07 cm/mm y en OI con AMC III: 0,40 cm/mm. La duración del escurrimiento (De) también fue sensible a la interacción del AMC y época del año, oscilando los mínimos y máximos promedio entre 2,5 h y 18 h. Los coeficientes de correlación entre P/II y De con los milímetros de lluvia, evapotranspiración y la relación lluvia/evapotranspiración, ocurridos en distintos intervalos de tiempo previo a cada evento de escurrimiento (entre 5 y 30 días), mejoraron al discriminar el análisis según AMC, mientras que esto mismo no ocurrió cuando se agruparon los resultados según la época del año. Este estudio preliminar, deberá complementarse y profundizarse con registros que abarquen una mayor variabilidad climática.

Palabras clave: humedad antecedente, época del año, precipitación previa





VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS EN UNA MICROCUENCA: EFECTO DEL USO DE LA TIERRA

Castiglioni, M.G.^{1*}, L.A. Gusmerotti², A. Espíndola², S. B. Havrylenko², J. C. Lisa³, J.D. Laghi⁴.

¹ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

² Instituto de Clima y Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

³ Agencia de Extensión Rural Rojas, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

⁴ Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

castigli@agro.uba.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar en una microcuenca localizada en el partido de Rojas (Provincia de Buenos Aires), la variabilidad de algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales y su vinculación con factores propios del suelo y de su historia de uso previa. En agosto de 2020 se obtuvieron 36 muestras compuestas del suelo superficial, correspondientes a lotes de productores, los que representan cerca del 50 % de la superficie de la microcuenca de 1495 ha. Sobre ellas se determinó su contenido de arcilla, estabilidad estructural y distintas fracciones del carbono orgánico. Se generó información que sintetice el uso de la tierra previo al muestreo. Para ello, se obtuvo mediante el uso de imágenes satelitales, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada promedio (MNDVI) para los períodos 2007-2020 y 2015-2020, su desvío estándar (DSNDVI) y su coeficiente de variación (CVNDVI). Se analizó la variabilidad de todos los parámetros estudiados y su grado de vinculación por medio del análisis de correlación. Se observó una variabilidad baja en el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, debido a un uso bastante homogéneo entre los lotes agrícolas de la microcuenca. La mayor parte del resto de las propiedades analizadas presentó una variabilidad media, excepto algunos parámetros vinculados con la fracción gruesa del carbono orgánico en los lotes ganaderos. A pesar de la baja variabilidad presentada por MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, algunos de estos parámetros presentaron coeficientes de correlación significativos con determinadas propiedades físicas y químicas. Mientras que con algunas variables resultó efectivo considerar para el análisis de correlación un período de uso previo al muestreo más extenso, con otras fue preferible trabajar con un lapso más corto. El contenido de arcilla presentó altos coeficientes de correlación con algunas propiedades asociadas al carbono orgánico, mientras que con las ligadas a la estabilidad estructural estos fueron medios.

Palabras clave: NDVI, estabilidad estructural, fraccionamiento del carbono

INTRODUCCIÓN

Los distintos procesos de degradación de las tierras son condicionados por la acción del hombre. Si bien durante las últimas décadas el manejo de los cultivos ha mostrado ser bastante uniforme en grandes áreas, dentro de una cuenca se puede observar distinto grado de variabilidad para diferentes propiedades edáficas, debido tanto a efectos del manejo previo, como también a factores propios del suelo (Castiglioni, 2017).

La ausencia de cultivos durante ciertos períodos del año, resulta en un menor uso de recursos como el agua y la radiación solar, los cuales no son aprovechados para la producción de granos y biomasa vegetal (Andrade *et al.*, 2017). A su vez, la mayor frecuencia en el número de cultivos por año, favorece el mantenimiento de una elevada actividad microbiana, a través de la cual se genera una mayor estabilidad en la estructura del suelo y un incremento en el almacenamiento del carbono orgánico edáfico en sus distintas fracciones (Six *et al.*, 2006).



El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es un estimador lineal de la fracción de la radiación solar fotosintéticamente activa que es absorbida por la vegetación, la cual constituye la principal fuente de carbono para las plantas (Sellers *et al.*, 1992). De esta manera, la estimación de este índice a partir de la obtención de imágenes satelitales de manera frecuente y regular a lo largo de varios años, permite inferir el período de tiempo que los cultivos y/o pasturas en desarrollo ocupan un determinado sitio. También, al contar con un registro histórico de dichas imágenes, se podría evaluar cuál es la ventana temporal en una secuencia de cultivos y pasturas, que influye sobre el comportamiento de determinadas propiedades edáficas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una microcuenca localizada en el partido de Rojas (Provincia de Buenos Aires), la variabilidad de algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales y su vinculación con factores propios del suelo y de su historia de uso previa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde una microcuenca de 1495 ha, ubicada a 7 km al sureste de la localidad de Rojas, Provincia de Buenos Aires (34° 19' y 34° 14' LS; 60° 42' y 60 37' LO). La serie de suelos dominante es Rojas, clasificada como un Argiudol típico con textura limosa (arcilla: 22,9 %; arena: 27,7 %; limo: 49,4 %) (INTA, 1974). En los últimos 30 años, la actividad predominante ha sido la agricultura continua, teniendo mayor relevancia la producción de cultivos de verano (soja y maíz) bajo siembra directa. No obstante, existen algunos lotes bajo producción ganadera, ubicados en los sectores lindantes al curso de agua, fundamentalmente cerca de su desembocadura en el río Rojas. Dentro de dicha área, en agosto de 2020 se obtuvieron 36 muestras compuestas del suelo superficial (0 a 10 cm), correspondientes a distintos lotes de productores, los que representan cerca del 50 % de toda la superficie de la microcuenca. Del total de muestras analizadas, tres corresponden a tierras bajo uso ganadero, una tomada sobre pastizal natural y las otras dos sobre pasturas de alfalfa, mientras que el resto se obtuvo en lotes bajo agricultura continua. Sobre cada una se realizaron las siguientes determinaciones: contenido de arcilla, carbono orgánico total (CT) (método de Walkley y Black) (Page *et al.*, 1982), carbono orgánico particulado (COP) y ligado a la fracción mineral (COA) (Cambardella y Elliot, 1992) y estabilidad estructural (humedecimiento rápido (HR), lento (HL), disgregación mecánica (DM) y su promedio (ME) (Le Bissonnais, 1996). El COP Y COA se obtuvieron mediante fraccionamiento físico, utilizando un tamiz de 100 micrones para separar ambas fracciones. De esta última determinación surgieron los siguientes parámetros: %<100 (porcentaje en peso de la fracción menor a 100 micrones); %>100 (porcentaje en peso de la fracción mayor a 100 micrones); C<100 (concentración de carbono en la fracción menor a 100 micrones); C>100 (concentración de carbono en la fracción mayor a 100 micrones); COP (carbono orgánico particulado en el suelo); COA (carbono orgánico ligado a la fracción mineral del suelo).

A su vez, para cada uno de los lotes bajo análisis, se obtuvieron los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), a través de álgebra de bandas de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 (Surface Reflectance Tier 1) para cada paso del satélite dentro del periodo 2007-2020. Las mismas fueron procesadas en la plataforma en la nube Google Earth Engine (GEE). Con el objetivo de evaluar únicamente las imágenes con valores de NDVI correctos, se eliminaron aquellas que presentaban nubes o sombra de nubes a partir de los valores correspondientes de la banda *pixel_qa*. Con esta información se obtuvo para cada lote el NDVI promedio (MNDVI), su desvío standard (DSNDVI) y su coeficiente de variación (CVNDVI) para dos períodos de distinta longitud: desde 2007 hasta 2020 (MNDVI7; DSNDVI7 y CVNDIV7) y desde 2015 hasta 2020 (MNDVI15; DSNDVI15 y CVNDVI15).

De esta manera, se evaluó en cada uno de los lotes, el efecto de la longitud del tiempo con presencia de cultivos en desarrollo sobre algunas propiedades físicas y químicas edáficas superficiales. Se presupone que a mayor MNDVI hay una superior producción de materia seca y un intervalo de tiempo más amplio ocupado con especies vegetales vivas en los sucesivos años, mientras que un menor coeficiente de variación y desvío estándar indicarían una mayor proporción de cultivos en desarrollo durante el año, al mismo tiempo que un menor porcentaje del tiempo bajo barbecho.

Se determinó la variabilidad de los parámetros analizados a partir de su coeficiente de variación (CV), como también se realizaron análisis de correlación para estudiar la vinculación entre las distintas variables (Díaz *et al.*, 2009). Estos estudios se hicieron con el programa.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se detallan los valores medios, mínimos y máximos promedio de los distintos parámetros analizados, como también su coeficiente de variación, de acuerdo al uso actual de la tierra (agrícola o ganadero).

Tabla 1: Valores medios, mínimos y máximos promedio y el coeficiente de variación de las distintos parámetros estudiados, según su uso actual de la tierra (agrícola o ganadero)

Uso de la tierra Variable	Agrícola				Ganadero			
	Media	Min	Max	CV	Media	Min	Max	CV
Arcilla (%)	21	16	33	17	21	19	26	19
MNDVI7	0,48	0,44	0,53	5	0,53	0,52	0,55	3
DSNDVI7	0,23	0,19	0,26	8	0,22	0,15	0,26	28
CVNDVI7 (%)	48	39	56	9	43	28	51	30
MNDVI15	0,50	0,47	0,56	4	0,59	0,58	0,59	1
DSNDVI15	0,23	0,15	0,26	11	0,22	0,15	0,25	26
CVNDVI15 (%)	46	27	55	13	37	26	42	26
CT (%)	2,17	1,58	3,73	19	2,22	1,89	2,84	24
%<100 (%)	78	76	80	2	73	62	79	14
%>100 (%)	5	3	11	35	9	3	21	112
C<100 (%)	1,55	1,15	2,37	19	1,05	0,76	1,28	25
C>100 (%)	7,68	4,18	11,55	27	9,52	7,31	10,93	20
COA (%)	1,22	0,91	1,82	18	0,79	0,47	1,01	36
COP (%)	0,35	0,11	0,89	47	0,73	0,34	1,50	93
HR (mm)	0,98	0,46	1,68	31	1,48	1,34	1,73	15
DM (mm)	2,62	1,89	3,33	14	2,92	2,54	3,19	12
HL (mm)	2,44	1,46	3,28	19	2,74	2,05	3,19	22
ME (mm)	2,01	1,42	2,72	17	2,38	1,98	2,70	16

MNDVI7, DSNDVI7, CVNDVI7: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2007-2020), MNDVI15, DSNDVI15, CVNDVI15: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente. Min: valor mínimo, Max: valor máximo, CV: coeficiente de variación. **significativo (p<0,01), HR, HL, DM, ME: pretratamientos humedecimiento rápido, lento, disgregación mecánica y promedio de los tres, correspondientes al método de Le Bissonais.

Como se observa en la misma, los parámetros vinculados con la presencia de vegetación viva en los lotes bajo agricultura tuvieron baja variabilidad (CV entre 0 y 15 %) (Warrick y Nielsen, 1980), sin existir diferencias en este comportamiento según el intervalo de tiempo previo al muestreo considerado. De esta manera, si bien la rotación de cultivos pudo presentar diferencias en cuanto a las especies utilizadas, no varió sustancialmente el tiempo de ocupación de las mismas entre lotes, tanto en los últimos años (2015 a 2020) como en lo ocurrido en un plazo de tiempo mayor (2007 a 2020). Dentro de estas variables, el DSNDVI y CVNDVI presentaron mayor heterogeneidad que MNDVI, sobre todo en los lotes con pastura, debido en este último caso a que probablemente previo a la alfalfa hubo agricultura. Al comparar los valores de MNDVI y CVM-NDVI según uso de la tierra, los primeros fueron menores para las tierras bajo agricultura, mientras que los segundos resultaron inferiores para los lotes bajo pastura, indicando estos resultados una posible mayor pro-

ductividad primaria neta y una menor estacionalidad en los valores de NDVI para las tierras bajo ganadería. Estos resultados, aparte de incidir sobre las propiedades edáficas, también coinciden con los aportados por Vangeli (2019) para la cuenca del Arroyo del Tala (Provincia de Buenos Aires), aunque dicho autor encontró en general valores más bajos para el CVNDVI. El contenido de arcilla y de carbono total presentaron un CV medio (entre 15 y 50 %) (Warrick y Nielsen, 1980). Igual categoría mostraron la mayoría de los parámetros que surgen del fraccionamiento del carbono edáfico y los asociados a la estabilidad estructural. Entre estos, únicamente %>100 y COP mostraron alta variabilidad en las tierras bajo pastura (CV> 50 %) (Warrick y Nielsen, 1980), mientras que DM bajo ambos usos de la tierra y HR en aquellos lotes destinados a la ganadería presentaron un CV bajo. Si bien no se realizó una comparación de los valores medios de las propiedades edáficas entre ambos usos de la tierra, se infiere a partir de lo observado en Tabla 1, que al incluir ambos sistemas de producción en un mismo análisis, se obtendría un incremento en la variabilidad de estas propiedades.

Se buscó a través del análisis de correlación, identificar aquellos parámetros edáficos y relacionados con el uso previo de la tierra que podían incidir sobre la heterogeneidad de las propiedades estudiadas (Tablas 2 y 3).

Tabla 2: Coeficientes de correlación entre las variables surgidas del fraccionamiento del carbono con el contenido de arcilla y el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI determinado para ambos períodos, considerando únicamente los resultados de las tierras bajo agricultura

Parámetros	CT	%>100	%<100	COP	COA	C>100	C<100
MNDVI7	ns	0,42*	NS	NS	ns	ns	Ns
DSNDVI7	-0,47**	NS	0,38*	-0,48**	-0,44*	-0,44*	-0,45*
CVNDVI7	-0,49**	-0,45*	0,42**	-0,49**	-0,36*	ns	0,38*
MNDVI15	ns	0,55**	-0,44*	ns	-0,36*	ns	ns
DSNDVI15	ns	-0,52**	0,46**	-0,49**	ns	ns	ns
CVNDVI15	ns	-0,56**	0,49**	-0,49**	ns	ns	ns
Arcilla	0,85**	0,51**	-0,51**	0,75**	0,76**	0,62**	0,78**

MNDVI7, DSNDVI7, CVNDVI7: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2007-2020), MNDVI15, DSNDVI15, CVNDVI15: NDVI promedio, su desvío estándar y su coeficiente de variación, respectivamente (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente. **significativo ($p<0,01$), * significativo ($p<0,05$), ns: no significativo.

Del análisis de la Tabla 2, se estima que parte de la variabilidad encontrada entre los lotes agrícolas de algunos de los parámetros que surgieron del fraccionamiento del carbono, podría ser explicada a partir del distinto esquema de ocupación temporal del suelo con cultivos en desarrollo. A pesar de que según se viera en la Tabla 1, el MNDVI, DSNDVI y CVNDVI para ambos períodos (2015-2020 y 2007-2020) presentaron una variabilidad baja entre lotes, estos parámetros presentaron coeficientes de correlación medios y significativos con algunas de las variables químicas. En este sentido y teniendo en cuenta las diferencias observadas entre ambos períodos de tiempo considerados, %>100 y %<100 estarían más influidos con lo sucedido en la rotación agrícola de los últimos 5 años, respecto a tener en cuenta un lapso de tiempo mayor. Contrariamente, CT, C>100 y C<100 responderían en mayor medida a lo ocurrido con los cultivos en un período de tiempo más extenso. A su vez, entre estos parámetros, CVNDVI y DSNDVI parecieran ser más adecuados para establecer este tipo de relaciones. Por su parte, al incluir en el análisis de correlación los resultados de los lotes ganaderos, y por lo tanto incrementando la variabilidad, los coeficientes de correlación aumentaron sensiblemente (resultados no mostrados). No obstante, el diferente contenido superficial de arcilla de los suelos explicó de mejor manera la variabilidad de las propiedades asociadas al fraccionamiento del carbono, sobre todo en lo que respecta a COP, COA, CT, C>100 y C<100.

En la Tabla 3 se detalla el análisis de correlación realizado entre los resultados de estabilidad estructural



con el MNDVI obtenido para ambos períodos, el contenido de arcilla y con los parámetros que surgieron del fraccionamiento del carbono.

Tabla 3: Coeficientes de correlación entre los resultados de estabilidad estructural y los correspondientes al MNDVI7, MNDVI15, contenido de arcilla y fraccionamiento del carbono

Parámetros	HR	DM	HL	ME
MNDVI7	0,60**	Ns	0,53**	0,52**
MNDVI15	0,53**	Ns	0,43*	0,43*
CT	0,47**	0,40*	Ns	Ns
%<100	-0,49**	-0,49*	Ns	-0,43*
C<100	0,39*	Ns	Ns	Ns
COA	0,36*	ns	Ns	Ns
%>100	0,45**	0,43*	Ns	0,43*
COP	0,41*	0,39*	Ns	0,37*
Arcilla	0,43*	0,44*	ns	Ns

MNDVI7: NDVI promedio (período 2007-2020), MNDVI15: NDVI promedio (período 2015-2020), CT: carbono total, %<100, %>100: peso seco de la fracción < y > a 100 micrones, respectivamente, COA: carbono orgánico asociado a la fracción mineral del suelo, COP: carbono orgánico particulado, C<100, C>100: concentración de carbono de la fracción < y > 100, respectivamente, HR, HL, DM, ME: pretratamientos humedecimiento rápido, lento, disgregación mecánica y promedio de los tres, correspondientes al método de Le Bissonnais. ** significativo (p<0,01), * significativo (p<0,05), ns: no significativo.

De su análisis se comprueba que, tanto MNDVI7 como MNDVI15, resultaron ser parámetros significativos para explicar en parte la variabilidad de la mayoría de los resultados surgidos de los pretratamientos del método de Le Bissonnais (1996). A su vez, se observa que un mayor período de tiempo de uso de la tierra previo al muestreo, incide en mayor medida sobre los resultados de estabilidad estructural, respecto a considerar solo los últimos 5 años. Por su parte, MNDVI7 y MNDVI15 fueron mejores parámetros de predicción para explicar la variabilidad de HR, que aquellos surgidos del fraccionamiento del carbono. También se comprobó, que DSNDVI Y CVNDVI no fueron variables explicativas del comportamiento de la variabilidad en la estabilidad estructural.

CONCLUSIONES

A pesar de la baja variabilidad presentada por MNDVI, DSNDVI y CVNDVI, resultados que demuestran una alta homogeneidad entre los lotes agrícolas estudiados en cuanto al período de ocupación por parte de los cultivos, estos parámetros podrían ser de utilidad en la predicción de las distintas fracciones del carbono orgánico del suelo superficial, como también de su estabilidad estructural. Algunas de las fracciones del carbono edáfico (CT, C>100, C<100) y la estabilidad de los agregados (HR, HL, ME), resultaron ser más sensibles al efecto generado por el uso de la tierra durante un intervalo de tiempo previo mayor, mientras que en otras fracciones del carbono (%>100, %<100) sería más importante la incidencia efectuada por los cultivos en un tiempo más corto. El contenido de arcilla presentó altos coeficientes de correlación con la mayoría de las variables asociadas al carbono orgánico, mientras que con aquellas ligadas a la estabilidad estructural estos fueron medios.

AGRADECIMIENTOS

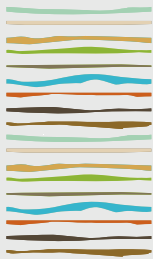
Trabajo financiado a partir del UBACyT N 20020170100460BA



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J.F., S.L. Poggio, M. Ermácora, E.H. Satorre. 2017. Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *Eur J Agron* 82, 1–10.
- Cambardella, C.A., E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56, 777–783.
- Castiglioni, M. 2017. Análisis de heterogeneidad en los patrones espaciales de las propiedades hidráulicas de suelos bajo distintas escalas de trabajo. Tesis de Doctorado. Univ.Nac. de Rosario.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, L.A. Gonzalez, E.M. Tablada, M. P. Díaz, C.W. Robledo, M. G. Balzarini. 2009. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7ma ed. 372 pp.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1974. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3560-2 (Rojas), 1:50000, Buenos Aires, Argentina.
- Le Bissonnais, Y. L. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of soil science*, 47(4), 425-437.
- Page, L.A., R.H. Miller, D.R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition, *Soil Sci Soc Am*.
- Sellers, P.J., J.A. Berry, G.J. Collatz, C.B. Field, F.G. Hall. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy. *Remote Sens Environ* 42,187-216.
- Six, J., S.D. Frey, R.K. Thiet, K.M. Batten. 2006. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Sci Soc Am J* 70, 555-569.
- Vangeli, S. 2019. El avance de la agricultura en tierras con características hidrohalomórficas bajo uso de pastizal. Su efecto sobre algunas propiedades edáficas. Tesis d Maestría. Escuela para graduados (FAUBA).
- Warrick, A.W., D.R.Nielsen. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.), *Application of Soil Physics*. Academic Press, New York, 319–344.





QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA SOB ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

Centeno, B.M.^{1*}, V.J.L.P. Simões², J.S. Ramos¹, R.D. Daneluz Rintzel³, T.H. Lima⁴, P.C.F. Carvalho⁵

¹ Graduanda em Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS;

Av. Bento Gonçalves, nº 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre – RS Brasil.

* Autora e apresentadora. E-mail: barbaramcenteno@hotmail.com;

² Doutorando em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

³ Mestranda em Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

⁴ Graduando em Agronomia, Universidade Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI;

⁵ Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo - GPEP

⁶ Professor do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

E-mail: paulocfc@ufrgs.br

RESUMO

A existência de novas estratégias de utilização de nutrientes em sistemas de plantio direto de longa duração ainda é embrionária na agricultura mundial. Porém, atualmente, a aplicação da adubação de sistema vem demonstrando ser uma alternativa promissora para aumentar a eficiência dos sistemas de produção. A eficiência do uso de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) sob adubação de sistema pode estar relacionada à qualidade física do solo promovida pelo pastejo. Este estudo avaliou a relação entre um índice de qualidade física do solo (IQSf) e a produção total de forragem em um SIPA e sistema de cultivo puro (SCP) sob diferentes estratégias de adubação. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2x2, utilizando-se de dois sistemas de produção: um com pastejo hibernal do azevém (SIPA) e outro com o azevém como planta de cobertura (sistema de cultivo puro), ambos com cultivo de soja no verão; e diferentes estratégias da adubação de fósforo (P) e potássio (K): na semeadura da soja (adubação da cultura) e no estabelecimento da pastagem hibernal (adubação de sistema). O SIPA (7766 kg ha⁻¹) promoveu incrementos de 31% (P=0,03) na produção total de forragem, comparado ao sistema de cultivo puro (5227 kg ha⁻¹). Enquanto, que com a adubação de sistema (7985 kg ha⁻¹) o acréscimo na produção total de forragem foi de 36% (P=0,01) comparado a adubação convencional (5107 kg ha⁻¹). A adubação de sistema não influenciou na qualidade física do solo. A capacidade do solo de desempenhar suas funções físicas foi de 94% sob SIPA, ocorrendo uma diminuição para 89% no sistema de cultivo puro. A produção total de forragem em sistemas de longa duração de plantio direto está diretamente relacionada com a qualidade física do solo.

Palavras chaves: Índice de Qualidade Física do Solo, Plantio Direto, Sistema Integrado de Produção Agropecuária, Adubação Sistema.

INTRODUÇÃO

Visando maximizar o uso da terra e dos seus nutrientes, é necessário pensar em novos modelos de produção que consigam explorar eficientemente as interações que ocorrem entre os seus componentes. Isto pode se dar através da inserção da produção pecuária em áreas destinadas à produção de culturas agrícolas, essa incorporação é denominada de sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Em conjunto a esses sistemas de integração a aplicação da adubação de sistema (AS), têm demonstrado ser uma alternativa eficiente por favorecer altas produções primárias e secundárias, reduzir a necessidade de insumos e evitar a contaminação ambiental pelo uso indiscriminado de fertilizantes.



Os solos, de regiões de clima tropical e subtropical, por intemperização, acabam necessitando mais de adubação comparado a solos de outras regiões. A utilização da estratégia de adubação de sistema tem como fim incrementar nutrientes essenciais à planta, como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), em todas as fases de produção em um SIPA.

Na estrutura do SIPA, a presença de animais através do pastejo sobre as áreas estimula um maior perfilhamento das plantas, o que é favorável ao sistema de intensificação, pois garante uma maior produção de forragem durante a fase destinada à produção pecuária. Esse estímulo ao perfilhamento acaba proporcionando um maior desenvolvimento radicular, sendo um benefício à estrutura e à agregação do solo. No longo prazo, observações indicaram que, o bom manejo do pasto e a pressão adequada do pastejo, não só neutralizam os efeitos negativos (Hallett et al. 2003, Souza et al. 2010), mas também melhoram os aspectos físicos (Bonetti et al., 2019), biológicos (Chávez et al., 2011) e químicos (Martins et al., 2014) nas propriedades do solo, implicando na maior utilização dos nutrientes (Loss et al., 2011).

O presente trabalho tem como hipótese que a qualidade física do solo está diretamente relacionada com a maior produção de forragem em SIPA sob adubação de sistema. Para isso, objetivou-se avaliar a associação entre um índice de qualidade física do solo (IQSf) e a produção total de forragem de azevém em um SIPA e um sistema de cultivo puro (sem pastejo) submetidos a duas estratégias de adubação (adubação de sistema e convencional).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi feito na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no município de Eldorado do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em um local que contém um sistema de plantio direto desde 2003 com uma área de 4,4 ha, subdividida em poteiros experimentais de 0,23 e 0,32 ha, onde encontra-se o experimento desde o ano de 2017. O solo do local é classificado como Argissolo, de textura franco arenosa (160, 260 e 580 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 2x2, utilizando-se de dois sistemas de produção: um com pastejo hibernal do azevém (SIPA) e outro com o azevém como planta de cobertura (sistema de cultivo puro, SCP), ambos com cultivo de soja no verão; e diferentes estratégias da adubação de fósforo (P) e potássio (K): na semeadura da soja (adubação da cultura, AC) e no estabelecimento da pastagem hibernal (adubação de sistema, AS). Todos os tratamentos receberam adubação nitrogenada na pastagem/planta de cobertura hibernal na dose de 150 kg N ha⁻¹. Assim como a adubação de P e K teve quantidade calculada para uma expectativa de produção de soja de 4 Mg ha⁻¹, conforme recomendação técnica (CQFS-RS/SC, 2016).

Nos tratamentos com pastejo foram utilizados ovinos da raça Corriedale, com aproximadamente 32 kg de peso vivo e 10 meses de idade. O manejo do pastejo ocorreu através do método contínuo de pastejo com carga variável, mantendo-se a altura do azevém em 15 cm.

O método Beerkan foi utilizado para caracterizar as condições físico-hídricas do solo (Lassabatère et al., 2006), sendo as coletas realizadas na camada de 0-10. As avaliações foram realizadas nas seguintes etapas: P1 – No início do estabelecimento da pastagem (Julho de 2020); P2 – No meio da pastagem (Agosto de 2020); P3 – No final do ciclo da pastagem (Outubro de 2020); e P4 – Após a colheita da soja (Abril de 2021). Neste trabalho os indicadores da qualidade física do solo utilizados para compor o índice foram: densidade do solo (DS), porosidade total (PT), capacidade de água disponível para planta (CADP), capacidade de campo relativa (CCR), condutividade hidráulica saturada (Ks), macroporosidade (P_{mac}) e capacidade de aeração (CA). O índice de qualidade física do solo (IQSf) se construiu em três etapas. Sendo a primeira etapa a seleção dos indicadores, (DS, PT, P_{mac}, CSAP, Ks, CCR e CA). A segunda etapa, a transformação dos dados de atributos físicos do solo utilizando escores de funções não-lineares. Neste passo os dados foram ranqueados em uma escala de unidade de 0 até 1, utilizando as seguintes curvas não-lineares: “mais é melhor” (curva sigmóide superior assintota); “menos é melhor” (curva sigmóide inferior assintota) e “ponto médio ideal” (curva gaugasiana). A terceira etapa consistiu na integração dos escores dos indicadores da qualidade física do solo em um IQSf para cada período avaliado. Posteriormente, foi realizada a média destes períodos,



com o intuito de se ter o IQSf geral. A produção total de forragem (kg ha^{-1} de matéria seca - MS) foi calculada como a biomassa total acumulada nas parcelas do SCP, ou a soma da massa de forragem no primeiro dia de pastejo e as taxas diárias de acúmulo de forragem durante a fase de pastagem para parcelas do SIPA. Foram realizadas análises de regressão e correlação de Pearson com nível de significância de 5% entre os índices de qualidade do solo e a produção total de forragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não constatou-se interação entre os fatores avaliados na produção total de forragem. Porém, foram significativos os efeitos isolados dos sistemas de produção e estratégias de adubação. O SIPA (7766 kg ha^{-1}) e a AS (7985 kg ha^{-1}) registraram incrementos de 31% ($P=0,03$) e 36% ($P=0,01$) na produção total de forragem, contrapondo-se ao SCP (5227 kg ha^{-1}) e AC (5107 kg ha^{-1}), respectivamente (Figura 1).

Não houve efeito das estratégias de adubação no índice de qualidade física do solo. Porém, verificou-se efeito isolado do sistema de produção. Onde, de acordo com o $\text{IQSf}_{\text{Gerais}}$, a capacidade do solo de desempenhar suas funções físicas foi de 94% sob SIPA, ocorrendo uma diminuição para 89% no sistema de cultivo puro. Esse resultado pode estar atrelado ao pastejo dos animais em pressão de pastejo correta, com alturas médias do pasto de 15 cm, que é considerada a estrutura do dossel que maximiza a produção animal ("Rotatínuous conceito, de Carvalho, 2013). De forma a proporcionar à planta um estímulo ao perfilhamento e, conseqüentemente um maior desenvolvimento de sistema radicular, o que impacta diretamente na estruturação do solo.

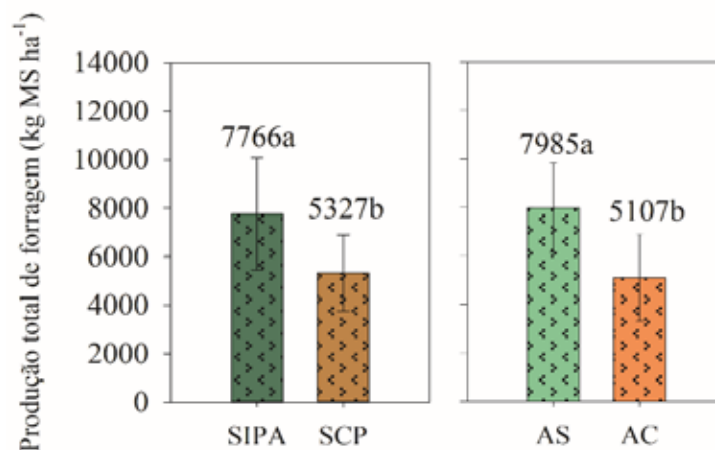


Figura 1. Produção total de forragem em função do sistema de produção (sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ou sistema de cultivo puro (SCP)) e estratégias de adubação (adubação convencional (AC) ou adubação de sistema (AS)). As letras diferentes representam diferenças no teste de Tukey a 5% de significância.

No meio (IQSf_{p_2}) e final (IQSf_{p_3}) da fase pastagem foram detectadas as maiores correlações com o $\text{IQSf}_{\text{Gerais}}$, sugerindo que os principais impactos na qualidade física do solo ocorrem nesses períodos. Para a produção total de forragem, verificou-se correlações significativas com o IQSf_{p_2} , IQSf_{p_4} e o $\text{IQSf}_{\text{Gerais}}$. Esses resultados indicam que a condição do solo pós soja e as mudanças estruturais do solo a partir do meio do ciclo de pastejo estão diretamente relacionadas com o crescimento e produção do azevém na fase pastagem.



Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson (*r*) entre os índices de qualidade físico-hídrica do solo e produção total de forragem

		IQSf _{P1}	IQSf _{P2}	IQSf _{P3}	IQSf _{P4}	IQSf _{Geral}	PTF
IQSf _{P1}	<i>r</i>	1.000					
IQSf _{P2}	<i>r</i>	0.221	1.000				
IQSf _{P3}	<i>r</i>	0.330	0.487	1.000			
IQSf _{P4}	<i>r</i>	-0.184	0.371	0.540	1.000		
IQSf _{Geral}	<i>r</i>	0.522*	0.764**	0.877**	0.638*	1.000	
PTF	<i>r</i>	0.154	0.682*	0.547	0.648*	0.757**	1.000

IQSf_{P1}, início da fase de pastagem; IQSf_{P2}, meio da fase de pastagem; IQSf_{P3}, fim da fase de pastagem; IQSf_{P4}, colheita de soja; PTF, produção total de forragem. *Significativo em $P < 0,05$; ** Significativo em $P < 0,01$.

Mediante o uso da análise de regressão entre a produção total de forragem e o IQSf_{Geral} (Figura 2), demonstrou-se que 57% da produção de forragem é explicada pelo IQSf_{Geral} ($p < 0,001$). Esse resultado reforça que outros fatores como a qualidade química e biológica do solo, assim como fatores ambientais como precipitação, temperatura e umidade do ar estão relacionados com a produção total de forragem em sistemas de plantio direto.

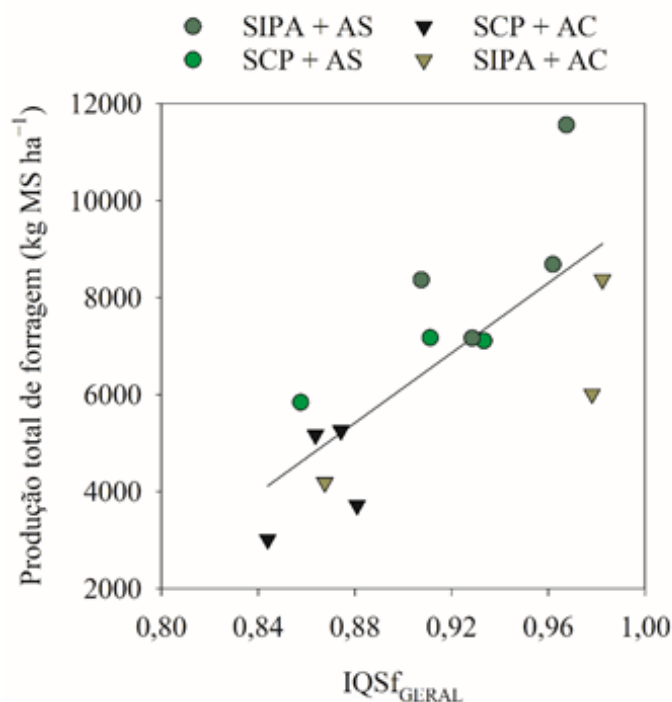


Figura 1. Relação entre o índice de qualidade física do solo (IQSf_{Geral}) e produção total de forragem com efeitos combinados entre sistemas de produção (sistema integrado lavoura-pecuária, SIPA e sistema de cultivo puro, SCP) e estratégias de adubação (adubação de sistema, AS e adubação de cultura, AC).

CONCLUSÃO

A produção total de forragem em sistemas de longa duração de plantio direto está diretamente relacionada com a qualidade física do solo. A capacidade do solo de desempenhar suas funções físicas é favorecida com a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária bem manejados. Nesses sistemas, há

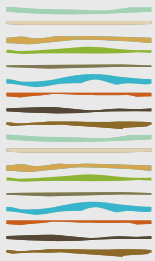


maior produção de forragem, quando comparado aos sistemas de cultivo puro. Embora não haja efeitos da adubação de sistema na qualidade física do solo, a reposição dos nutrientes (P e K) na fase pastagem propicia incrementos na produção de forragem.

BIBLIOGRAFIA

- Anghinoni I, Vezzani FM. Systemic Soil Fertility as product of system self-organization resulting from management. *Rev Bras Cienc Solo*. 2021;45. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20210090>
- Assmann JM, Martins AP, Anghinoni I, de Oliveira Denardin LG, de Holanda Nichel G, de Andrade Costa SEVG, Pereira e Silva RA, Balerini F, de Faccio Carvalho PC, Franzluebbbers AJ. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 2017;108:21-33. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9818-6>
- Bonetti JA, Anghinoni I, Gubiani PI, Cecagno D, de Moraes MT (2019) Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 186, 280-291. doi:10.1016/j.still.2018.11.003
- Chávez LF, Escobar LF, Anghinoni I, de Faccio Carvalho PC, Meurer EJ (2011) Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 1254-1261. doi:10.1590/S0100-204X2011001000020
- CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBRS-NRS/EMBRAPA-CNPT; 2016
- de Faccio Carvalho PC (2013) Harry Stobbs Memorial Lecture: can grazing behavior support innovations in grassland management? *Trop Grasslands Forrajes Trop*. 1:137. doi: 10.17138/TGFT(1)137-155
- HALLETT, P. D. et al. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytologist*, Bristol, v. 157, n. 3, p. 597-603, 2003.
- Lassabatère L, Angulo-Jaramillo R, Soria Ugalde JM, Cuenca R, Braud I, Haverkamp R (2006) Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments-BEST. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 521–532. doi:10.2136/sssaj2005.0026
- LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo em plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.
- SOUZA, E. D. et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1365-1374, 2010.





CARBON SCALED-NITROUS OXIDE EMISSIONS FROM SOYBEAN AND MAIZE IN THE ARGENTINE DRY CHACO REGION

Chalco-Vera, J.^{1*}, M. Acreche¹

¹ INTA Estación Experimental Salta-CONICET, Argentina

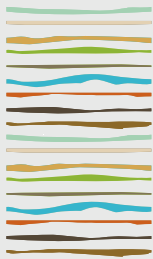
*Ruta Nac. 68, Km. 172, CP 4403, Cerrillos, Salta, Argentina, chalcovera.jorge@inta.gob.ar

ABSTRACT

Land use and land-use change are important sources of greenhouse gas (GHG) emissions to the atmosphere. In the Dry Chaco region of Argentina, the hot spot of deforestation is associated with soybean and maize expansion. However, the effect of these land uses with respect to the native forest on GHG emissions is unknown. To contrast land uses impact, we monitored and compare nitrous oxide (N₂O) emissions, relativizing them with their C input. An experiment was layout in Las Lajitas a representative site of the Dry Chaco region of Argentina, located in the province of Salta. Treatments were current land uses that included commercial maize and soybean cropping systems, under rainfed conditions, and a parallel native forest area. We selected three patch for each land use as blocks. Thus, the experiment was arranged in a completely randomized block design with three replicates. We covered two growing seasons and a fallow period following the sequences: soybean-fallow-soybean and maize-fallow-maize. Samples of gases were captured through the static closed-vented chamber method. Cumulative N₂O emissions, expressed as kg N₂O-N ha⁻¹ yr⁻¹, were calculated for each land use system. Then, cumulative N₂O emissions were scaled to their C input to relativize N₂O-N emissions. For cropping systems, the C input was estimated as the C from the residual of ABG biomass at harvest. For forest, the C input was calculated by using a model suitable for Dry Chaco region to predict the annual C increase in ABG biomass. Annual cumulative N₂O-N emissions (crop and fallow period) were not significantly (p>0.05) different among land uses. However, native forest tended to have higher N₂O emissions than cropping systems: 1.6 ± 0.3, 2.9 ± 0.8 and 3.9 ± 0.7 Kg N₂O-N ha⁻¹ from maize, soybean and native forest, respectively. The C input was 3.6 ± 0.1, 2.3 ± 0.1 and 4.9 ± 0.2 t C ha⁻¹ for maize, soybean and native forest, respectively. Therefore, scaled N₂O emissions were: 0.4, 1.3 and 0.8 Kg N₂O-N tC⁻¹ accumulated for maize, soybean and native forest, respectively. These results suggests that maize has a lower impact in N₂O emissions than soybean when they are relativized to the final C input. However, more studies are required to consider the C from belowground biomass of these systems as well as their C emissions. This study highlight the importance to discuss the anthropogenic effect of these cropping systems in term of their N₂O emissions scaled to their C input since the assessment of N₂O emissions separately could mask the comprehensive effect of land use on the environment.

Keywords: climate change, lad use change, soil carbon





STOCK DE CARBONO ORGÁNICO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE

Ciarlo, E. A. ^{1*}, H. S. Steinbach², C. R. Alvarez², H. Rimski-Korsakov²

¹Cátedra de Edafología.

²Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

* Contacto: ciarlo@agro.uba.ar

RESUMEN

El suelo tiene un importante rol como sumidero de C con potencialidad de afectar el balance global de este elemento y amortiguar el efecto invernadero. El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto del riego sobre el stock de C orgánico (CO) hasta el metro de profundidad en suelos del Sudoeste Bonaerense. Se trabajó en un establecimiento donde se realiza la práctica de riego suplementario por pivote central en cultivos de grano algunos destinados a la producción de semillas, contándose con dos tratamientos, Secano y Riego, con 3 repeticiones (lotes) por tratamiento. Se tomaron muestras de suelo en estratos de 20 cm de espesor hasta el metro (0-100 cm) de profundidad, en las cuales se determinó el contenido de CO, la composición granulométrica, densidad aparente (DA), pH y conductividad eléctrica (CE). A partir de los valores de concentración de CO y de DA se calculó la masa de COS por estrato y el stock de carbono (COeq) al metro de profundidad corregido a masa equivalente. El stock de COeq de 0 a 100 cm de profundidad fue de 136 y 137 t ha⁻¹ para las situaciones de Secano y Riego, respectivamente, sin diferencias significativas entre situaciones. El stock de C en profundidad se relacionó significativamente ($p=0,029$; $R^2=0,73$) con el contenido de arcillas, confirmando la acción protectora de la fracción arcilla permitiendo una mayor acumulación de CO. Los valores de pH superficiales fueron significativamente superiores en la condición de riego con respecto a la situación de secano, lo cual podría derivar en una posible degradación física. Por el contrario, los valores de CE, ligados a la salinidad, en todos los estratos, fueron similares entre las situaciones de secano y riego, indicando que las precipitaciones que recibe el sistema evitan la acumulación de sales.

Palabras clave: carbono orgánico, riego, pH.

INTRODUCCION

El carbono (C) orgánico del suelo, componente central de la materia orgánica, es clave para la salud y calidad del suelo, la producción de cultivos y la actividad biológica edáfica (Schjøning et al., 2018). El suelo tiene un rol clave como sumidero de C con potencialidad de afectar el balance global de este elemento (Ordoñez et al., 2001) y amortiguar el efecto invernadero. El secuestro de C implica transferir CO₂ atmosférico a otros componentes relativamente estables en el tiempo como el C orgánico (CO) e inorgánico del suelo. El contenido de C mundial de los suelos es de 2500 gigatoneladas (Gt) de los cuales 1550 Gt son CO y 950 Gt son carbono inorgánico. A la vez, el pool de C del suelo es 3,3 veces el pool atmosférico (760 Gt) (Lal et al., 2018), y estimaciones realizadas a nivel global reportan que el suelo almacena al menos el doble del C que el contenido en la atmósfera y la vegetación viva juntas (Lal, 2004).

La cantidad de CO que puede acumular un suelo está condicionada por complejas interacciones entre factores que articulan a escalas diferentes. A escala regional se conoce el rol del clima, mientras que, a escala local, la cantidad de CO está determinada por el uso y manejo, el material original, la topografía y la textura



(Cook et al., 2016). La textura del suelo es un factor clave debido a la protección física que ejercen las arcillas (Abramoff et al., 2018) y a su influencia en la capacidad de almacenamiento de agua.

El contenido de CO tiende a estar relacionado positivamente con la productividad de los cultivos y los residuos generados por ellos (Collins et al., 1992). El incremento en el crecimiento de los cultivos resulta en un mayor ingreso de C al suelo a través del C en sus residuos aéreos y raíces. Uno de los objetivos del riego es incrementar el rendimiento de los cultivos, por lo que tiene una potencialidad de incrementar los niveles del CO (Gillabel et al. 2007; Deneff et al., 2008; Lal, 2008).

No obstante, si el agua de riego usada es de mala calidad y degrada el suelo, y consecuentemente la producción de biomasa de los cultivos, podría redundar en un menor ingreso de residuos y en el mediano y largo plazo en una menor retención de C en el suelo (Hillel et al., 2008). El riego también puede actuar sobre las salidas de C del suelo al estimular la actividad microbiana y por lo tanto la mineralización de la materia orgánica (Mermut et al., 2000; Calderon y Jackson, 2002; De Bona et al., 2006).

En nuestro país es escasa la información del efecto del riego sobre la acumulación de CO en profundidad. Por ello el objetivo de este trabajo es determinar el impacto del riego sobre el stock de CO hasta el metro de profundidad en un suelo del sudoeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en un establecimiento del Sudoeste Bonaerense donde se realiza la práctica de riego suplementario por pivote central en cultivos de grano. La rotación de cultivos integra la producción de semillas que se caracterizan por un bajo aporte de biomasa. Se contó con dos tratamientos, Secano y Riego, con 3 repeticiones (lotes) por tratamiento. Se tomaron muestras de suelo en estratos de 20 cm de espesor hasta el metro (0-100 cm) de profundidad. En cada muestra se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) por la metodología de combustión húmeda (Nelson & Sommers, 1996), la densidad aparente (DA) por el método del cilindro con un volumen de 100 cm³ (Blake & Hartge, 1986), la composición granulométrica por Bouyoucos, pH por potenciometría, relación suelo/agua: 1:2,5 (Thomas, 1996) y conductividad eléctrica por conductimetría sobre extracto de saturación (Rhoades, 1996). Con los valores de concentración de CO y DA se calculó la masa de CO (t ha⁻¹) por estrato y el stock de carbono (COeq) al metro de profundidad corregido a masa equivalente de suelo con la ecuación (1) (Sisti et al., 2004), para evitar efectos matemáticos artificiales producto de la compactación del suelo.

$$CO_{eq} = \sum_{i=1}^{n-1} CO_{Ti} + [MT_n - (\sum_{i=1}^n MT_i - \sum_{i=1}^n MS_i)]CO_n \quad \text{---(Ecuación 1)}$$

Donde el COeq es el stock de carbono orgánico (Mg ha⁻¹) a la profundidad donde la masa de suelo es la misma del perfil de referencia; \sum de COTi (de i hasta n-1) es la suma de la cantidad de CO (Mg ha⁻¹) del primer estrato de suelo hasta el penúltimo estrato n-1 del perfil, MTn es la masa de suelo total del perfil de un tratamiento, MTi es la suma de la masa de suelo del estrato 1 (superficial) al "n" (estrato más profundo) en el perfil del suelo de un determinado tratamiento, MSi es la suma de la masa de suelo desde el estrato superficial al "n" (estrato más profundo) en el perfil de referencia, CO_n es la concentración de carbono (t C t⁻¹ suelo) del último estrato de suelo del perfil del tratamiento. El mismo criterio utilizado para COeq se aplicó para cuantificar los contenidos de las fracciones texturales a masa equivalente de suelo. Los datos fueron analizados a través de una Prueba t para un diseño apareado entre tratamientos (Secano y Riego). Se establecieron relaciones entre los contenidos de CO y las otras variables de suelo medidas.

RESULTADOS Y DISCUSION

El stock de COeq de 0 a 100 cm de profundidad fue de 136 y 137 t CO ha⁻¹ para las situaciones de Secano y Riego, respectivamente, sin diferencias significativas entre situaciones. Tampoco las hubo en los contenidos equivalentes de las fracciones granulométricas (Tabla 1), indicando que se trataba del mismo tipo de suelo.



Tabla 1. Carbono orgánico (CO), arcilla, limo y arena expresados en masa equivalente, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

	Secano	Riego
CO eq (t ha ⁻¹)	136 a	137 a
Arcilla eq (t ha ⁻¹)	2614 a	2507 a
Limo eq (t ha ⁻¹)	4630 a	4199 a
Arena eq (t ha ⁻¹)	4556 a	5094 a

El stock de C de 0 a 100 cm se relacionó significativamente ($p = 0,029$; $R^2 = 0,73$) con el contenido de arcillas (Ecuación 2), confirmando la acción protectora de la fracción arcilla sobre la posible acumulación de CO (Abramoff et al., 2018), independientemente de los tratamientos.

$$\text{CO eq 0-100 cm (t CO ha}^{-1}\text{)} = 5,34 + 0,05 * \text{Arcilla eq 0-100 cm (t Arcilla ha}^{-1}\text{)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Los contenidos de CO, como era de esperar, disminuyeron en profundidad, sin diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los estratos (Figura 1A), mientras que la densidad aparente del suelo se mantuvo aproximadamente en valores de 1,2 t m⁻³, independientemente del tratamiento o profundidad (Figura 1B). Por su parte, a pesar de ser suelos de textura gruesa, Hapludoles y Haplustoles, estos suelos presentan una acumulación de arcillas en los horizontes subsuperficiales, específicamente a 20-40 cm; nuevamente no hubo diferencias significativas estadísticas entre los tratamientos en los contenidos de arcillas en ningún estrato (Figura 1C)

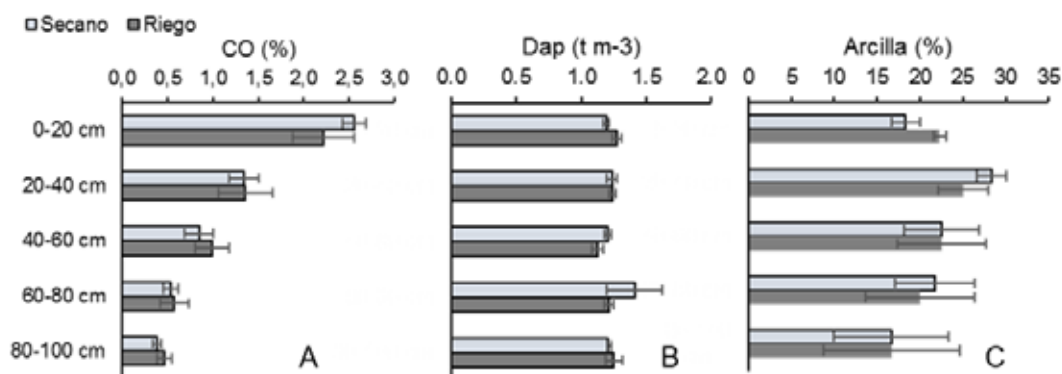


Figura 1. A) Contenido de carbono orgánico (CO, %), B) densidad aparente (Dap, t m⁻³) y C) Contenido de arcilla (Arcilla, %)

La aplicación de riego superficial puede contribuir a aumentar los contenidos de sales solubles, y en caso de usarse aguas de baja calidad, rica en sodio, esta práctica podría conducir a sodificar los suelos (Hillel et al., 2008). De hecho, los valores de pH superficiales fueron significativamente superiores en la condición de riego con respecto a la situación de secano (Figura 2A). Por el contrario, los valores de CE en todos a los estratos, ligados a la salinidad, fueron similares entre los suelos de los cultivos en secano o bajo riego ($p > 0,05$; figura 2B), indicando que es probable que el agua utilizada sea del tipo bicarbonatada sódica, pero baja en sales solubles totales. También debe considerarse si la proporción de precipitaciones que recibe el sistema en relación a la cantidad de agua total puede resultar suficiente para el lavado de sales.

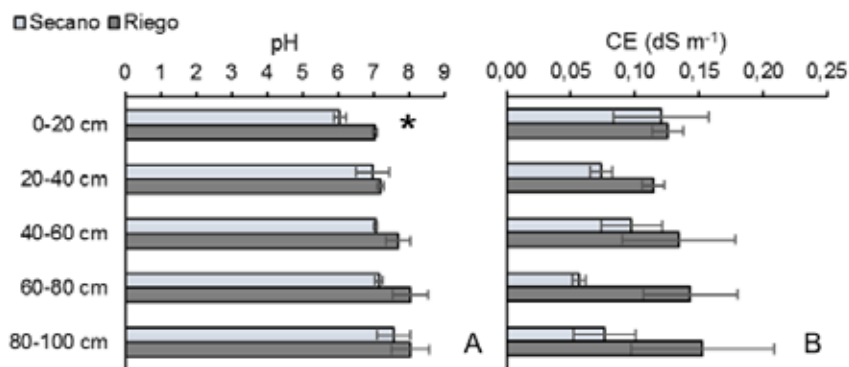


Figura 2. Valores de A) pH y B) Conductividad eléctrica (CE, dS m⁻¹) por estrato.
*diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$)

CONCLUSIONES

No se encontró efecto significativo del Riego sobre el stock de CO₂ eq al metro de profundidad (136 y 137 t ha⁻¹ para las situaciones de Secano y Riego respectivamente) ni en la concentración de CO₂ por estratos de suelo. No obstante, es de interés monitorear en el largo plazo la evolución del stock de CO₂ y cuantificar los procesos de entrada y salida de carbono en estos sistemas.

Tampoco hubo un efecto significativo del riego sobre la densidad aparente y valores de conductividad eléctrica de los suelos, mientras que el pH superficial fue significativamente mayor en los suelos regados, como probables consecuencias del tipo de agua utilizada para el riego, advirtiendo sobre una posible degradación física y debiéndose monitorear la calidad de aguas y suelos de continuar con la práctica.

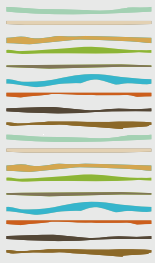
BIBLIOGRAFIA

- Abramoff R, Xu X, Hartman M et al. 2018. The Millennial model: in search of measurable pools and transformations for modeling soil carbon in the new century. *Biogeochemistry* 137:51–71. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0409-7>
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. 1986. Bulk density. En: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
- Calderon FJ, LE Jackson. 2002. Rototillage, disking, and subsequent irrigation, effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, and carbon dioxide efflux. *J. Environ. Qual.* 31: 752-756.
- Collins HP, PE Rasmussen, CL Douglas. 1992. Crop-rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 783-788.
- Cook R, D Binkley & JL Stape. 2016. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil Forest Ecology and Management. Volume 359, 1 January 2016, Pages 92-98 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.035>
- De Bona FD, C Bayer, H Bergamaschi, J Dieckow. 2006. Soil organic carbon in sprinkler irrigations systems under no-till and conventional tillage. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 30: 911–919.
- Gillabel J, K Denef, J Brenner, R Merckx, K Paustian. 2007. Carbon sequestration and soil aggregation in center-pivot irrigated and dryland cultivated farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1020-1028.
- Hillel, D., Braimoh, A.K., Vlek, P.L.G. 2008. Soil Degradation Under Irrigation. En: Braimoh, A.K., Vlek, P.L.G. (eds) *Land Use and Soil Resources*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6778-5_6
- Lal R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304: 11
- Lal, R.; Smith, P.; Jungkunst, H.; Mitsch, W.; Lehmann, J.; Ramachandran N. et al. 2018. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *J. Soil Water Conserv.* 73 (6), 145A-152A. DOI: 10.2489/jswc.73.6.145A.
- Mermut AR, R Amundson, TE Cerling. 2000. The use of stable isotopes in studying carbonate dynamics in soils. En: Lal, R., Kimble, J.M., Eswaran, H., Stewart, B.A. (Eds.). *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 65-85.



- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series no.5, pp. 961-1010.
- Ordóñez B, HJ De Jong & O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrabus*, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47.
- Rhoades, JD. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. En: DL Sparks (Eds), *Methods of Soil Analysis Part 3*, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 417-435.
- Schjøning P, JL Jensen, S Bruun, LS Jensen, BT Christensen, LJ Munkholm, M Oelofse, S. Baby & L Knudsen. 2018. Chapter Two - The Role of Soil Organic Matter for Maintaining Crop Yields: Evidence for a Renewed Conceptual Basis. *Adv. Agron.* 150: 35-79.
- Sisti, C.P.J., dos Santos, H.P., Kohmann, R., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 6(1), 39-58, <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>.
- Thomas, GW. 1996. Soil pH and Soil Acidity. En: DL Sparks (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp: 475-490





EROSION EN CÁRCAVAS EN SIERRAS Y LLANURAS: TIPOS, DINÁMICA Y UMBRAL TOPOGRÁFICO

Cisneros J.M.¹, A.J. Degioanni¹, J.G. González¹, S. Cabrera¹, J.A. Corigliano¹, C. Bozzer¹, L. Bergesio¹ y C.G. Cholaky¹

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. 36 km 601 (5800), Provincia de Córdoba. jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El control de la degradación y destrucción de las tierras rurales, es uno de los principales desafíos para el Desarrollo Sustentable, ya que impacta en la producción de alimentos. La erosión en cárcavas, es un proceso complejo, multicausal, que ocurre ante el sobrepaso de valores umbrales de superficie de cuenca (A), pendiente (s) y condiciones de erodabilidad del suelo (k). Por ello, los objetivos del estudio fueron: a) caracterizar la erosión en cárcavas en la cuenca del Arroyo Ají (721 km²), b) analizar su dinámica desde 1970 hasta la actualidad, bajo el concepto de conectividad hidrológica y c) ajustar un modelo de umbral topográfico $s \cdot A^b \geq k$ para cuencas de sierra y llanura. La metodología consistió en la digitalización de cárcavas mediante fotointerpretación de imágenes satelitales actuales e históricas, cartas de IGN y relevamientos de campo. Se identificaron al menos 6 tipos de cárcavas, por su morfología y origen. Los resultados indicaron un aumento del 68 % en el número de cabeceras entre 2002 y 2022 (de 624 a 1049), con un incremento de longitud de cárcavas del 64 % (de 58 a 105 km). Se observó, además, entre 1970 y 2022 un crecimiento del área de la cuenca del 48 % (de 428 a 721 km²), a causa de la conectividad entre subcuencas asociadas a cárcavas. El incremento anual por cárcava fue de 6,6 a 11,2 m entre 1970-2002 y 2002-2022. Se ajustaron modelos de umbral topográfico de generación de cárcavas obteniéndose los siguientes parámetros: en cuencas serranas $b=0,42$, $k=0,11$, y en cuencas de llanura: $b=0,38$ y $k=0,1$; validado este último para una cuenca de 520 km². Como conclusión erosión en cárcavas en los ambientes subhúmedos de sierra y llanuras agrícolas se ha acelerado en los últimos 20 años, aumentando y retroalimentando la conectividad hidrológica de las cuencas.

Palabras clave: erosión lineal, modelo área-pendiente, conectividad hidrológica, cuencas.

INTRODUCCIÓN

Las cárcavas son formas de erosión hídrica extrema que se traducen en cortes profundos de los suelos originados por la energía del escurrimiento superficial, que genera un salto hidráulico (cabecera) a partir del cual se produce un crecimiento retrocedente. En tierras cultivadas pueden alcanzar desde 0,5 a más de 30 m de profundidad (Poesen et al., 2003). Es un proceso geomórfico que se retroalimenta positivamente: a mayor longitud, mayor profundidad y mayores posibilidades de interconexión de cuencas, por exposición de materiales más erodibles en profundidad (Prosser y Soufi, 1998).

La conectividad hidrológica de una cuenca, es la capacidad de transferir agua de un punto a otro de la misma (Croke et al., 2005), a este término se asocia el de conectividad sedimentológica, cuando la transferencia implica sedimentos. La erosión en cárcavas contribuye a incrementar ambas formas de conectividad, por tanto, es causa y a su vez efecto de la conectividad hidrológica y sedimentológica de las cuencas. La erosión de caminos por cárcavas es otra forma de conectividad, en especial en eventos climáticos extremos (Zhang et al., 2019).



La erosión en cárcavas es uno de los principales problemas de degradación de suelos en Córdoba (Cisneros et al., 2015). La cuenca en estudio, cuenca del Arroyo Ají, fue caracterizada en su hidrología, grado de erosión en laderas y relación con el uso del suelo, y estado geomórfico de sus cauces permanentes por Cisneros (2010) y en su geomorfología y sedimentología por Salinas (2016). Para cuencas de la misma región, se estudió la evolución de cárcavas y conectividad, destacándose la alta dinámica erosiva en suelos arenosos (Corigliano et al., 2018), y la influencia de la dinámica freática y los cambios de uso del suelo, en la formación de nuevos cursos (Gallardo et al., 2017).

La formación de cárcavas se produce cuando la energía del escurrimiento supera la resistencia de suelo, y puede describirse con un modelo de umbral topográfico (Montgomery y Dietrich, 1994, citado por Poesen et al., 2011) de tipos $sAb \geq k$, donde s es la pendiente, A representa el área de la cuenca y k es coeficiente umbral que representa la resistencia del sitio a la formación de cárcavas. Existen muy pocos estudios sobre cárcavas en Argentina, en especial en áreas de llanura (Castillo y Gómez, 2016). Worcel et al. (2020), en la Pampa Ondulada, no encontraron relación entre formación de cárcavas y el gradiente de pendiente.

Los objetivos del trabajo son: a) Caracterizar la erosión en cárcavas de una cuenca representativa del pedemonte de Córdoba y su evolución a través de los últimos 50 años y b) Calibrar un modelo de umbral topográfico $A-s$ para cárcavas de sierra y llanura, y validarlo para llanuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio, la cuenca alta del Arroyo Ají (721 km²), está ubicada en el suroeste del Departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba (Figura 1) y comprende ambientes de sierras (extremo sur del sistema Comechingones) y de llanuras loessicas. El clima es templado mesotermal y los suelos son de textura franco arenosa a arenosa franca. La localización de cárcavas y su longitud para los años 2002 y 2022 se determinaron por fotoidentificación sobre imágenes satelitales de alta resolución de Google Satellite y ESRI Satellite en Qgis. Las cuencas se delimitaron en base a un MDE del USGS, con resolución espacial de 30 m. Las condiciones de 1970 se estimaron a partir de hojas topográficas de IGN. Las pendientes de la cuenca se estimaron mediante medición de altura snm y longitud en Google Earth. Solo se identificaron cárcavas de flujo no permanente, y no se consideraron cárcavas los cursos de agua más antiguos, tampoco las cárcavas temporarias o efímeras, que sí están representadas en la red de drenaje. La presencia de humedales se determinó por fotointerpretación de áreas con signos de anegamiento, napas poco profundas o vegetación natural de ambientes imperfectamente drenados. Para el ajuste y calibración de los modelos $s-A$, se realizó una selección de cárcavas en cuencas de primer y segundo orden (sierras $n=62$, llanuras $n=78$) en las que fuera posible determinar el punto de origen de la cabecera. Se excluyeron del análisis las cárcavas originadas en curso de agua, o en cuencas de mayor orden, debido a que allí la cabecera se origina por salto hidráulico. El modelo para llanuras fue validado con una cuenca vecina (Arroyo Suco, datos no incorporados en el texto) con similares condiciones de clima y uso del suelo (Cisneros et al., 2010).



Figura 1: Ubicación cuenca Arroyo Ají

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipo de cárcavas y dinámica de la erosión

Se han observado diferentes tipos de cárcavas permanentes, definidas en relación a su posición topográfica, orden de cuenca y origen de la cabecera (Figura 2). Se describen a continuación:

1. Cárcavas en valles y laderas: Se originan por concentración de escurrimientos, por lo general en cuencas de orden 1 o 2, tienen principio y fin dentro de la vía de drenaje.

2. Cárcavas generadas a partir de cursos: Se originan por la conexión hidrológica de una cuenca, con un curso de orden alto (5 a 6), a partir de un salto hidráulico, buscando un nivel de base de equilibrio. Son las de mayor antigüedad en la cuenca.

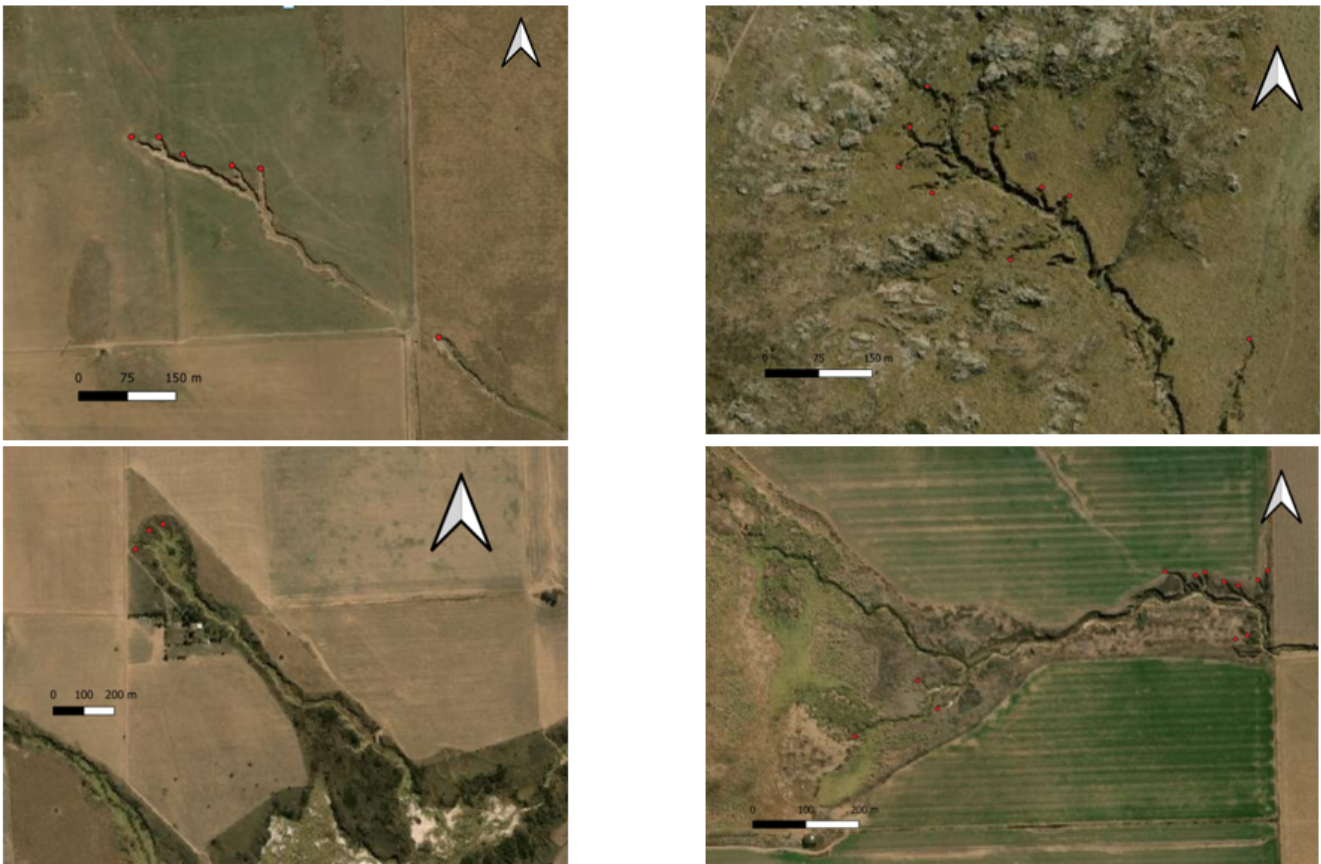


Figura 2: Tipos de cárcavas encontradas en la cuenca Arroyo Ají. Arriba izquierda: en valle de llanura, derecha: en valle serrano. Abajo izquierda: en cursos, Derecha: en humedales. Los puntos rojos indican cabeceras activas (Fuente: Elaboración propia sobre Imágenes ESRI Satellite en Qgis)

1. Cárcavas en caminos rurales: Se originan por la interconexión, concentración y descarga de escurrimientos de las cuencas a los caminos, los que se van profundizando y generando cabeceras internas, que funcionan como colectores de la red de drenaje. El camino más profundo, genera nuevas cabeceras en los lotes (aguas arriba del camino), en un mecanismo similar a 2. Muy difundido en toda la región, lo que genera problemas en la red vial (Cisneros et al. 2020);

2. Cárcavas en humedales: Se originan en sectores inundables o con freática alta, pueden crecer pendiente arriba del humedal, rellenándolo con sus propios sedimentos, o pueden drenar el humedal, cuando lo atraviesan. Su desarrollo se asocia a canalizaciones y su crecimiento es muy rápido. La conectividad que generan, transforma cuencas cerradas (arreicas) en cuencas abiertas (conectadas);

3. Cárcavas asociadas a microrelieves por manejo: Se originan por concentración de escorrentía en cabeceras de lotes, cerraduras de melga o huellas de hacienda hacia las aguadas. Son más frecuentes en zonas de pendientes medias, y unidades hidrológicas de poca superficie.

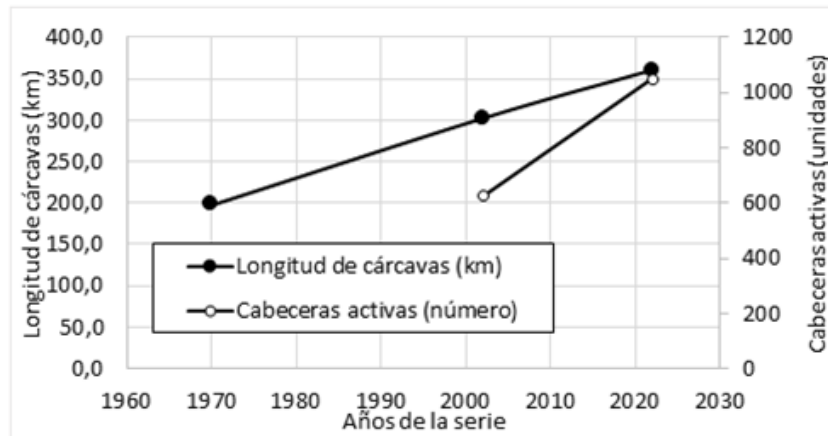


Figura 3: Dinámica del crecimiento de cárcavas en longitud y número de cabeceras en el arroyo Ají (Córdoba), período 1970-2022

Con la información cartográfica disponible, los resultados indican que la erosión en cárcavas en el período analizado se incrementó, tanto en longitud, como en número de cabeceras activas (Figura 3). Para el período 1970-2022, el incremento en longitud fue de 163 km (82 %), con un promedio de 3,2 km año⁻¹ (1,7 y 1,5 km⁻¹ para el periodo 1970-2002, y 2002-2022, respectivamente). Para el período 2002-2022 el número de cabeceras se incrementó un 68 % (425 cabeceras), con un ritmo de crecimiento anual por cárcava de 6,6 a 11,2 m entre 1970-2002 y 2002-2022 respectivamente. Las cabeceras de cárcava activas en la actualidad suman aproximadamente 261. Valores de avance anual sustancialmente menores fueron reportados por Wang et al. (2008) y Radoane et al. (1995).

Dinámica de la conectividad hidrológica en el período 1970-2022

La conectividad hidrológica o grado de interconexión de la red de drenaje, fue analizada en el apartado anterior, a través del crecimiento de longitud y número de cabeceras. Otro indicador de esta interconexión es el área de aporte que alimenta los cursos de agua en la cuenca y la cantidad de humedales que tienen algún grado de drenaje, ya sea por cárcavas o canales. En este sentido, los resultados muestran un aumento de 234 km² en el área de drenaje de la cuenca (de 487 a 721 km²), entre los años 1970 y 2022, con un incremento brusco de 182 km² a mediados de la década del 80, por la interconexión del arroyo La Cruz, a partir de una cárcava que drenó el humedal de la Laguna Seca (Blarasin, et al. 1994). En el período 1985-2022 se interconectaron 52 km² nuevos a la cuenca.

Umbral topográfico de generación de cárcavas: $\text{modelos} \cdot A^b \geq k$

Los resultados obtenidos del análisis de cuencas, la mayoría de orden 1, muestran una aceptable capacidad del modelización del umbral topográfico para describir la generación de cárcavas en la cuenca Arroyo Ají (Figuras 4 y 5). Nótese que, en dichas Figuras, la línea del modelo no representa una recta de regresión convencional, sino que expresa el valor umbral mínimo de la nube de puntos. Para cuencas de sierra (Figura 4), con pendientes entre 3 y 10 %, los valores de mejor ajuste del modelo fueron de $b=0,42$ y $k=0,11$. Para cuencas de llanura (Figura 5), entre 1 y 5 % de pendiente, los valores obtenidos fueron de $b=0,38$ y $k=0,10$. Los valores de b obtenidos, para ambos tipos de cuenca, están dentro del rango de los más frecuentes, mientras que los valores de k , se encuentran entre los más altos, según una revisión de Torri y Poesen (2014).

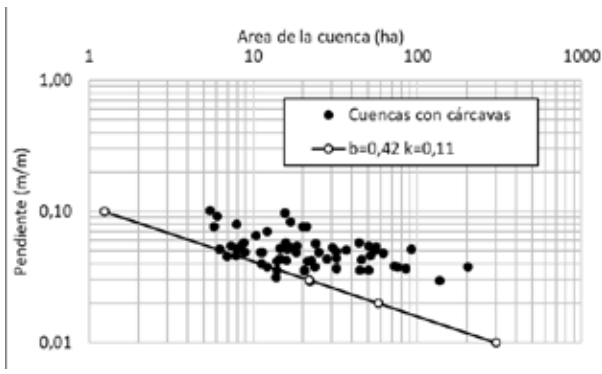


Figura 4: Modelo $s^b \geq k$ para cuencas de sierra en el Arroyo Aji (n=62).

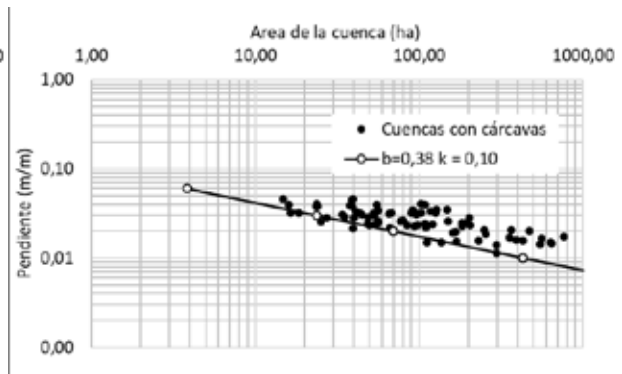


Figura 5: Modelo $s^b \geq k$ para cuencas de llanura en el Arroyo Aji (n=78=).

Calibración y validación del modelos $s^b \geq k$ para cuencas de llanura

Para testear el modelo de umbral topográfico para llanuras, se utilizaron los datos de una cuenca vecina al Arroyo Aji, con similares condiciones de uso, pero con subcuencas de mayor superficie y menor pendiente, seleccionando aquellas cuencas que no hubieron desarrollado cárcavas.

En la Figura 6 se puede apreciar como el modelo topográfico separa aceptablemente las situaciones con y sin cárcavas de dos cuencas de llanura, de similares condiciones ambientales, con lo cual podría utilizarse el umbral topográfico como indicador de la susceptibilidad de las cuencas a la formación de cárcavas. Por otro lado, permite caracterizar de que modo la conectividad de cuencas, al aumentar el área de drenaje, aumenta las posibilidades de formación de nuevas cárcavas, como ha sido reportado por Corigliano et al. (2018) para la cuenca del Arroyo Chaján, situada al oeste de la cuenca estudiada en esta contribución.

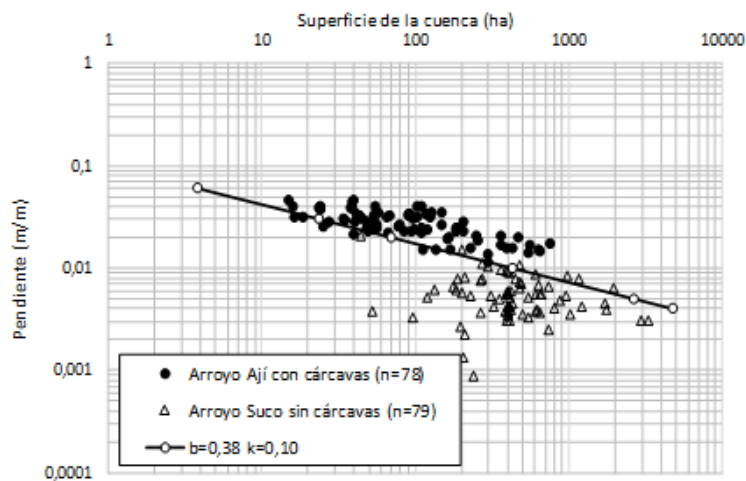


Figura 6: Validación del modelo de umbral topográfico para cárcavas de llanura.

CONCLUSIONES

La erosión en cárcavas en los ambientes subhúmedos de sierra y llanuras agrícolas del suroeste de la provincia de Córdoba se ha acelerado en los últimos 20 años, aumentando y retroalimentando la conectividad hidrológica de las cuencas.



La generación de cárcavas en cuencas de sierras y llanuras del centro de Córdoba, responde a un modelo de umbral topográfico tipo $s^*A^b \geq k$, con valores de b entre 0,38 y 0,42 y k entre 0,10 y 0,11.

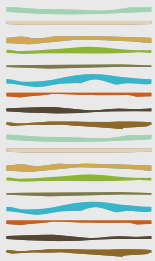
AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por SECYT-UNRC y Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba con fondos para el Plan Básico del Consorcio de Conservación de Suelos Arroyo Suco.

BIBLIOGRAFÍA

- Blarasin, M, S Degioanni, M Cantu, C Eric, A Cabrera, Cisneros J, J. Gonzalez & C Cholaky. 1994. Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la ruta Nacional 7, entre las ciudades de Laboulaye y Villa Mercedes, y la ruta Nacional 8 entre Canals y Villa Mercedes. Informe UNRC, 145 pags. Inédito.
- Castillo C, JA Gómez. 2016. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. *Earth-Science Reviews* 160, 300–319.
- Cisneros JM, J Corigliano, J González, S Lameiro, C Cholaky & S Cabrera. 2020. Conectividad hidrológica en cuencas agrícolas: caminos rurales, canalización y estado de la red de drenaje XXVII CACS en Actas, pags. 988-993.
- Cisneros JM. 2010. Bases para el ordenamiento territorial del sur de Córdoba (Argentina). El caso de la Cuenca de los Arroyos Menores. Tesis doctoral inédita.
- Cisneros, JM, A Degioanni, J González, JG Cholaky, CG Cantero, JJ Cantero & JL Tassile 2015. Degradación de suelos en la provincia de Córdoba. En: Casas, R. R. y Albarracín, G. L. (Ed.) El deterioro del suelo y el ambiente en Argentina. PROSA-FECIC. Tomo II, 87-100.
- Corigliano, J, Cisneros J & JGonzález. 2018. Dinámica de la erosión hídrica y conectividad hidrológica en ambientes arenosos. XXVI CACS, enActas, pag. 937.
- Croke, J, S Mockler, P Fogarty & I Takken. 2005. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. *Geomorphology* 68 (3–4), 257–268.
- Gallardo AH, A Giaccardi, D Aguilera, YN Battistino & A Martínez. 2017. Gully erosion and streams development in the Río Quinto basin, midwest Argentina. *R Soc. Geológica de España* 30 (1).
- Poesen J, J Nachtergaele, G Verstraetena & CValentin.2003. Gully erosion and environmental change:importance and research needs. *Catena* 50 (2003) 91–133.
- Poesen JWA., DB Torri & T Vanwallegem. 2011. Gully Erosion: Proceduresto Adopt When Modelling Soil Erosionin Landscapes Affected by GullyingHandbook of Erosion Modelling, 1st edition. Edited by R.P.C. Morgan and M.A. Nearing. BlackwellPublishing Ltd.
- Prosser IP, M Soufi. 1998. Controls on gully formation following forest clearing in a humid temperate environment. *Water Resources Research* 34 (12) 3661– 3671.
- Radoane, M., Ichim, I. & Radoane, N. (1995) Gully distributionand development in Moldavia, Romania. *Catena* 24: 127–46.
- Salinas J. 2016. Análisis de la concentración, variación y factores de control de la carga en suspensión, en la cuenca del Arroyo Ají. Tesis Lic. en Geología, FCEFQyN-UNRC. 277 pags.
- Torri D, J Poesen. 2014. A review of topographic threshold conditions for gully head developmentin different environments. *Earth-Science Reviews* 130 (2014) 73–85.
- Wang N, X Chu, X Zhang. 2021. Functionalities of surface depressions in runoff routing and hydrologic connectivity modeling. *Journal of Hydrology* 593.
- Wang X, X Zhong, S Liu & M Li. 2008. A non- lineartechnique based on fractal method for describing gully-head changes associated with land-use in an aridenvironment in China. *Catena* 72: 106–12.
- Worcel, L, AE Maggi, S Vangeli & CI Chagas. 2020. Cuantificación de la erosión en cárcavas e influencia de la morfometría de la Pampa Ondulada. XXVII CACS, en Actas, pag. 904.
- Zhang Y, Z Yiyang, L Baoyuan, Z Wangd & Z Shuai. 2019. Rill and gully erosion on unpaved roads under heavy rainfall in agricultural Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 284.





CULTIVOS DE COBERTURA Y CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA EN SUELOS DE DIFERENTE GRANULOMETRÍA

Colazo, J.C.^{1,2,*}, M.I. Genero³, M. Monetti⁴, P. Peralta¹

¹ INTA, EEA San Luis; ² UNSL, FICA; ³ INTA, AER Huinca Renancó;

⁴ INTA, AER Gral. Cabrera;

* Cruce Rutas Nacionales 7 y 8, (5730) Villa Mercedes, Prov. de San Luis, colazo.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

El uso de cultivos de cobertura (CC) luego de ha reducido las tasas de erosión eólica en suelos del SO de Córdoba y E de San Luis. Sin embargo la comparación del control de la erosión de diferentes especies como CC es escasa. Es por ello que nuestro objetivo fue evaluar el control de erosión eólica de centeno (*Secale cereale*), triticale (*xTriticosecale*) y trigo (*Triticum aestivum*). Para ello durante el año 2021 instalamos en Villa Mercedes (VM), Huinca Renanco (HR) y General Cabrera (GC) parcelas con colectores para la medición de erosión eólica. La textura del suelo varió desde arenoso-franco (VM) a franco (GC). En cada sitio se evaluó un tratamiento sin cobertura (sC), centeno como CC y una especie alternativa, triticale en VM y HR, mientras que en GC fue trigo. La erosión fue estimada de manera relativa (ER) como el cociente de sedimentos entre CC y sC. También determinamos la implantación, la evolución de la cobertura y el rendimiento de la biomasa aérea al secado del CC. En todos los sitios, la biomasa al secado fue mayor en centeno que en el triticale o en trigo. En centeno los valores variaron entre 2200 y 2875 kg MS ha⁻¹, en triticale entre 2000 y 2200 kg MS ha⁻¹, mientras que en trigo fue de 1896 kg MS ha⁻¹. En todos los sitios en porcentaje de cobertura fue mayor al 30%. La erosión relativa fue menor en centeno en todos los sitios menos en HR. La erosión relativa en centeno varió entre 28 y 39%, en triticale entre 25% y 42% y para trigo fue de 63%. Esto significa que años sin grandes limitantes hídricas para la implantación del CC el triticale muestra rango de valores similares al centeno para control de la erosión eólica no así el trigo.

Palabras clave: Cultivos de servicio, maní, centeno, triticale, trigo.

INTRODUCCIÓN

La reducción de cobertura vegetal durante el invierno y la primavera incrementa el riesgo de erosión eólica en la región central del país, coincidente con las épocas de mayor erosividad. Además, en cultivos como el maní, el disturbio producido en la operación de arrancado de su fruto incrementa la erodabilidad potencial, especialmente en suelos de textura gruesa (Allochis & Quintana, 2016). Es por ello que mantener el suelo cubierto luego de este cultivo, es una de las prácticas más efectivas para disminuir las tasas de erosión eólica, especialmente en periodos donde el viento es de alta frecuencia e intensidad. La vegetación, al igual que cualquier elemento rugoso, reduce la fuerza generada por el viento, disminuyendo la velocidad y permitiendo la sedimentación de partículas (Méndez, 2010).

El uso de cultivos de cobertura (CC) luego de maní ha mostrado una importante reducción de la erosión eólica en suelos del SO de Córdoba y E de San Luis (Colazo *et al.*, 2017). Evaluaciones previas han demostrado la eficiencia de diferentes momentos de siembra de los cultivos de cobertura en la producción de biomasa y control de la erosión eólica (Colazo & Genero, 2020). Otros aspectos tecnológicos como la selección de la especie han sido escasamente estudiados. Estudios en la región han demostrado que existen especies con diferente velocidad de crecimiento, siendo de las precoces los centenos (*Secale cereale*) diploides comparados con triticale (*xTriticosecale*) o trigo (*Triticum aestivum*) (Alvarez *et al.*, 2013; Colazo & Bongiovanni, 2020).



El uso de variedades de crecimiento más lento facilitaría la adopción de esta práctica en siembras tempranas ya que disminuiría el riesgo de pérdidas de cosecha (Genero, 2020). Es por ello que nuestro objetivo fue evaluar el control de erosión eólica de centeno y de especies como triticale o trigo en suelos con diferente granulometría.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Tabla 1 muestra las principales características de los sitios de estudio. En cada sitio existieron un tratamiento sin cultivo de cobertura (sCC) y dos tratamientos con cultivos de cobertura: centeno y triticale en Villa Mercedes y Huinca Renancó, y centeno y trigo en General Cabrera.

Tabla 1. Principales características del estudio en cada sitio de estudio. VM = Villa Mercedes, HR = Huinca Renanco, GC = General Cabrera, UT = Ustipsament típico, HE = Haplustol éntico, AF = arenoso franco, FA = franco arenoso, F = franco, CC = cultivo de cobertura, FS = fecha de siembra, FT = fecha de terminación o secado.

Sitio	Suelo	Textura	CC 1	CC 2	FS	FT	Medición
VM	UT	AF	Centeno	Triticale	Mayo	Nov	17/9-22/12
HR	HE	FA	Centeno	Triticale	Mayo	Oct	27/8-28/10
GC	HE	F	Centeno	Trigo	Mayo	Nov	2/8 -24/11

A la emergencia del cultivo se determinó el número de plantas logrado. Durante el ciclo del mismo, la cobertura fue evaluada mediante métodos digitales utilizando el programa CobCal 2.1 (Ferrari *et al.*, 2011). Al momento del secado el rendimiento del cultivo de cobertura fue evaluado por corte utilizando un aro de 0,5 m² por triplicado. En cada tratamiento se cuantificó el material erosionado en una parcela de 1 ha compuesta por 4 mástiles con 3 colectores Big Spring Number Eighth (BSNE) dispuestos a 0,135 m, 0,5 m y 1,5 m de altura (Zobeck *et al.*, 2003). Para estimar la eficiencia de control, se calculó la erosión relativa (ER) como el cociente entre el total de sedimento recolectado entre las parcelas con cultivos de cobertura dividido la parcela sin cultivo de cobertura (CC/sC x 100).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implantación, evolución de la cobertura y rendimiento de los cultivos de cobertura

La emergencia media de los cultivos de cobertura varió entre 75 y 201 pl m² para el centeno, 70 y 231 pl m² para el triticale y fue de 156 pl m² para el trigo. En el caso del centeno los mayores valores correspondieron a cuando el mismo fue incorporado al suelo en lugar de voleado. Para el triticale la mayor emergencia se produjo en el sitio con mayores precipitaciones durante el otoño. Estos resultados coinciden con valores previos reportados en la zona (Colazo *et al.*, 2017; Genero, 2020).

Los niveles de cobertura variaron entre 27 y 71% para el trigo, entre 35 y 65% para triticale, y entre 40 y 79%. En VM y GC la cobertura del centeno fue mayor en todas las fechas de muestreo, mientras que en HR fue el triticale. Todos estos niveles se encuentran por encima de los niveles críticos para la medición de erosión eólica (Mendez *et al.*, 2010). En todos los sitios, la biomasa al secado fue mayor en centeno que en el triticale o en trigo. En centeno los valores variaron entre 2200 y 2875 kg MS ha⁻¹, en triticale entre 2000 y 2200 kg MS ha⁻¹, mientras que en trigo fue de 1896 kg MS ha⁻¹.

Erosión relativa

La erosión relativa fue menor en centeno en todos los sitios menos en HR. La erosión relativa en centeno varió entre 28 y 39%, en triticale entre 25% y 42% y para trigo fue de 63% (Figura 1).



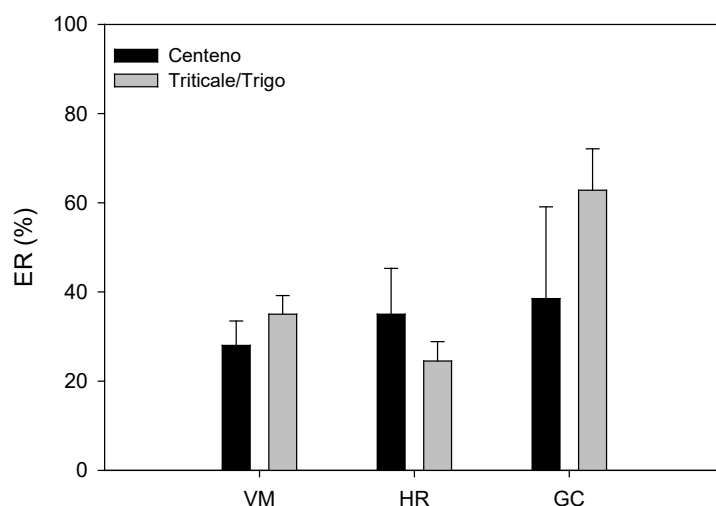


Figura 1. Erosión relativa (ER) entre la parcela con cultivo de cobertura y sin cultivo de cobertura en los tres sitios de estudio, Villa Mercedes (VM), Huinca Renanco (HR) y General Cabrera (GC). La barras verticales indican el desvío estándar.

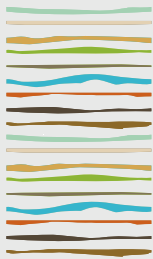
CONCLUSIONES

Esto significa que años sin grandes limitantes hídricas para la implantación del cultivo de servicio el triticale muestra rango de valores similares al centeno para control de la erosión eólica no así el trigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allochis, H & V Quintana. 2016. Efecto del maní sobre las propiedades físicas y la erosión eólica en suelos de texturas contrastantes de la Región Semiárida Pampeana. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. UNLPam [Santa Rosa, Argentina].
- Álvarez, C; A Quiroga; D Santos & M Bodrero. 2013. Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. Editorial INTA. CABA. 195 pp.
- Colazo JC; RJ Haro; M Genero; M Vicondo; C Cazorla & C Álvarez. 2017. Efectos de un Cultivo de Cobertura post-maní sobre el control de la erosión eólica en Huinca Renanco. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales* 9. Maní: 80-84.
- Colazo JC & M Bongiovanni. 2020. Tecnologías de cultivos de cobertura. En: JC Colazo & JA Garay (Eds.). Cultivos de cobertura en San Luis. Información Técnica 197. EEA San Luis. Ediciones INTA. Pp 1-28.
- Colazo JC & M Genero. 2020. Control de erosión eólica luego de maní. En: JC Colazo & JA Garay (Eds.), Cultivos de cobertura en San Luis. Información Técnica 197. EEA San Luis. Ediciones INTA. Pp. 29-34.
- Genero, MI. 2020. Evaluación de cultivos de cobertura en siembras aéreas y pérdidas de cosecha en maní. Informe técnico. Disponible en: <https://inta.gob.ar/>. 14 de septiembre de 2022.
- Ferrari, DM; H Ferrari & MC Ferrari. 2011. Software de cobertura vegetal para la aplicación en mecanización agrícola.
- Mendez, MJ. 2010. Medición y predicción de la erosión eólica en la región semiárida argentina. Tesis para optar al grado de doctor en agronomía. UNS. [Bahía Blanca, Argentina].
- Zobeck, TM; G Sterk; R Funk; JL Rajot, JE Stout & S. Van Pelt. 2003. Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surf. Process. Landforms* 28: 1163-1188.





RIESGO A LA EROSIÓN EÓLICA EN DIFERENTES SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL SUR DE CÓRDOBA

Colazo, J.C.^{1,2,*}, E. Scherger³, R. Torregrossa⁴, C. Álvarez⁵, S. Almirón⁶

¹ INTA, EEA San Luis;

² UNSL, FICA;

³ Gentos; ⁴ Actividad Privada;

⁵ INTA, AER Gral. Pico;

⁶ AAPRESID, Programa Sist. Chacras

* Cruce Rutas Nacionales 7 y 8, (5730) Villa Mercedes, Prov. de San Luis, colazo.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

En el Sur de Córdoba la simplificación en los sistemas de producción ha incrementado el riesgo a la erosión eólica, debido a los cambios en la dinámica de la cobertura vegetal y al uso del suelo. Por lo tanto, nuestro objetivo fue evaluar la fracción erosionable por el viento en diferentes manejos en el sur de Córdoba. Para ellos en tres macro-ambientes (Oeste, Centro y Este) y cuatro manejos: Monte (P), Mixto (M), Agricultura sin maní (A0) y Agricultura con maní (A1) se tomaron muestras sin disturbar para la determinación de la fracción erosionable por el viento (FE) usando un tamiz rotativo. Además se tomaron muestras para la determinación de materia orgánica (MO) y textura. Existió interacción entre el manejo y el macro-ambiente para la FE. En el Oeste, la FE fue similar entre manejos y con valores por encima del umbral, en el Este también fue similar entre manejos, pero con valores por debajo del umbral. En el centro, la FE de A1 fue mayor, presentando valores por encima de 40%. La FE se relacionó de manera lineal y negativa con la MO y de manera lineal y positiva con el contenido de arena. En suelos con más del 70% de arena es necesario el uso de cultivos de servicio para controlar la erosión, mientras que este umbral se reduce a 60% para aquellas secuencias con maní.

Palabras clave: fracción erosionable por el viento, agricultura, cultivos de servicio, maní.

INTRODUCCIÓN

En el Sur de Córdoba los sistemas ganaderos o mixtos han sido reemplazados por sistemas de agricultura continua, basados principalmente en cultivos estivales. Entre éstos, el maní tiene una importante participación. Esta simplificación en los sistemas ha incrementado el riesgo de erosión, debido a los cambios en la dinámica de la cobertura vegetal. La predominancia de los suelos arenosos, la alta frecuencia de fuertes vientos y la gran variabilidad de las precipitaciones determinan que la erosión eólica sea la predominante en esta zona (Cisneros *et al.*, 2015).

La fracción erosionable por el viento es un indicador de la susceptibilidad del riesgo a la erosión. La misma ha sido utilizada para evaluar el riesgo de erosión y la influencia del manejo en sistemas similares en suelo de La Pampa y San Luis (Colazo *et al.*, 2010). Actualmente debido al incremento en el uso de cultivos de servicio en la región, es posible encontrar un mayor grado de intensificación y diversificación (Bolsa de Cereales, 2020). Sin embargo, a pesar de que la importancia de la problemática no existe estudios que cuantifiquen el efecto del manejo en el riesgo a la erosión. Es por ello que el objetivo del siguiente trabajo fue evaluar la fracción erosionable por el viento en diferentes manejos en el Sur del Córdoba.



MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio correspondió al departamento General Roca en el Sur de la provincia de Córdoba. Las precipitaciones varían entre 800 mm en el O a 900 mm en el E, mientras que la textura de los suelos varía de arenosa – franca a franca en el mismo sentido (Faule *et al.*, 2020).

En función de los cambios de la tierra producidos en la región se seleccionaron los siguientes tratamientos:

a) Monte o pastizal natural (P): sin uso agrícola al menos por los últimos 50 años.

b) Agrícola sin maní (A0): lotes bajo agricultura permanente durante al menos los últimos 10 años, debiendo contar con dos a tres cultivos invernales de cosecha o servicio (no pastoreados) durante las últimas cinco campañas.

c) Agrícola con maní (A1): lotes bajo agricultura permanente durante al menos los últimos 10 años, debiendo presentar durante la última campaña un cultivo de maní.

d) Mixto agrícola-ganadero (M): lotes bajo pastura perenne de alfalfa de entre dos y cuatro años, debiendo contar previo a la siembra de alfalfa con cuatro a cinco años de agricultura continua.

Además para seleccionar los lotes fue tomada en cuenta la clasificación realizada por Faule *et al.* (2020) de los macroambientes del departamento General Roca: Oeste, Centro y Este. Cada tratamiento estuvo representado por tres unidades de muestreo (lotes). En cada una de ellas se tomaron 3 réplicas, por lo que en total se tomaron 108 muestras (3x3x4x3).

El muestreo fue realizado durante el otoño de 2020. Muestras sin disturbar de los primeros 2,5 cm fueron tomadas con pala y almacenadas en bandeja de plástico. Una vez secas al aire la fracción erosionable por el viento (FE) fue determinada como la proporción de agregados menores a 0,84 mm usando un tamiz rotativo (Colazo *et al.*, 2010). También fueron tomadas con barreno muestras de los primeros 20 cm. En ellas se determinó el contenido de MO por oxidación húmeda y la textura por el método de la pipeta.

Los valores medios de FE fueron analizados mediante un ANOVA doble con manejo y macro-ambiente como niveles principales. En caso de existir interacción cada manejo fue comparado dentro de cada macro-ambiente mediante una prueba de comparación de medias. Las relaciones de FE con MO y arena fueron analizadas mediante regresiones lineales simples. Todas las pruebas se realizaron con un nivel de significación del 5% (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existió interacción entre el manejo y el macroambiente para la FE ($P < 0,05$), lo que significa que el efecto del manejo depende del macroambiente (Figura 1). Resultados similares fueron descriptos por Colazo *et al.* (2010) quienes encontraron una interacción entre el manejo y la textura, siendo FE sensible al manejo en suelos textura intermedia. En el Oeste, no existieron diferencias entre manejos, siendo el valor promedio 55%. Este valor se encuentra por encima de 40%, valor equivalente al umbral considerado para una erosión tolerable (Colazo *et al.*, 2010). En el Este la FE también fue similar entre manejos, pero con valores por debajo de 40%. En cambio en el Centro, existieron diferencias entre manejos presentado A1 los mayores valores. Además, a diferencia del resto, este valor se encontró por encima del valor umbral. Estos resultados coinciden con Allochis & Quintana (2016) quienes reportaron mayores valores de FE luego del arrancado de maní, comparado con lotes sin la presencia de este cultivo en la secuencia.



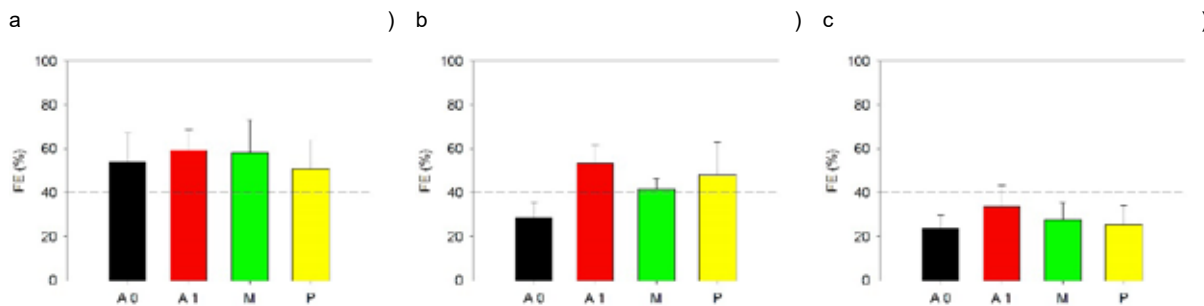


Figura 1. Fracción erosionable por el viento (FE) en función de cuatro manejos: Agricultura sin maní (A0), Agricultura con maní (A1), mixto (M) y prístino (P) en tres macro – ambientes del S de Córdoba, a) Oeste, b) Centro y c) Este.

La Figura 2 muestra la relación de FE con MO y arena. El modelo lineal fue el que mejor ajustó la relación entre las mismas. Estos resultados coinciden con los de Dios Herrero *et al.* (2014) en suelos de textura similares. Existieron diferencias entre las pendientes de A0 y A1. En general esto significa una mayor FE por una disminución de MO y aumento de arena en suelos con maní y con menor proporción de cultivos de servicio. En suelos con agricultura sin maní, este valor umbral se alcanza con aproximadamente 1% de MO y 70% de arena. En suelos con niveles inferiores de MO o superiores de arena, la estructura del suelo es insuficiente para controlar eficientemente a la erosión y el rol de la cobertura cobra una relevancia fundamental. En el caso de los suelos con maní, estos niveles son de aproximadamente 1,75% de MO y 60% de arena

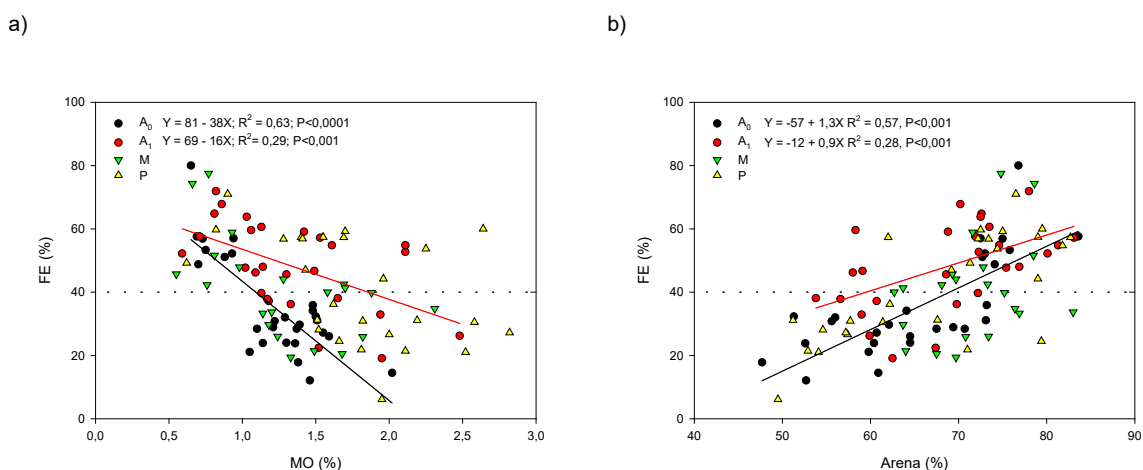


Figura 2. Fracción erosionable por el viento (FE) en función de a) materia orgánica (MO) y b) proporción de arena. A0 = Agricultura sin maní, A1= Agricultura con maní, M= mixto y P= prístino. La línea discontinua muestra valores umbrales. Las líneas continuas muestran la relación lineal entre variables para A0 (negro) y A1 (rojo).

CONCLUSIONES

El riesgo de erosión eólica es alto en macroambiente Oeste independientemente del manejo, mientras que en el Este es bajo. En el macroambientes Centro, la agricultura con maní muestra valores de FE por en encima del umbral. En suelos con más del 70% de arena es necesario el uso de cultivos de servicio para controlar la erosión, mientras que este umbral se reduce a 60% para aquellas secuencias con maní.

AGRADECIMIENTOS

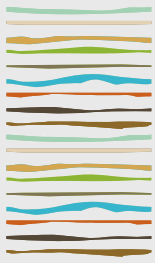
Estos resultados corresponden a las actividades llevadas a cabo por la Chacra Sur de Córdoba (convenio AAPRESID – INTA). Se agradece a los miembros fundadores de la misma como así también al gobierno de la provincia de Córdoba por el financiamiento, y a AGD servicios tecnológicos por aportar todos los análisis químicos realizados en las muestras de suelo.



BIBLIOGRAFÍA

- Allochis, H & V Quintana. 2016. Efecto del maní sobre las propiedades físicas y la erosión eólica en suelos de texturas contrastantes de la Región Semiárida Pampeana. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. UNLPam [Santa Rosa, Argentina].
- Bolsa de Cereales. 2020. Indicadores regionales. Campaña 2018/19. Informe ReTAA 30. Departamento de Investigación y Prospectiva. Disponible en: <https://www.bolsadecereales.com/>. 14 de septiembre de 2022.
- Cisneros, JM; A Degioanni; J González; C Cholaky; J Cantero; A Cantero Gutiérrez & J Tassile. 2015. Provincia de Córdoba. En: R Casas & M Albarracín (eds.). El deterioro del suelo y del ambiente en Argentina. Tomo 2. Pp 87-100.
- Colazo J.C. & D.E. Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.
- de Dios Herrero J.M., J.C. Colazo & D.E. Buschiazzo. 2013. Estimación de la fracción erosionable por el viento en suelos de la provincia de San Luis. En: Actas de las Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos, Buenos Aires. (En CD).
- Di Rienzo, JA; F. Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2017. *InfoStat v. 2017*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Faule, L; Lanfranco, MF; Torregrosa, RS; Renaudeau, S. 2020. Caracterización edafo-climática del departamento General Roca, Córdoba. En: Actas del XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables. Corrientes, AR, Editorial Asociación Argentina de Ciencia del Suelo.





EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LAS FRACCIONES DE AZUFRE Y NITRÓGENO EN EL SUELO

Crespo, C.^{1,2,*}, N. Wyngaard^{1,2}, H.R. Sainz Rozas^{1,2,3}, G.A. Studdert¹, M. Barraco⁴, V. Gudelj⁵, P. Barbagelata⁶, P.A. Barbieri^{2,3}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

³ Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce (INTA);

⁴ EEA General Villegas (INTA);

⁵ EEA Marcos Juárez (INTA);

⁶ EEA Paraná (INTA)

* Ruta Nacional 226, km 73,5, (B7620BKL) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, ccrespo@mdp.edu.ar

RESUMEN

La intensificación de secuencias agrícolas a través de la incorporación de cultivos de cobertura (CC) y/o la fertilización de cultivos, surge como una alternativa para disminuir y/o revertir la degradación de los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de CC y la fertilización en secuencias con predominio de soja, sobre distintas fracciones de nitrógeno (N) y azufre (S) en el suelo. Los experimentos se realizaron en Molisoles de 4 localidades de la Región Pampeana con textura superficial contrastante, luego de 10 años de implementadas dichas prácticas de manejo. Se determinó N y S orgánico (Norg y Sorg) y el N anaeróbico (Nan). Los resultados de Norg y Sorg mostraron un efecto benéfico de la inclusión de los CC respecto al monocultivo de soja. Los cambios ocasionados por esta práctica fueron mayores en sitios de textura más fina. El Nan presentó diferencias entre tratamientos, siendo superior en aquéllos con CC, y, además, se detectó un efecto positivo en esta variable debido a la aplicación de P y S en soja. En los sistemas de cultivo con predominio de soja, la fertilización y el uso de CC puede impactar positivamente en los contenidos de N y S del suelo, sin embargo, la magnitud de ese efecto positivo dependerá de las características edafoclimáticas de cada sitio.

Palabras clave: intensificación de secuencias agrícolas, textura, clima.

INTRODUCCION

En la Región Pampeana se ha registrado, en las últimas décadas, una marcada disminución de los contenidos de nitrógeno (N) y azufre (S) en el suelo (Galantini y Suñer, 2008). Por lo tanto, para mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas, mantener los rendimientos de los cultivos y minimizar la dependencia de los fertilizantes, es necesario implementar prácticas de manejo que reviertan o reduzcan la caída de los contenidos de N y S en el suelo.

En los sistemas de cultivo con predominio de soja, algunas prácticas de intensificación como la fertilización y el uso de cultivos de cobertura (CC) pueden modificar el ciclado de los nutrientes en los sistemas agrícolas. El efecto de la fertilización en los niveles de N y S del suelo depende de la magnitud de la respuesta del cultivo a la fertilización y de los niveles iniciales de materia orgánica (MO) y nutrientes del suelo (Campbell *et al.*, 1991; Mahal *et al.*, 2019). Por su parte, el uso de gramíneas como CC permite la retención de nutrientes móviles en la biomasa vegetal que, por lo tanto, no están sujetos a pérdidas por lavado (Martínez *et al.*, 2022). Sin embargo, es probable que la magnitud de este efecto varíe entre sitios con condiciones edáficas y climáticas contrastantes.



Las formas orgánicas de N y S (Norg y Sorg) se convierten en formas inorgánicas (Ninorg y Sinorg) a través del proceso de mineralización. Debido al importante aporte que dicho proceso tiene en la nutrición de los cultivos (Eriksen *et al.*, 1995), el mismo debe ser considerado para predecir con precisión la disponibilidad de N y S para los cultivos. El N liberado durante una incubación anaeróbica corta (N anaeróbico, Nan) es un estimador rápido y preciso del N potencialmente mineralizable (Wyngaard *et al.*, 2018) y ha mostrado una alta correlación con el S mineralizado en incubaciones aeróbicas cortas (Carciochi *et al.*, 2014). Las fracciones orgánicas generalmente se descomponen más rápido en suelos de textura gruesa que en suelos arcillosos (Ladd *et al.*, 1985) debido a la menor protección física. En consecuencia, se espera que la proporción del total de N y S en formas orgánicas sea menor en suelos con textura gruesa.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de CC y la fertilización sobre fracciones de N y S, y el Nan en secuencias con predominio de soja en cuatro ambientes de la Región Pampeana luego de 10 años de iniciadas las secuencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron cuatro ensayos de larga duración, comenzados en el ciclo 2006/2007: Sitio 1: Balcarce, Buenos Aires, sobre un Argiudol Típico con textura superficial franca; Sitio 2: Marcos Juárez, Córdoba, sobre un Argiudol típico con textura superficial franco-limosa; Sitio 3: Paraná, Entre Ríos, sobre un Argiudol Ácuico con textura superficial franco arcillo-limosa; y Sitio 4: General Villegas, Buenos Aires, sobre un Hapludol Típico con textura superficial franco-arenosa. La temperatura media (promedio 2007-2017) fue de 14,0, 18,1, 18,9, y 17,0°C para los Sitios 1, 2, 3, y 4, respectivamente. La mediana anual de precipitaciones fue 719, 768, 886, y 819 mm para los Sitios 1, 2, 3, y 4, respectivamente. A fin de caracterizar el estado inicial de cada sitio, se realizó una estimación del nivel de saturación con CO en cada localidad. Para ello, se analizó información bibliográfica de CO de situaciones prístinas para cada localidad y se promediaron para cada sitio para estimar el valor de CO de referencia. A partir del cociente entre el CO al inicio del ensayo, y el CO de referencia, se obtuvo el porcentaje de saturación con CO en cada localidad en el 2007, momento en el cual se implantaron los ensayos. Dicha estimación resultó en un 73, 78, 69 y 92% de saturación para Balcarce, Marcos Juárez, Paraná y General Villegas, respectivamente.

El diseño experimental de los ensayos en los cuatro sitios fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones e incluyeron los siguientes tratamientos: 1) soja continua sin fertilización (Sj); 2) soja continua fertilizada con P y S (Sjf); 3) CC/soja; y 4) CC / soja con P y S (CC/Sjf). Los cultivos se sembraron bajo siembra directa. Los CC utilizados fueron avena (*Avena sativa* L.) en el Sitio 1, Triticale (x *Triticosecale wittmack*) en el Sitio 2, trigo en el Sitio 3 y centeno (*Secale cereale* L.) en el Sitio 4, y su secado se realizó en el estado de encañazón avanzado a preemergencia floral mediante una aplicación de 3-4 L ha⁻¹ de glifosato (48% i.a.). En otoño de 2017 (10 años después de iniciados los ensayos) se tomaron muestras compuestas de suelo (5 sub-muestras) de los estratos 0-5 y 5-20 cm de profundidad de cada unidad experimental. Se determinó N total por el método de Dumas (LECO, 2011), Ninorg con el método del ácido fenoldisulfónico (Keeney y Nelson, 1982), y Norg por diferencia entre N total y Ninorg. Se determinó el Nan mediante el método de incubación anaeróbica corta (7 días) a 40 °C (Waring y Bremner, 1964). El Sorg se determinó por diferencia entre el S total (determinado a través de una digestión con ácido perclórico y posterior cuantificación del S por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido) y Sinorg (determinado mediante la técnica turbidimétrica, Johnson, 1987). El Norg y Sorg se expresaron en kg ha⁻¹, y para el estrato 0-20 cm, se sumaron los contenidos de 0-5 y 5-20 cm. El Nan se determinó para el estrato 0-20 cm prorrateando los niveles en 0-5 y 5-20 cm y se expresó en mg kg⁻¹.

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza evaluándose el efecto del sitio y de los tratamientos como variables fijas y el bloque anidado dentro del sitio como aleatoria. Posteriormente, se realizaron análisis de varianza para cada sitio. Las medias de tratamiento fueron comparadas mediante el test de diferencias mínimas significativas ($p < 0,05$, INFOSTAT, Di Rienzo *et al.*, 2011). Para analizar la asociación entre variables se utilizaron coeficientes de correlación de Pearson. (Di Rienzo *et al.*, 2011).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Norg y el Sorg representaron, en promedio, un 99,2% y un 98,5% del N y S totales, respectivamente. En los primeros 5 cm, Balcarce y Paraná tuvieron los mayores stocks de Norg y Sorg. Sin embargo, esta tendencia cambió en 5-20 cm, donde Balcarce presentó el mayor contenido, diferenciándose del resto de los sitios (datos no mostrados). En promedio, el Norg en secuencias con CC fue 30, 25 y 20% mayor que en los monocultivos de soja para Marcos Juárez, Paraná, y General Villegas, respectivamente (Figura 1). En Balcarce, si bien las diferencias no fueron significativas, se observó una tendencia a mayor Norg en tratamientos con CC (~17%). En el estrato sub-superficial, sólo Paraná registró un incremento promedio de 18% entre tratamientos con CC y soja (Figura 1). La capacidad de las gramíneas como CC de aumentar el Norg en comparación con los monocultivos de soja, es principalmente una consecuencia de su capacidad para absorber $N-NO_3^-$ que, de otra manera, se perdería por lixiviación durante los períodos de barbecho (Martínez *et al.*, 2022).

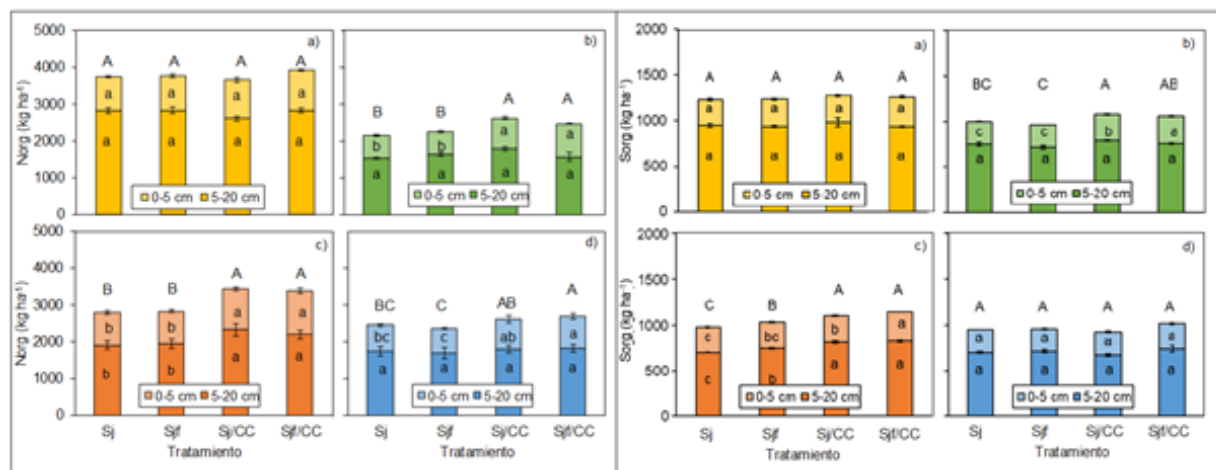


Figura 1: Nitrógeno orgánico (Norg) y azufre orgánico (Sorg) en 0-5, 5-20 y 0-20 cm de profundidad para los distintos tratamientos en Balcarce (a), Marcos Juárez (b), Paraná (c) y General Villegas (d). Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media. Letras mayúsculas (0-20 cm) y minúsculas (0-5 y 5-20 cm) diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según test diferencia mínima significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos, para cada sitio.

Se observaron diferencias en Sorg entre tratamientos en 0-5 cm (Figura 1) en Marcos Juárez y Paraná, donde las secuencias de cultivos que incluían CC mostraron un contenido de Sorg 18% y 16% mayor que S_j, respectivamente. Por su parte, Balcarce y General Villegas mostraron una tendencia a mayores niveles de Sorg en S_j/CC y S_{jf}/CC, pero las diferencias no fueron significativas. Los resultados obtenidos para Paraná y Marcos Juárez podrían estar asociados a la textura de dichos suelos. En este sentido, Galantini *et al.* (2004) observaron una relación positiva entre el S total y el contenido de arcilla+limo de suelos de la Región Pampeana bajo similar manejo. De este modo, Paraná y Marcos Juárez, que se caracterizan por tener una textura más fina, registraron diferencias en Sorg al incluir CC. En el estrato 5-20 cm, las diferencias entre los tratamientos sólo fueron significativas en Paraná (Figura 1), donde no sólo la inclusión de CC produjo un incremento en el Sorg, sino que se encontraron diferencias entre S_{jf} y S_j (~42 kg Sorg ha⁻¹).

Al integrar ambos estratos (0-20 cm) tanto el Norg como el Sorg mostraron tendencias similares a las determinadas en el estrato superficial (Figura 1). No obstante, la mayor magnitud de las diferencias de entre los tratamientos en la capa de 0-5 cm en comparación con los 5-20 cm y/o 0-20 cm resulta de la estratificación de la MO causada por la siembra directa (Wyngaard *et al.*, 2012).

Se determinaron diferencias entre tratamientos en el Nan para todas las localidades. Los tratamientos con CC presentaron un mayor Nan que S_j en todas las localidades (Tabla 1). El incremento relativo en el Nan debido a los CC no fue mayor en suelos de textura más gruesa, pero sí en aquellos suelos que presentaban menor Norg. Los incrementos ocasionados por la intensificación de secuencias con CC fueron cercanos a un 50% (Tabla 1). En este sentido, Brock *et al.* (2004) informaron que, en suelos con períodos relativamente largos con raíces activas, como ocurre en rotaciones con CC, la capacidad de mineralización de los mismos puede aumentar, proporcionando un hábitat adecuado para el desarrollo de microorganismos. Además, en

Marcos Juárez y General Villegas, la fertilización del cultivo de soja (Sjf) produjo un incremento en el Nan en comparación con Sj en tratamientos con y sin CC. En un meta-análisis, Santachiara *et al.* (2019) informaron que la fertilización con P y S aumentó el N derivado de la fijación biológica de N (FBN) (> 70% por P y 6% por S, respectivamente). Además, Collino *et al.* (2015) reportaron que, cuando los nutrientes no son limitantes, más del 60% del N total se deriva de la FBN. Por tanto, el mayor Nan en tratamientos fertilizados (Sjf) probablemente sea consecuencia de la acumulación de N derivado de la FBN.

Tabla 1: Nitrógeno anareóbico en 0-20 cm de profundidad para los distintos tratamientos en los cuatro sitios. Valores entre paréntesis indican error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según test diferencia mínima significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos, para cada sitio.

Tratamiento	Nan (mg kg ⁻¹)			
	Balcarce	Marcos Juárez	Paraná	General Villegas
Sj	41,0 (3,3) b	27,9 (1,0) c	43,3 (2,8) b	28,2 (2,5) d
Sjf	39,0 (2,0) b	44,0 (1,0) b	48,5 (2,5) b	45,0 (1,7) b
Sj/CC	55,4 (2,6) a	41,8 (1,0) b	55,0 (4,9) ab	35,7 (1,9) c
Sjf/CC	60,9 (2,7) a	56,9 (2,3) a	67,7 (5,1) a	55,3 (2,0) a

Se registró una correlación positiva, aunque débil, entre el contenido de Norg y de Sorg y el contenido de arcilla del suelo (Tabla 2). Se ha informado que un mayor contenido de partículas finas tiene un impacto positivo en la cantidad de compuestos orgánicos solubles que pueden adsorberse en las superficies minerales (Kaiser y Guggenberger, 2003). Sin embargo, cuando los suelos presentan un estado de degradación diferente (estimado a través de su saturación de CO) y distintas condiciones ambientales, como en estos experimentos, la relación entre Norg y Sorg con la textura del suelo es menos marcada. Las condiciones ambientales (*i.e.* temperatura y precipitaciones) regulan el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, los posibles aportes de residuos al suelo. No obstante, el clima también afecta la descomposición de la MO. La temperatura se correlacionó negativamente con el Norg y Sorg (Tabla 2), mientras que las precipitaciones sólo se correlacionaron de manera positiva con Sorg. En este sentido, Balcarce presentó los mayores stocks de Norg y Sorg, y esta localidad se caracteriza por una temperatura 3-5°C inferior a las otras. Estos resultados indican que el efecto de la temperatura predomina sobre el potencial de mineralización, mientras que las precipitaciones limitan la producción de los cultivos y los residuos devueltos al suelo en la Región Pampeana (Andrade y Sadras, 2002) y, en consecuencia, los contenidos de Sorg de los mismos. Por otro lado, el estado de degradación del suelo, estimado por la saturación del CO, se correlacionó negativamente con Norg y Sorg. Balcarce, Marcos Juárez, y Paraná, a pesar de presentar una prolongada historia agrícola, mostraron mayores niveles de Norg y Sorg que General Villegas, lo que explicaría la correlación negativa. De este modo, para entender las respuestas en Norg y Sorg a las prácticas de intensificación en suelos con diferentes estados de degradación, deben tenerse en cuenta la textura del suelo y el clima, ya que todas estas variables pueden interactuar y dar lugar a respuestas diferenciales.

Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson para las variables en 0-20 cm. Valores en negrita indican correlaciones significativas ($p < 0,05$).

	Norg	Sorg	Nan	Arcilla	Limo	Arena	PP	Temp
Sorg	0,84							
Nan	0,42	0,43						
Arcilla	0,35	0,46	0,32					
Limo	-0,21	-0,05	0,13	0,80				
Arena	0,08	-0,08	-0,18	-0,88	-0,99			
PP	-0,28	0,53	-0,15	0,01	0,19	-0,15		
Temp	-0,61	-0,67	0,02	0,16	0,61	-0,52	0,51	
Saturación CO	-0,55	-0,57	-0,39	-0,96	-0,60	0,72	-0,88	-0,03



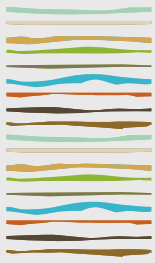
CONCLUSIONES

Luego de 10 años de desarrollo de distintas secuencias, se determinó un efecto benéfico sobre el Norg y Sorg de la inclusión de CC. Si bien este efecto no fue significativo en todos los sitios, la tendencia a mayores contenidos de Norg y Sorg fue consistente en las cuatro localidades. Los cambios ocasionados por los CC fueron mayores en sitios de textura más fina. A su vez, las condiciones climáticas (temperatura y precipitaciones) explicaron parte de la variabilidad en el Norg y Sorg. El Nan resultó sensible tanto a la inclusión de CC en todos los sitios, como a la fertilización del cultivo de soja en Marcos Juárez y General Villegas.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, FH & VO Sadras. 2002. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Andrade, F.H.; Sadras, V.O. (eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina: Grafica Sirio. pp. 175-203.
- Brock, TD; DW Smith & MT Madigan. 2004. Biología de los microorganismos (10th ed.), Pearson, Madrid, España.
- Campbell, C; R Zentner; K Bowren; L Townley-Smith; & M Schnitzer. 1991. Effect of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71: 377-387.
- Carciochi, WD; GA Divito; NI Reussi-Calvo; N Wyngaard & HE Echeverría. 2014. Evaluación de metodologías de mineralización de azufre en incubaciones aeróbicas cortas. Actas 24° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, mayo de 2014.
- Collino, DJ; F Salvagiotti; A Peticari; CF Piccinetti; G Ovando; G Urquiaga & R Racca. 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil.* 392, 239-252.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada, M & CW Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>. (Acceso: Noviembre 2020)
- Eriksen J; JV Mortensen; JD Nielsen; NE Nielsen. 1995. Sulphur mineralisation in five Danish soils as measured by plant uptake in a pot experiment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 56: 43–51.
- Galantini, JA, & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia.* 25: 41-55.
- Galantini, JA; N Sensei; G Brunetti & R Rosell. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in Semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma.* 123:143-152.
- Johnson, GV. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. In: Brown, J.R. (ed.). *Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation.* Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America. pp. 89-96
- Kaiser, K. & G Guggenberger. 2003. Mineral surfaces and soil organic matter. *Eur. J. Soil Sci.* 54: 219–236.
- Keeney, DR; & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney D.R. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. pp. 643-698.
- Ladd, JN; M Amate & JM Oades. 1985. Decomposition of plant material in Australian soils: III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. *Aus. J. Soil Res.* 23: 603– 611.
- LECO, 2011. Organic application notes. <http://www.leco.com/> (Acceso: Septiembre 2015)
- Mahal, NK; MJ Castellano; & FE Miguez. 2018. Conservation agriculture practices increase potentially mineralizable nitrogen: A Meta-Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 8: 1270–1278.
- Martínez, JP; C Crespo; M Cuervo; H Echeverría; F Martínez; G Cordone & P Barbieri. 2022. Sustainable intensification of agriculture improves soil nitrogen in the Argentinean Humid Pampas. *Agronomy J.* <https://doi.org/10.1002/agj2.21063>
- Santachiara, G; F Salvagiotti & JL Rotundo. 2019. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: a meta-analysis. *Field Crop Res.* 240: 106–115.
- Waring, SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged condition as an index of nitrogen availability. *Nature.* 201:951-952.
- Wyngaard, N; ML Cabrera; A Shober & R Kanwar. 2018. Fertilization strategy can affect the estimation of soil nitrogen mineralization potential with chemical methods. *Plant soil.* 432: 75–89.
- Wyngaard, N; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & GA Divito. 2012. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. *Soil Till. Res.* 119:22–30.





EFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO

Crespo, C.^{1,2,*}, N. Wyngaard^{1,2}, H.R. Sainz Rozas^{1,2,3}, G.A. Studdert¹, M. Barraco⁴, V. Gudelj⁵, P. Barba-
gelata⁶, P.A. Barbieri^{2,3}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

³ Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce (INTA);

⁴ EEA General Villegas (INTA);

⁵ EEA Marcos Juárez (INTA);

⁶ EEA Paraná (INTA)

* Ruta Nacional 226, km 73,5, (B7620BKL) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, crespo.cecilia@inta.gob.ar

RESUMEN

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) en rotaciones agrícolas podría modificar la disponibilidad y distribución de fósforo (P) en el suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de CC y la fertilización en secuencias con predominio de soja sobre distintas fracciones de P en el suelo. Los experimentos se realizaron en Molisoles de 4 localidades de la Región Pampeana con textura superficial contrastante, luego de 10 años de implementadas dichas prácticas de manejo. Se determinó P orgánico (Po) e inorgánico (Pi) y P extractable (P-Bray). En general, no se determinaron cambios en el Po ante la inclusión de CC en secuencias con predominio de soja. Sin embargo, se determinó una tendencia a mayor Po en secuencias con CC. El Pi fue mayor en tratamientos fertilizados y, dentro de ellos, en aquéllos sin CC. En general, en aquellos tratamientos donde se aplicó P, el uso de CC no modificó el P-Bray, demostrando que en suelos donde la disponibilidad de P no es limitante, la movilización de P desde fracciones menos lábiles no se ve afectada por el uso de CC. Contrariamente, en los tratamientos no fertilizados, el uso de CC llevó a una disminución del P-Bray, indicando que la inmovilización de P en los residuos de los CC tiende a disminuir su disponibilidad

Palabras clave: intensificación de secuencias agrícolas, textura, fertilización.

INTRODUCCION

En la Región Pampeana, la actividad agrícola continua ha llevado marcadas caídas en los niveles de fósforo (P) extractable (P-Bray, Sainz Rozas *et al.*, 2019). Por lo tanto, es necesario contar con herramientas de manejo que permitan revertir las caídas de dicho nutriente. Una opción económica y ecológicamente viable para incrementar la disponibilidad de nutrientes es la incorporación de cultivos de cobertura (CC) a rotaciones basadas en soja (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Si bien el uso de gramíneas como CC no implica un aporte de nutrientes al suelo per se, los mismos impactan sobre el ciclado de los nutrientes, pudiendo modificar su disponibilidad para los cultivos de cosecha sucesores. En secuencias fertilizadas con P, los CC pueden mejorar la eficiencia de uso del P de fertilizantes, aumentando la actividad biológica del suelo o la absorción desde fracciones inorgánicas disponibles de P en suelos con alta capacidad de sorción de P (Kuo *et al.*, 2005).

Los CC absorben el P del suelo bajo formas inorgánicas (en solución) y lo devuelven al mismo a través de los residuos vegetales. Dentro de la biomasa de los residuos vegetales, el P se encuentra bajo la forma de especies químicas inorgánicas (Pi) y orgánicas (Po) de distinta labilidad (Noack *et al.*, 2012) que, al descomponerse, podrían generar cambios en las fracciones de P del suelo. Sin embargo, es probable que el efecto de los CC sea afectado por las características del suelo. Se ha reportado que la capacidad de acumulación de Po de los suelos depende de su textura (O'Halloran *et al.*, 1985). Por lo tanto, resulta relevante analizar el



impacto a largo plazo de la inclusión CC en las fracciones de P en el suelo en suelos contrastantes. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de CC y la fertilización sobre fracciones P en secuencias con predominio de soja en cuatro ambientes de la Región Pampeana Argentina luego de 10 años de iniciadas las secuencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron cuatro ensayos de larga duración, comenzados en el ciclo 2006/2007: Sitio 1: Balcarce, Buenos Aires, sobre un Argiudol Típico con textura superficial franca y 14 mg kg⁻¹ de P-Bray inicial; Sitio 2: Marcos Juárez, Córdoba, sobre un Argiudol típico con textura superficial franco-limosa y 27 mg kg⁻¹ de P-Bray inicial; Sitio 3: Paraná, Entre Ríos, sobre un Argiudol Ácuico con textura superficial franco arcillo-limosa y 22 mg kg⁻¹ de P-Bray inicial; y Sitio 4: General Villegas, Buenos Aires, sobre un Hapludol Típico con textura superficial franco-arenosa y 13 mg kg⁻¹ de P-Bray inicial. El diseño experimental de los ensayos en los cuatro sitios fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones e incluyeron los siguientes tratamientos: 1) soja continua sin fertilización (Sj); 2) soja continua fertilizada con P y S (Sjf); 3) CC/soja; y 4) CC / soja con P y S (CC/Sjf). Los cultivos se sembraron bajo siembra directa. Los CC utilizados fueron avena (*Avena sativa* L.) en el Sitio 1, Triticale (x *Triticosecale wittmack*) en el Sitio 2, trigo en el Sitio 3 y centeno (*Secale cereale* L.) en el Sitio 4, y su secado se realizó en el estado de encañazón avanzado a preemergencia floral mediante una aplicación de 3-4 L ha⁻¹ de glifosato (48% i.a.). En otoño de 2017 (10 años después de iniciados los ensayos) se tomaron muestras compuestas de suelo (5 sub-muestras) de cada unidad experimental. Se determinó P-Bray (0-20 cm, Bray y Kurtz, 1945), en 0-5 y 5-20 cm: P total (Pt), Po y Pi (Walker y Adams, 1958). El Po y Pi se expresaron en kg ha⁻¹, y para el estrato 0-20 cm, se sumaron los contenidos de 0-5 y 5-20 cm.

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza evaluándose el efecto del sitio y de los tratamientos como variables fijas y el bloque anidado dentro del sitio como aleatoria. Posteriormente, se realizaron análisis de varianza para cada sitio. Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El P-Bray varió significativamente entre localidades (Tabla 1) y siguió el orden: Paraná = Marcos Juárez > Balcarce > General Villegas. La tendencia a mayores niveles de P-Bray en Marcos Juárez y Paraná se corresponde con los niveles iniciales en dichos sitios, que superaban en más de 8-10 mg kg⁻¹ a Balcarce y General Villegas.

Tabla 1: Fósforo disponible (P-Bray) en el estrato 0-20 cm en los cuatro sitios. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios según test de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Sitio	P-Bray (mg kg ⁻¹)	
Balcarce	27 (4,3)	b
Marcos Juárez	38 (4,3)	a
Paraná	36 (2,6)	a
General Villegas	21 (2,9)	c

En el análisis por sitio se determinó un mayor nivel de P-Bray en el suelo para aquellos tratamientos fertilizados (Figura 1). Por su parte, el comportamiento de los CC fue distinto en función de la fertilización con P. La inclusión de CC produjo disminuciones del 30-50% en el P-Bray en tratamientos no fertilizados (Sj>Sj/CC) en Balcarce, Marcos Juárez y Paraná. Resultados reportados por Pavinato *et al.* (2017), mostraron una disminución en el P soluble derivada del uso de distintas especies de CC cuando no se aplicaba P. Por otro lado, en general, en tratamientos fertilizados, la inclusión de CC no produjo cambios en el P-Bray, excepto en Paraná, donde el P-Bray en Sjf superó a Sjf/CC un 17%, (Figura 1). Al respecto, Hallama *et al.* (2018) reportaron ausencia de efectos de los CC en distintas determinaciones de P extractable cuando la disponibilidad de P no era limitante.



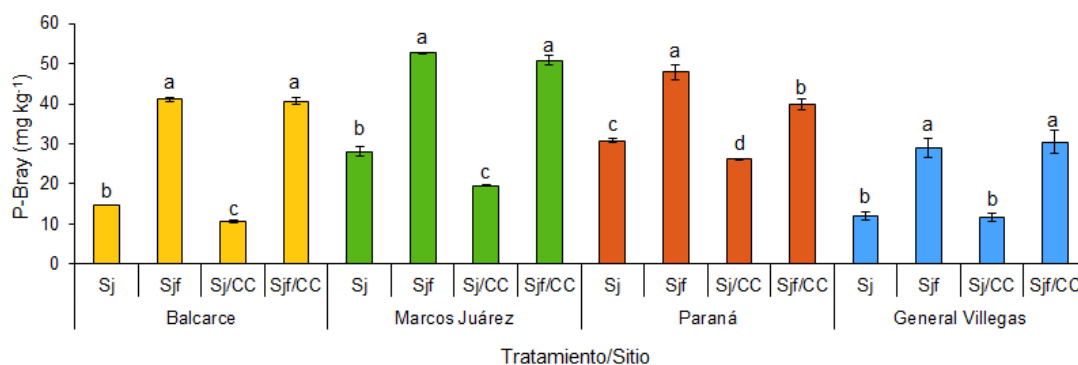


Figura 1: Fósforo extractable (P-Bray) en 0-20 cm para las distintas secuencias en Balcarce, Marcos Juárez, Paraná y General Villegas. En cada sitio, letras diferentes indican diferencias entre tratamientos según test diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Las líneas verticales indican error estándar de la media.

El Pi varió entre localidades en los tres estratos analizados (Tabla 2). En el estrato superficial, Marcos Juárez presentó el mayor contenido de Pi, sin encontrarse diferencias entre los otros sitios. En cambio, tanto para 5-20 cm como al integrar ambos estratos (0-20 cm), el Pi siguió el orden Marcos Juárez > General Villegas > Paraná > Balcarce. Si bien se ha reportado previamente una relación positiva entre el Pi y arcilla+limo para suelos de la Región Pampeana (Suñer y Galantini, 2015), también debe tenerse en cuenta que en los tratamientos fertilizados, Marcos Juárez fue el sitio que recibió las mayores dosis de P para el cultivo de soja (26 kg P ha⁻¹ por año). Esto podría explicar los mayores niveles de Pi encontrados en este sitio. Contrariamente, las dosis de P aplicadas a soja en Balcarce fueron menores que las de los otros sitios (20 kg P ha⁻¹ por año), resultando en un menor stock de Pi.

Tabla 2: Fósforo inorgánico (Pi) y orgánico (Po) en los estratos 0-5, 5-20, y 0-20 cm en los cuatro sitios. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios según test de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Sitio	Pi (kg ha ⁻¹)					
	0-5 cm		5-20 cm		0-20 cm	
Balcarce	123,8 (17,6)	b	166,6 (6,8)	d	290,5 (24,0)	d
Marcos Juárez	186,2 (9,6)	a	487,7 (22,2)	a	673,9 (29,3)	a
Paraná	133,5 (11,2)	b	250,5 (12,6)	c	383,9 (21,0)	c
General Villegas	134,8 (7,6)	b	338,9 (8,37)	b	473,8 (12,7)	b
Po (kg ha ⁻¹)						
Balcarce	90,2 (4,4)	a	365,0 (9,9)	a	455,2 (11,6)	a
Marcos Juárez	46,2 (2,4)	c	173,4 (12,0)	d	219,7 (12,9)	d
Paraná	83,8 (6,1)	a	291,2 (6,2)	b	375,1 (9,9)	b
General Villegas	63,1 (8,1)	b	259,9 (5,5)	c	323,1 (11,4)	c

El contenido de Pi fue afectado por los tratamientos de fertilización en los tres estratos analizados (Figura 2). En la profundidad de 0-5 cm, dentro de los tratamientos fertilizados, la inclusión de CC produjo una disminución del Pi en Balcarce, Paraná, y General Villegas respecto a Sjf (26, 22, y 18%, respectivamente). Esta tendencia a disminuciones en el Pi podría ser explicada porque, en secuencias con CC: i) hay retención del P en los residuos de los CC, y ii) habría una mayor inmovilización de P en la biomasa microbiana. Al respecto, en situaciones en las que el P no es limitante, una alta productividad del CC puede producir que sus residuos retengan cantidades agrónomicamente significativas de P (2-4 g kg⁻¹) (Varela, 2007). Además, entre un 25 a 50% de los residuos del CC se encuentra sin descomponer en el otoño siguiente (momento en que se realizó el muestreo de suelos) (Varela, 2007). Así, al momento de muestreo, una proporción significativa de P se



encontraría inmovilizada en los residuos de CC. Finalmente, una vez que el P es liberado desde los residuos, pasa a formar parte de los equilibrios de adsorción y/o precipitación que ocurren entre la matriz sólida y la solución del suelo (desde donde podría ser absorbido por el cultivo siguiente), o es retenido en la biomasa microbiana. Se ha reportado que los CC aumentan la biomasa microbiana hasta un 53% (Varela, 2007). Por su parte, entre los tratamientos no fertilizados (Sj y Sj/CC), en general no se observaron diferencias, a excepción de General Villegas, donde la inclusión de CC incrementó levemente el Pi. En el estrato sub-superficial, la variación de Pi entre secuencias fue menor que la determinada en 0-5 cm, aunque siguiendo la misma tendencia a mayores niveles de Pi en tratamientos fertilizados (Figura 2).

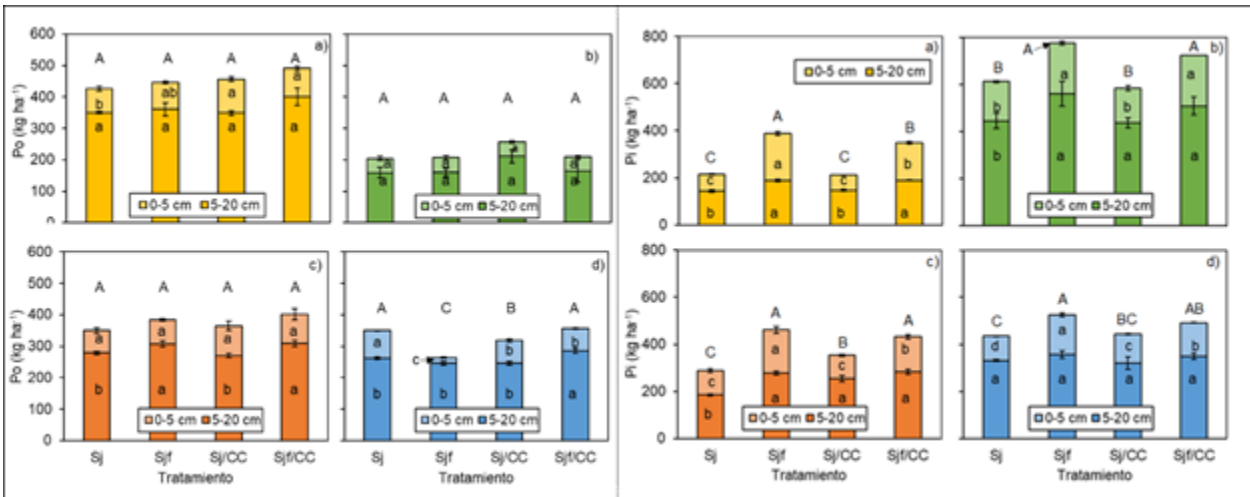


Figura 2: Fósforo orgánico (Po) e inorgánico (Pi) en 0-5, 5-20 y 0-20 cm de profundidad para los distintos tratamientos en Balcarce (a), Marcos Juárez (b), Paraná (c) y General Villegas (d). Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media. Letras mayúsculas (0-20 cm) y minúsculas (0-5 y 5-20 cm) diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según test diferencia mínima significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos, para cada sitio.

El contenido de Po varió entre localidades en las distintas profundidades (Tabla 2), siendo Balcarce el sitio que presentó el mayor contenido de Po, seguido por Paraná, General Villegas y Marcos Juárez. Estos resultados siguen la tendencia determinada para materia orgánica (MO) (Crespo *et al.*, 2021), y se pueden asociar a la estrecha relación entre la MO y el Po. Esto coincide con la bibliografía, que reporta que el contenido de Po en el suelo se relaciona con los procesos de formación y descomposición de la MO (Suñer *et al.*, 2008).

El efecto de las secuencias sobre el Po fue significativo en pocos casos. En la capa superficial en Balcarce se determinó un incremento del 10-30% en el Po en tratamientos intensificados, respecto a Sj (Figura 2). Contrariamente, en General Villegas el Po siguió el orden: Sj>Sjf/CC y Sjf/CC>Sjf. La tendencia del Po observada entre tratamientos no fertilizados en General Villegas (Sj>Sj/CC) podría estar relacionada con la estrategia de obtención de P de las gramíneas utilizadas como CC creciendo en ambientes pobres en dicho nutriente. En esas situaciones, como la observada en General Villegas se produce una mayor secreción de fosfatasas desde los CC (Hallama *et al.*, 2018) que aumentaría la mineralización bioquímica del Po. Así, la demanda de Pi de los CC llevaría a una disminución de Po. En cambio, en ambientes con mayor disponibilidad de P como la observada en los demás sitios, o en los tratamientos fertilizados, la producción de fosfatasas se inhibe y se limita la mineralización bioquímica (McGill y Cole, 1981).

En general, la inclusión de CC y la fertilización de la soja produjeron pocos o nulos efectos en la fracción orgánica de P del suelo. No obstante, al promediar los tratamientos con CC (Sj/CC y Sjf/CC), los mismos mostraron una tendencia a mayores contenidos de Po que los monocultivos de soja (Sj y Sjf) en los cuatro sitios, con incrementos de 17-36 kg Po ha⁻¹ en el estrato 0-20 cm. El hecho de que dichas diferencias no resultaran significativas se relaciona con que en Argiudoles típicos de la Región Pampeana, el Po es una fracción relativamente estable (Giuffré *et al.*, 1997). Resultados similares a los de este trabajo fueron reportados en experimentos de corto y largo plazo. En este sentido, Teles *et al.* (2017) reportaron que la inclusión



de distintos CC no produjo diferencias en fracciones orgánicas de P luego de 3 años, tanto en tratamientos fertilizados como sin aplicación de P. Por su parte, Tiecher *et al.* (2012) estudiaron el efecto de distintos CC en distintas fracciones de Po en un ensayo de 23 años de duración, sin determinar aumentos respecto al testigo en las fracciones más estables.

Al integrar ambos estratos (0-20 cm) ambas fracciones del P mostraron tendencias similares a las determinadas en 0-5 cm (Figura 2), aunque en menor magnitud respecto al estrato superficial. Las mayores diferencias en superficie son atribuibles a la aplicación de P al voleo y al uso de siembra directa, que generan una estratificación del P (Díaz-Zorita y Grove, 2002).

CONCLUSIONES

Luego de 10 años de su implementación, la inclusión de CC en secuencias con predominio de soja, no produjo cambios en la fracción orgánica de P en el suelo, aunque se vio una tendencia a mayor Po en secuencias con CC. Por su parte, se determinó un efecto marcado de la fertilización fosforada sobre el contenido total de Pi en el suelo y el P extractable. En estas variables, los CC no produjeron un efecto positivo e incluso, en determinadas situaciones, disminuyeron los niveles respecto al monocultivo de soja.

BIBLIOGRAFIA

- Azcón-Bieto, J & M Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España: McGraw Hill-Interamericana, pp. 287-305.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Crespo, C; N Wyngaard; H Sainz-Rozas; GA Studdert; M Barraco; V Gudelj; P Barbagelata & P Barbieri. 2021. Effect of the intensification of cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. *Catena.* 200: 105145.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada, M & CW Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>. (Acceso: Noviembre 2020)
- Díaz Zorita, M & JH Grove. 2002. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. *Soil Till. Res.* 66: 165-174.
- Giuffré, L; O Heredia; C Pascale & MM Carbajales. 1997. Formas de fósforo del suelo y su relación con las rotaciones y labranzas. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.* 17:281-287.
- Hallama, M; C Pekrun; H Lambers & E Kandeler. 2018. Hidden minners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil.* 434:7-45.
- Kuo, S; B Huang & R Bembek. 2005. Effects of long-term phosphorus fertilization and winter cover cropping on soil phosphorus transformations in less weathered soil. *Biol. Fert. Soils.* 41: 116-123.
- McGill, WB & CV Cole. 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma.* 26:267-286.
- Noack, SR; MJ McLaughlin; RJ Smernik; TM Mcbeath & RD Armstrong. 2012. Crop residue phosphorus: speciation and potential bio-availability. *Plant Soil.* 359:375-385.
- O'halloran, IP; RG Kachanoski & JWB Stewart. 1985. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management. *Can. J. Soil Sci.* 65: 475-487.
- Pavinato, PS; M Rodrigues; A Soltangheisi; LR Sartor & PJA Withers. 2017. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. *Agron. J.* 109:1-9.
- Sainz Rozas, HR; M Eyherabide; G Larrea; N Martínez Cuesta; H Angelini; N Reussi-Calvo & N Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Actas Simposio Fertilidad.* Rosario, Argentina, 8-9 mayo 2019, pp.141-158.
- Suñer, LG & JA Galantini. 2015. Texture influence on soil phosphorus content and distribution in semiarid pampean grasslands. *Int. J. Plant Sci.* 7:109-120.
- Suñer, LG; JA Galantini & RA Rosell. 2008. Transformaciones del fósforo en las fracciones orgánicas en suelos naturales y cultivados. En: Galantini, J.C. (ed.) *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina.* Argentina: Asociación Argentina de Ciencia del Suelo. pp. 181-193.
- Teles, APB; M Rodrigues; WF Bejarano Herrera; A Soltangheisi; LR Sartor; PJA Withers & PS Pavinato. 2017. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? *Soil Use Manage.* 33:34-44.

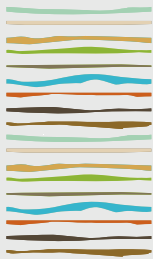


Tiecher, T; DS Rheinheimer; J Kaminski & A Calegari. 2012. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36:271–281.

Varela, MF. 2007. Descomposición de residuos, dinámica del fósforo y evolución de variables físicas de suelo en la secuencia soja / cultivos de cobertura en el Oeste de la Región Pampeana. Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 196 p.

Walker, TW & AFR Adams. 1958. Studies in soil organic matter. I. Influence of phosphorus content of parent materials on an accumulation of carbon, nitrogen, sulphur and organic phosphorus in Grassland soils. *Soil Sci*. 85:307-318.





APORTE DE CARBONO ORGANICO DE DIFERENTES CULTIVOS DE SERVICIO INVERNALES EN CATAMARCA

Curchod C. S.*¹, S. R. Viale ², J. D. Plaza ², O. B. Pernasetti¹, S. Bustos³, D. Rivera ⁴, A.F. Cordoba ¹

¹ Cátedra de Edafología;

² Cátedra Uso y Manejo de suelos;

³ Cátedra Estadística;

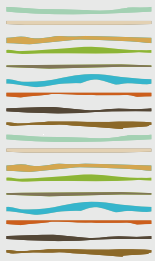
⁴ Cátedra Maquinarias Agrícolas- Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Catamarca; Provincia de Catamarca-
ccurchod@agrarias.unca.edu.ar

RESUMEN

Los cultivos de servicio o cobertura (CC) se instalaron como una estrategia de manejo cada vez más adoptada en sistemas agrícolas para lograr diversos objetivos: controlar malezas disminuir la evaporación y la erosión, almacenar agua en el perfil, aportar nitrógeno, mejorar el balance de carbono y las condiciones estructurales del suelo. Los suelos del valle central de Catamarca son frágiles, pobres en carbonos orgánicos y muy susceptibles a la erosión, se realiza horticultura bajo riego con movimiento de suelo permanente. El objetivo de este trabajo es evaluar la incidencia de los cultivos, vicia y mostaza sobre los niveles de materia orgánica del suelo. El trabajo se llevó a cabo en el campo experimental de la facultad de Ciencias Agrarias, Colonia del Valle, Dpto. Capayán, prov. Catamarca. El lote de mostaza tiene 1900m², donde se sembraron 34 líneas separadas a 0,70m, por 80m de largo, regadas por surco, 17 surcos se incorporaron a comienzos de la floración, los surcos restantes se dejaron para cosechar semilla. El ensayo consistió en 3 tratamientos T1 para cosecha, T2 para incorporar, y T testigo (suelo sin cultivo en el momento del ensayo) con 8 repeticiones cada tratamiento. El cultivo de vicia se sembró en melgas de 3 x 80m, superficie total 720m². Los tratamientos fueron T1 para cosecha, T2 para incorporar y T testigo. En este caso se incorporó la mitad de la vicia a comienzo de floración y el resto quedó en el suelo sin cosechar (por dificultades para cosechar y trillar). Se tomaron muestras de suelo a 15cm de profundidad al final de ambos cultivos en puntos previamente marcados con GPS para la determinación de materia orgánica. A los valores encontrados de materia orgánica se le realizó análisis de varianza utilizando Test de Fisher, donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, ($p < 0.05$). Los valores medios de 1,4% se dieron en la vicia para incorporar y en la mostaza incorporada, en la mostaza de cosecha y vicia cosechada los valores medios fueron del 1% y el testigo una media de 0.8%. No se aplicó ningún producto químico ni fertilizantes, el control de malezas fue realizado por el cultivo con una muy baja incidencia, no se presentaron problemas de plagas ni enfermedades. Se concluye que los cultivos utilizados dejaron un remanente importante de carbono orgánico en el suelo, siendo mayor en los casos en donde no se cosechó. El aumento de carbono orgánico traería beneficios importantes desde el punto de vista de la sustentabilidad de los suelos, de la conservación y mejora de la fertilidad de los mismos.

Palabras clave: carbono orgánico, cobertura, sustentabilidad.





EROSIÓN Y ERODABILIDAD EN EL ENTRE SURCO EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO PERGAMINO

Darder, M.L.¹, C. Sasal², A. Andriulo¹, M.G. Castiglioni^{3*}

¹EEA INTA Pergamino;

²EEA INTA Paraná;

³Facultad de Agronomía (UBA)

* Av. San Martín 4453 (1417) CABA. castigli@agro.uba.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la erosión laminar y estimar la erodabilidad en el entre surco (EES) en diferentes suelos correspondientes a distintos ambientes de la cuenca alta del Arroyo Pergamino, a partir de resultados de simulaciones de lluvia efectuadas a dos intensidades: 30 mm h⁻¹ y 60 mm h⁻¹. En distintas posiciones del paisaje: loma, media loma y a tres distancias del curso de agua, se determinó la cantidad de suelo perdido y se estimaron la EES y la erodabilidad básica en el entre surco mediante el uso de ecuaciones. Se analizó la influencia de la aptitud de los suelos, su textura, la intensidad de lluvia, el esquema de rotaciones y el efecto de distintos parámetros edáficos superficiales sobre la erosión laminar y la EES. Los suelos del sector bajo presentaron mayor erosión laminar y EES que los de la loma y media loma. Entre los primeros, los del sector más cercano al curso de agua fueron los que aportaron los valores superiores de estos parámetros. Se pudo comprobar una gran diferencia en los resultados estimados por las tres ecuaciones utilizadas para predecir la EES. No se comprobó un efecto de la intensidad de lluvia ni de la textura superficial sobre la EES. En algunos casos, se pudo determinar que la sucesión de cultivos con mayor proporción de soja generó una superior erosión laminar y resultados más altos de EES, respecto a lo sucedido con rotaciones más equilibradas entre gramíneas y leguminosas. El estimador de erodabilidad básica en el entre surco desarrollado para tierras ganaderas, no resultó eficaz para los suelos hidro-halomórficos presentes en los sectores bajos de la cuenca estudiada. No se comprobaron correlaciones significativas entre los resultados estimados de la EES con algunas características superficiales de los suelos analizados.

Palabras clave: simulaciones de lluvia, uso de la tierra, posiciones en el paisaje

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un proceso de degradación que genera problemas ambientales, económicos y sociales. Es necesaria una predicción realista de este proceso, con la finalidad de poder determinar las prácticas de conservación más efectivas y poder identificar dentro de las cuencas, aquellos sectores del paisaje que en mayor medida contribuyen a la generación de sedimentos. La resistencia del suelo al desprendimiento y transporte de partículas, ha sido considerada como uno de los factores determinantes de la erosión hídrica (Lafren *et al.*, 1995). Los modelos de erosión basados en procesos, normalmente diferencian la erodabilidad del suelo que ocurre en el surco de la que sucede en el entre surco. Dependiendo de las características del paisaje, de las condiciones climáticas, edáficas y del uso de la tierra, la erosión en el entre surco puede llegar a explicar un alto porcentaje de la erosión total ocurrida en el terreno. El objetivo del presente trabajo fue determinar la erosión laminar y estimar la erodabilidad en el entre surco (EES) de distintos suelos ubicados en diferentes ambientes correspondientes a la cuenca alta del Arroyo Pergamino, a partir de resultados obtenido de simulaciones de lluvia efectuadas a dos intensidades: 30 mm h⁻¹ y 60 mm h⁻¹.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con los resultados de sedimentos recogidos durante simulaciones de lluvia efectuadas en distintos ambientes correspondientes a la cuenca alta del Arroyo Pergamino (Darder, 2017). La zona bajo estudio presenta un clima templado, con temperaturas medias diarias que oscilan entre 10 y 12 °C en el invierno y 23 a 25 °C en el verano. La precipitación media anual es de 984 mm. En los sectores altos del paisaje, los suelos corresponden a la serie Pergamino (Argiudol típico), en las medias lomas se encuentran complejos de suelos con distintas fases por erosión de la misma serie de suelos y en las posiciones bajas hay asociaciones y complejos con proporciones variables de los suelos encontrados en las tierras altas, entremezclados con Alfisoles salinos y alcalinos. El uso de la tierra en las posiciones bajas es la ganadería, mientras que las lomas y medias lomas están desde hace varios años en agricultura continua bajo siembra directa.

Las simulaciones de lluvia se realizaron a dos intensidades: 30 mm h⁻¹ y 60 mm h⁻¹, representativas para la región de precipitaciones con una intensidad moderada y elevada, con una duración de dos horas y una hora para los ensayos realizados con menor (n= 74) y mayor intensidad (n= 85), respectivamente. La superficie de la parcela de escurrimiento del simulador de lluvia utilizada (0,25 m²) (Iruetia y Mon, 1994), es similar a la usada en otros estudios para determinar el parámetro EES del modelo WEPP (0,38 m²) (Elliot *et al.*, 1989). Los ensayos se hicieron posteriormente a la cosecha del cultivo de verano, sin eliminar de la superficie del suelo los rastrojos remanentes del cultivo anterior o el tapiz vegetal para los suelos con aptitud ganadera, recogiendo en cada caso el material vegetal del sector donde se realizó cada simulación de lluvia, para el cálculo de la materia seca presente. Para el análisis de resultados se descartaron los ensayos (n= 20) en los que no se pudo recolectar sedimentos.

En los suelos ganaderos (SG) se tuvieron en cuenta tres distancias paralelas al curso de agua: 6 m, 30 m y 100 m (Ang, Me y An, respectivamente). En los ambientes agrícolas se trabajó en la loma (L) y media loma (ML), en lotes bajo siembra directa con sucesiones de cultivo donde en algunos de ellos existió una mayor proporción del cultivo de soja (Mo), mientras que en otros hubo un esquema de rotación más equilibrado entre gramíneas y leguminosas (R).

Para estimar la EES se consideraron tres ecuaciones, siendo las abreviaturas de dicho parámetro en cada una de ellas Ke, Ken y Kes. Ke se estimó a partir de la siguiente ecuación: $D_i = K_e * I_e^2 * G_e * S_f$ (Laflen *et al.*, 1991), donde D_i : sedimento proveniente del entresurco (kg m⁻² s⁻¹); K_e : EES (kg m⁻⁴ s⁻¹); I_e : intensidad de la lluvia efectiva (m s⁻¹); G_e : coeficiente de ajuste por la cobertura vegetal y S_f : factor de ajuste que considera al gradiente de la pendiente. G_e se estimó a partir de la cobertura del suelo (Gyssels *et al.*, 2005) y esta se calculó con el peso de la materia seca recogida en sectores cercanos a los ensayos. Las otras dos ecuaciones son similares a la mencionada previamente, pero además consideran un parámetro que toma en cuenta el escurrimiento. Una de ellas fue desarrollada para el modelo WEPP (Zhang *et al.*, 2014) y mediante la cual se estimó Ken y la otra fue aportada por Zhang *et al.* (1998) y por la cual se estimó Kes. También se calculó por fórmula el parámetro erodabilidad utilizado en la ecuación universal de pérdida de suelo (Kusle) (Wischmeier y Smith, 1978) y la erodabilidad básica en el entresurco (Kb). Kb fue desarrollada para suelos ganaderos (Alberts *et al.*, 1995) y agrícolas (Elliot *et al.*, 1989), suponiendo para estos últimos condiciones extremas de erosión (suelo recién labrado y sin cobertura). Para la primera ecuación mencionada (suelos ganaderos), se consideran los porcentajes de arena y materia orgánica del suelo superficial y el contenido de agua a 0,033 MPa, mientras que en la segunda y para suelos con un porcentaje de arena menor al 30 %, se utiliza solo el contenido de arcilla.

Se analizó la influencia de la aptitud de los suelos, su textura, la intensidad de la lluvia, el esquema de sucesión de cultivos y el efecto de distintos parámetros edáficos sobre la erosión laminar y la EES. Se contó con determinaciones de textura, carbono orgánico y pH realizados en cada sitio donde se realizaron los ensayos de simulación de lluvia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de algunos parámetros edáficos superficiales (0 a 5 cm), correspondientes a los distintos ambientes en donde se desarrollaron las simulaciones de lluvia.



Tabla 1: Valores promedio de distintos parámetros edáficos (0 a 5 cm) correspondientes a los distintos ambientes en donde se realizaron los ensayos de simulación de lluvia.

Pos	Arc	Li	Ar	Car	pH	Kusle	Kb
	%	%	%	%			
Ang	8,11 c	48,13 b	43,76 a	1,25 c	9,08 a	0,91 a	0,65 c
Me	8,56 c	52,41 b	39,04 a	2,69 a	8,79 a	0,70 a	0,57c
An	9,20 c	54,65 b	36,15 a	2,47 ab	9,01 a	0,72 a	0,64c
ML	18,47 b	63,16 a	18,38 b	2,06 b	6,10 b	0,52 b	5,04 a
L	21,60 a	61,77 a	16,62 b	2,14 ab	6,04 b	0,47 c	4,86 b

Arc: contenido de arcilla, Li: contenido de limo, Ar: contenido de arena, Car: contenido de carbono orgánico, Kusle: erodabilidad del suelo según la ecuación universal de pérdida de suelo (unidades: $t\ m\ ha^{-1}\ cm\ h^{-1}\ 10^{-2}$), Kb: erodabilidad básica del entresurco (unidades: $10^6\ kg\ s\ m^{-4}$), Pos: posición en el paisaje, Ang: sector del bajo dentro de los 6 m al curso de agua, Me: sector del bajo entre 6 y 30 m del curso de agua, An: sector del bajo entre 30 y 100 m del curso de agua, ML: media loma, L: loma. Letras minúsculas distintas: diferencias significativas ($p < 0,05$) entre posiciones del paisaje para un mismo parámetro.

Los suelos de las posiciones bajas se diferenciaron en su textura superficial de los ubicados en L y ML, al presentar mayor contenido de arena y menor porcentaje de limo y arcilla. Por su parte, los de ML tuvieron menor contenido de arcilla que los de L. El porcentaje de carbono fue menor en Ang, mientras que el pH superficial de los suelos de las posiciones bajas del paisaje estuvo por encima de 8,4, lo que indicaría la presencia de un alto contenido de sodio en superficie. Los valores de Kusle fueron significativamente más altos para los suelos de las posiciones bajas, fundamentalmente por el menor contenido de arcilla en superficie y su peor permeabilidad, mientras que los de L fueron los que menor valor tuvieron para este parámetro, presentando los de ML resultados intermedios. La Kb mostró un comportamiento distinto en los suelos ganaderos, siendo sus resultados más bajos que los del sector agrícola, lo que hace pensar que la ecuación predictiva utilizada para estimar Kb no se adaptaría a los suelos hidro-halomórficos de los ambientes bajos de la Pampa Ondulada.

En las Tablas 2 y 3 se detallan las masas de los sedimentos promedio recogidos a la salida de las parcelas (S+Cob), los estimados (S-Cob) a partir de considerar al suelo descubierto y el porcentaje de cobertura surtido del peso de la materia seca recogida en superficie.

Tabla 2: Resultados medios de los sedimentos recogidos en los suelos agrícolas con cobertura, estimados sin cobertura y el porcentaje de cobertura en superficie, bajo dos intensidades de lluvia.

	Intensidad de lluvia 60 mm h ⁻¹				Intensidad de lluvia 30 mm h ⁻¹			
	L		ML		L		ML	
	R	Mo	R	Mo	R	Mo	R	Mo
	Kg ha ⁻¹							
S+Cob	24b	70a	89a	75a	49a	73 a	47b	109a
S-Cob	642b	1624a	2908a	2240a	1413a	1179a	1102a	1923a
	%							
Cob	98	89	99	94	91	89	93	82

L: suelos de loma, ML: suelos de media loma, R: suelos con secuencia de cultivos equilibrada entre gramíneas y leguminosas, Mo: suelos con secuencia de cultivos con preponderancia de soja, S+Cob: erosión con suelo cubierto, S-Cob: erosión con suelo descubierto, Cob: cobertura. Letras minúsculas distintas: diferencias significativas ($p < 0,05$) entre Mo y R para una misma intensidad de lluvia y posición en el paisaje.

Los suelos agrícolas presentaron una cobertura igual o por encima del 90% (Tabla 2), con la excepción de ML



Mo (30 mm h⁻¹), que tuvo un 82% del suelo cubierto. Algo similar sucedió en el ambiente ganadero (Tabla 3), con la excepción del sector más cercano al curso de agua, en el que se estimó una cobertura promedio próxima al 60%. Esta alta protección de los suelos, dio como resultado que las diferencias entre S+Cob y S-Cob fueran elevadas. En los sectores agrícolas y con una lluvia de 60 mm h⁻¹, se comprobó el efecto de esquema de sucesión de cultivos sobre la erosión laminar generada, siendo S-Cob y S+Cob mayores en L Mo respecto a L R, mientras que con 30 mm h⁻¹ hubo un superior S+Cob en ML Mo respecto a ML R. (Tabla 2).

Tabla 3: Resultados medios de los sedimentos recogidos en los suelos ganaderos con cobertura, estimados sin cobertura y el porcentaje de cobertura, con dos intensidades de lluvia.

	Intensidad de lluvia 60 mm h ⁻¹			Intensidad de lluvia 30 mm h ⁻¹	
	Ang	Me	An	Ang	An
	Kg ha ⁻¹				
S+Cob	4512 a	78 b	34 b	2001 a	52 b
S-Cob	157099 a	12045 b	4184 b	42940 a	5046 b
	%				
Cob	62	93	91	60	85

Ang: sector del bajo dentro de los 6 m al curso de agua, Me: sector del bajo entre 6 y 30 m al curso de agua, An: sector del bajo entre 30 y 100 m del curso de agua, S+Cob: erosión con suelo cubierto, S-Cob: erosión con suelo descubierto, Cob: cobertura. Letras minúsculas distintas: diferencias significativas (p<0,05) entre Ang, Me y An para cada parámetro e intensidad de lluvia.

El mayor riesgo a la erosión ya manifestado para los suelos de Ang y su menor cobertura, generaron como resultado que S+Cob y S-Cob fueran significativamente mayores en dicho sector respecto a las situaciones que están más alejadas del curso de agua (Tabla 3). A su vez, estos valores fueron sensiblemente superiores a los determinados en L y ML. A las dos intensidades de lluvia aplicadas, los restantes suelos ganaderos también presentaron un mayor valor de S-Cob estimado que los de L y ML.

En la Tabla 4 se observan los valores de EES estimados para los suelos agrícolas y ganaderos por las tres ecuaciones, discriminados según la intensidad de lluvia y de acuerdo a la clase textural del suelo superficial.

Tabla 4: EES estimada de acuerdo a la aptitud de los suelos, la intensidad de lluvia aplicada y la textura del horizonte superficial.

EES	SA		SG		SA	SG		
	30 mm h ⁻¹	60mm h ⁻¹	30 mm h ⁻¹	60mm h ⁻¹	FL	FA	FL	Li
	10 ⁶ Kg m ⁻⁴ s							
Ke	0,46	0,31	5,18	6,06	0,39	8,17	5,38	5,05
Ken	1,21	0,74	7,15	7,61	0,99	10,72	6,96	6,51
Kes	0,09	0,08	0,45	0,64	0,09	0,74	0,56	0,47

EES: erodabilidad en el entre surco estimada según tres fórmulas (Ke, Ken y Kes), SA: suelos agrícolas, SG: suelos ganaderos, FL: textura franco limosa, FA: textura franco arenosa, Li: textura limosa.

Los valores de EES estimados usando las tres ecuaciones se ordenaron de la siguiente forma: Ken>Ke>Kes (Tablas 4, 5 y 6). Estos resultados no variaron significativamente según la intensidad de la lluvia aplicada y de acuerdo a la textura superficial. Este último comportamiento se debió en parte a la alta variabilidad de los resultados, lo que no permitió separar en forma estadística, por ejemplo, los resultados de los suelos FA de los FL del sector agrícola. Por otra parte, la intensidad de lluvia está incluida en las fórmulas utilizadas para estimar la EES, desdibujando las posibles diferencias debidas a su efecto. Sin embargo, algunos resultados de erosión laminar tampoco mostraron el efecto de las características de la lluvia (Tablas 2 y 3).



Los resultados de Ke determinados en el ambiente agrícola, fueron entre un 7 % y 24 % de los mencionados por Laflen *et al.* (1995) para suelos de igual textura y con una Kusle similar a la observada para los de Pergamino. A su vez, estos porcentajes resultaron de similar magnitud, cuando se relacionó la erosión laminar generada en el presente estudio con la manifestada por Laflen *et al.* (1995) al aplicar igual intensidad de lluvia, con una parcela de superficie similar, pero con suelo labrado. Por lo tanto y a pesar de haberse descontado en el presente trabajo el efecto de la cobertura del suelo, uno de los factores que contribuyó con estas diferencias es el contraste entre los sistemas de labranza implementados en ambos estudios. Por su parte, la Ke estimada en los suelos ganaderos de Pergamino, fue sensiblemente superior a la mencionada por Laflen *et al.* (1995) para suelos de similar textura y bajo el mismo uso, lo cual vuelve a corroborar la fuerte susceptibilidad a la erosión de los suelos ganaderos de las posiciones bajas del Arroyo Pergamino, respecto a otros suelos con igual aptitud de otras regiones.

En el sector bajo y con una aplicación de lluvia de 60 mm h⁻¹, la posición en el paisaje condicionó los resultados de estos parámetros (Tabla 5), siendo en este caso la EES de Ang mayor a la de Me y An, mientras que con 30 mm h⁻¹ se observó una tendencia similar solo para Ke.

Tabla 5: Valores de EES estimados para los suelos del sector bajo

EES	Intensidad de lluvia 60 mm h ⁻¹			Intensidad de lluvia 30 mm h ⁻¹	
	Ang	Me	An	Ang	An
	10 ⁶ Kg m ⁻⁴ s				
Ke	15,34 a	1,76 b	0,64 b	8,53 A	1,40 B
Ken	18,45 a	2,95 b	0,96 b	11,72 A	2,01 A
Kes	1,40 a	0,37 b	0,13 b	0,68 A	0,19 A

EES: erodabilidad en el entre surco estimada por tres fórmulas (Ke, Ken, Kes). Ang: sector del bajo dentro de los 6 m al curso de agua, Me: sector del bajo entre 6 y 30 m al curso de agua, An: sector del bajo entre 30 y 100 m al curso de agua. Letras minúsculas diferentes para Ke, Ken o Kes y para una misma intensidad de lluvia: diferencias estadísticas (p<0,05) entre Ang, Me y An. Letras mayúsculas distintas para Ke, Ken o Kes y para una misma intensidad de lluvia: diferencias estadísticas (p<0,10) entre Ang, Me y An.

En la Tabla 6 se detallan los valores de EES correspondientes a los suelos del sector agrícola, discriminados por intensidad de lluvia, posición en el paisaje y secuencia de cultivos implementada.

Tabla 6: Valores de EES estimados para las distintas posiciones en el paisaje y secuencias de cultivo del sector agrícola.

EES	Intensidad de lluvia 60 mm h ⁻¹				Intensidad de lluvia 30 mm h ⁻¹			
	L		ML		L		ML	
	R	Mo	R	Mo	R	Mo	R	Mo
	10 ⁶ Kg m ⁻⁴ s							
Ke	0,17b	0,43a	0,31a	0,27a	0,76a	0,63a	0,23 B	0,40 A
Ken	0,75a	1,02a	0,62a	0,53a	2,77a	1,73a	0,47B	0,75 A
Kes	0,07b	0,14a	0,05a	0,05a	0,21a	0,15a	0,03 B	0,04 A

EES: erodabilidad en el entre surco estimada por tres fórmulas (Ke, Ken, Kes). L: suelos de la loma, ML: suelos de la media loma; R: suelos con una secuencia de cultivos equilibrada entre gramíneas y leguminosas, Mo: suelos con una tendencia al monocultivo de soja. Letras minúsculas distintas para una misma propiedad y para una misma posición en el paisaje: diferencias significativas (p<0,05) entre Mo y R. Letras mayúsculas distintas para una misma propiedad y una misma posición en el paisaje, diferencias significativas (p<0,10) entre Mo y R.

Con 60 mm h⁻¹ de lluvia se obtuvieron mayores valores de Ke y Kes en L Mo respecto a L R, mientras que en ML esto no ocurrió. Con una intensidad menor, para todos los parámetros se observó una tendencia de mayores valores en ML Mo respecto a ML R, no sucediendo lo mismo en L.



La relación de los resultados de K_e , K_{en} y K_{es} respecto a K_b , determinados en el área agrícola, fue en promedio igual a 0,10, lo que indica que estos suelos estarían manifestando una erosión laminar muy por debajo de su potencialidad a generar sedimentos según su contenido de arcilla. Este comportamiento se debería entre otras causas a la acumulación de materia orgánica en superficie como consecuencia de la falta de remoción del suelo, lo que genera mayor resistencia al proceso de desprendimiento del suelo por la gota de lluvia. Otra posibilidad es que el estimador de K_b utilizado no se adapta a las características y al manejo de los suelos agrícolas analizados. Esta misma relación para los suelos con aptitud ganadera, fue en promedio 8, lo que indica que estos son más susceptibles a generar sedimentos que lo estimado por K_b . Tal como se dijera en un principio, la ecuación utilizada para estimar K_b no se adaptaría a las características de los suelos hidro-halomórficos ubicados en los sectores bajos del Arroyo Pergamino.

K_e , K_{en} y K_{es} no se relacionaron significativamente con las características intrínsecas del suelo superficial (carbono, textura, pH), como tampoco con K_b . Por su parte, solo en los suelos ganaderos hubo una correlación significativa de estos parámetros con K_{usle} (coeficiente de correlación: 0,55; $P < 0,05$). En todos los suelos y bajo una intensidad de lluvia de 60 mm h^{-1} , K_e , K_{es} y K_{en} se relacionaron con todas las variables asociadas al escurrimiento (coeficiente de correlación: 0,46, $P < 0,05$), lo que hace pensar que a esta intensidad de lluvia y para estos suelos, la limitante en el proceso de erosión laminar es la tasa de escurrimiento.

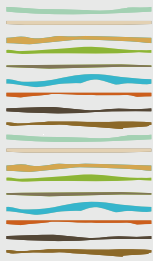
CONCLUSIONES

Los suelos del sector bajo del Arroyo Pergamino, presentaron la mayor pérdida de sedimentos, siendo a su vez los de la franja más cercana al curso de agua los que generaron una erosión laminar superior. Un comportamiento similar sucedió con los valores estimados de EES. Se observó una gran diferencia en los resultados de EES estimados a partir de las tres ecuaciones utilizadas. Los valores de erosión laminar y de K_e obtenidos para los suelos agrícolas, fueron sensiblemente inferiores a los reportados en otros ensayos realizados bajo condiciones similares, pero con suelos labrados. Lo contrario sucedió con la K_e estimada para los suelos ganaderos de Pergamino. Se comprobó en algunos casos, el efecto de la distinta sucesión de cultivos sobre la erosión laminar y la EES estimada. La ecuación desarrollada para predecir la erodabilidad básica en el entre surco de suelos con aptitud ganadera, no resultó eficaz para los correspondientes hidro-halomórficos presentes en los sectores bajos de la cuenca estudiada. Los resultados de EES no se relacionaron significativamente con las características edáficas superficiales, mientras que, con la mayor intensidad de lluvia aplicada, se comprobó una dependencia de la EES con la tasa de escurrimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberts, G.A., M.A. Nearing, M.A. Weltz, L.M. Risse, F.B. Pierson, X.C. Zhang, J.M. Lafflen, J.R. Simanton. 1995. Soilcomponent. In: Flanagan, D.C., Nearing, M.A. (Eds.), USDA-WaterErosionPrediction Project. Report No. 10. USDA-ARS NationalSoilErosionResearchLaboratory, West Lafayette, IN, Chapter 7.
- Darder, L. 2017. Escurrimiento superficial de la cuenca alta del Arroyo Pergamino. Impacto del uso de la tierra y la posición en el paisaje sobre la calidad del agua y los sedimentos. Tesis de Maestría. Escuela para graduados. Fauba.
- Elliot, W.J., A.M. Liebenow, J.M. Lafflen, K.D. Kohl. 1989. A Compendium of Soil Erodibility Data from WEPP Cropland Soil Field Erodibility Experiments 1987 & 1988, NSERL Report No. 3. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN: Gyssels, G., J. Poesen, E. Bochet, Y. Li. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. Progress in Physical Geography 29 2 189–217.
- Irurtia, C., R. Mon. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N° 176. SAGPyA, INTA. CIRN, Instituto de Suelos, Castelar. Argentina. 18 p.
- Lafflen J. M., W. J. Elliot, J. R. Simanton, C. S. Holzhey, K. D. Kohl. 1991. WEPP: soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. Journal of Soil and Water Conservation 39-44
- Wischmeier, W.H., D.D Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agric. Handb., 537. U.S. Dep. Agric., Washington, D.C.
- Zhang, X.C., M.A. Nearing, W.P. Miller, L.D. Norton, L.T. West. 1998. Modeling interrill sediment delivery. Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 438–444.
- Zhang, F.B., Z.L. Wang, M.Y. Yang. 2014. Validating and Improving Interrill Erosion Equations. PLoS ONE 9(2): e88275.





EFFECTO DE DESMONTES Y ABANDONO DE OLIVARES EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DEL SUELO

de Bustos, M.E.^{1*}, A.E. Bellanich¹, E.R. Quiroga¹, R.J. Ahumada¹

¹ INTA EEA Catamarca;

*Ruta Provincial 33, km 4.5, (4707) Sumalao, Valle Viejo, Prov. de Catamarca, debustos.maria@inta.gob.ar

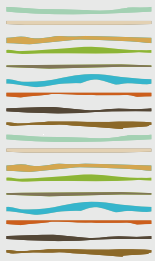
RESUMEN

A partir de los 90' con la ley de diferimientos impositivos en el valle central de Catamarca se produjeron desmontes con el propósito de transformar esas tierras en sistemas olivícolas. Por diferentes causas, muchas de las tierras desmontadas quedaron abandonadas, dejando al suelo expuesto a condiciones climáticas adversas. Además, años posteriores por cuestiones financieras muchos olivares fueron también abandonados, quedando las tierras con plantaciones secas. En este sentido, es ampliamente aceptado que una gran proporción del CO₂ atmosférico proviene de la degradación de la materia orgánica del suelo debido a disturbios antrópicos. Según estimaciones de expertos el secuestro anual de C en tierras áridas cultivadas podría ser considerable. La materia orgánica del suelo es la mayor fuente de reserva de carbono en los ecosistemas terrestres, y es la parte activa del suelo porque cambia con la profundidad, la textura y su composición química. La acumulación de carbono en la materia orgánica humificada del suelo constituye alrededor del 58 %. El Valle Central de Catamarca ubicado entre los 28° 25' - 29° 30' de latitud Sur y 65° 30' - 66° 30' longitud Oeste, corresponde a la ecorregión del Chaco Árido, constituido por bosques abiertos de *Aspidosperma quebracho blanco* principalmente con arbustales y hierbas de diferentes especies, pero de menor envergadura. Hasta el momento no existe información sobre la capacidad de almacenamiento de carbono de suelos con monte y distintos manejos para el valle central de Catamarca. Por ello, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de desmontes y abandono de olivares respecto a montes naturales, en la reserva de carbono del suelo a diferentes profundidades. Se muestrearon 33 sitios distribuidos en el valle central de Catamarca, 16 correspondieron a la condición de monte natural (MN), 12 a desmontes con diferentes tiempos de abandono (DA; desde 5 años hasta 47 años) y 5 a olivares abandonados (OA; de 4 a 20 años). Las variables medidas en suelo fueron carbono orgánico total (COT; %), densidad aparente ($\delta\rho$; Mg m⁻³); con dichas variables se calculó el almacenamiento como stock de carbono (SC; Mg ha⁻¹) a tres profundidades (0-5 cm, 0-20 cm y 20-40 cm). Posteriormente se realizó comparación de medias con el software estadístico Infostat 2020.

Los resultados obtenidos muestran que el almacenamiento de carbono en suelo fue significativamente mayor en MN (11,74 Tn/ha) respecto a DA (7,40 Tn/ha) a 0-5 cm de profundidad, sin diferir estos manejos con OA (9,89 Tn/ha). Para los 0-20 cm de profundidad no existieron diferencias entre el MN (31,69 Tn/ha) y los OA (36 Tn/ha), pero ambas situaciones difirieron significativamente respecto a DA el cual almacenó menos carbono (18,39 Tn/ha). Finalmente, para 20-40 cm de profundidad también existieron diferencias significativas en donde DA almacenó menos carbono (13,79 Tn/ha) respecto a MN (22,57 Tn/ha) y OA (24,97 Tn/ha). Al respecto, se puede concluir que el desmonte abandonado llevó a pérdidas de carbono almacenado en todas las profundidades evaluadas, mientras que los olivares abandonados perdieron superficialmente el carbono almacenado, pero incrementaron el contenido en profundidad respecto al monte natural.

Palabras clave: stock de carbono; manejo de suelo; olivicultura.





DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EN SEDIMENTOS SALTABLES DE SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD

DE ORO, L.A.^{1,3}, P. HERNANDEZ¹, L.A. ITURRI^{2,3}, D.E. BUSCHIAZZO³

¹ Facultad Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam;

² Facultad de Agronomía, UNLPam,

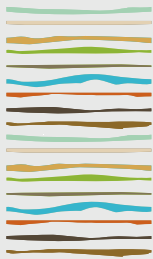
³ INCITAP (CONICET-UNLPam), laurideoro@yahoo.com.ar.

RESUMEN

La erosión eólica es uno de los procesos de degradación de suelos más importantes en ecosistemas áridos y semiáridos. La acción del viento produce la remoción, selección y transporte de partículas del suelo de acuerdo a su tamaño, densidad y grado de agregación, afectando su fertilidad física y química. La humedad del suelo es uno de los factores que controla su magnitud ya que, mayores contenidos de humedad, incrementan la adhesión de las partículas entre sí, aumentando la velocidad umbral. Conocer la composición de los sedimentos eólicos es de interés no solo para saber qué elementos esenciales para las plantas se pueden transportar por erosión eólica, sino también para comprender cómo pueden afectar estas pérdidas las características del suelo de origen tales como la capacidad de intercambio catiónico, la textura y estructura, y la modificación de la composición mineralógica del suelo. Por ellos se planteó como objetivo evaluar la distribución de K, como indicador de minerales aluminosilicatos, y de Fe y Mg, como indicadores de minerales ferromagnesianos en el material erosionado por el viento en suelos de diferentes texturas: un arenoso franco (AF), dos franco arenosos (FA1 y FA2) y uno franco (F) con diferentes contenidos de humedad relativa (HR). Para ello se colectaron sedimentos eólicos a diferentes rangos de alturas: 0-5,7 cm, 5,7-11,4 cm y 11,4 a 17,1 cm, luego de simulaciones realizadas en túnel de viento a una velocidad de $10,5 \text{ m s}^{-1}$ durante 3 min. La concentración de elementos en los sedimentos, extraídos por digestión con $\text{HCl}_{(c)}$ y $\text{HNO}_{3(c)}$ sobre muestras calcinadas a $550 \text{ }^\circ\text{C}$, se determinó mediante espectroscopia de absorción atómica. El Fe y K tuvieron un comportamiento vertical bastante similar, ya que se transportan a baja altura, posiblemente en minerales de tamaño grueso, lo que explicaría mayor concentración en suelos arenosos que en los finos. El Mg se detectó en las mayores alturas saltables ensayadas (11,4 y 17,1 cm). La textura y la materia orgánica (MO) fueron factores determinantes de la distribución vertical de los elementos para los contenidos de humedad inicial de cada suelo. De acuerdo a la distribución elemental hallada la proporción entre minerales aluminosilicatos vs ferromagnesianos siempre fue inferior a 1 indicando una mayor proporción de los minerales ferromagnesianos y podría decirse que a medida que aumenta la altura se haría menor para todos los suelos ensayados. Finalmente, en la mayoría de los suelos estudiados, la concentración de los elementos en los sedimentos colectados a 5,7 cm de altura disminuyó a medida que aumentó el contenido de humedad. Podemos concluir que en general la HR del suelo influyó de manera positiva en la erosión de los elementos analizados, minimizando su transporte por acción del viento.

Palabras clave: erosión eólica, humedad del suelo, calidad del sedimento





PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ANEGAMIENTO PARA EL CULTIVO DE TRIGO EN LA REGIÓN PAMPEANA

De San Celedonio, R.P.^{1*}, S. Alvarez Prado^{2,3}, J.R. Micheloud^{1,4,5}, J.P. Cileiro^{6,7}

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

² IICAR – CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario

³ Cátedra de Sistemas de Cultivos Extensivos-GIMUCE, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario;

⁴ Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA);

⁵ PLEXAGRO SAS;

⁶ Servicio técnico Syngenta Agro S.A.;

⁷ Asociación de Ingenieros Agrónomos de Chivilcoy y Alberti.

*Av. San Martín 4453, (CP 1417) CABA, romina@agro.uba.ar

RESUMEN

En Argentina, la producción de trigo es afectada por excesos hídricos que producen caídas en los rendimientos o incluso la pérdida de la cosecha en grandes áreas. El objetivo del presente proyecto es cuantificar la probabilidad de ocurrencia de eventos de anegamiento durante el ciclo del cultivo de trigo en 20 localidades de la Región Pampeana y construir mapas probabilísticos de ocurrencia de anegamiento durante el período crítico. Para ello se realizó un balance hídrico en 20 localidades de la región pampeana, utilizando el modelo de simulación CERES-Wheat (DSSAT 4.7) y se calculó la probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el período crítico de definición del rendimiento en el cultivo de trigo, utilizando un genotipo de ciclo largo y uno de ciclo corto. Finalmente se construyeron mapas de calor de días de anegamiento para distintas probabilidades de ocurrencia (1 cada 2 años y 1 cada 5 años). Se observaron diferencias entre localidades asociadas a diversos tipos de suelo y regímenes hídricos. Localidades ubicadas hacia el oeste de la provincia de Buenos Aires no presentaron anegamiento, mientras que localidades del norte de Buenos Aires o el Litoral, mostraron hasta 14 días de anegamiento durante el período crítico. El modelo CERES-Wheat mostró ser una herramienta útil para el cálculo de la probabilidad de anegamiento en condiciones diversas.

Palabras clave: modelos de simulación, CERES-Wheat, *Triticum aestivum*

INTRODUCCIÓN

El anegamiento es una restricción natural que afecta la producción de los cultivos a nivel mundial, y se proyecta un aumento de su incidencia como consecuencia de una mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (Wollenweber *et al.*, 2003). Las principales causas son la ocurrencia de lluvias intensas, topografía plana, y/o suelos con deficiente infiltración (Collaku y Harrison, 2002), ya sea por una limitación natural del tipo de suelo (i.e. elevado contenido de arcilla, presencia de tosca, etc.) o debido a la compactación sub-superficial que genera el excesivo tránsito de rodados. Adicionalmente puede ocurrir anegamiento como consecuencia del ascenso del nivel de las napas freáticas en regiones con napas a escasa profundidad o por exceso de precipitaciones en sectores deprimidos del relieve (Nosetto *et al.*, 2009).

En Argentina, la producción de trigo es afectada por excesos hídricos que producen caídas en los rendimien-



tos o incluso la pérdida de la cosecha en grandes áreas (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2012). Para la cuenca baja del Río Salado, un 2,7% del área destinada a agricultura presenta una recurrencia de anegamiento superior al 40% (Vázquez *et al.*, 2009). Para el sur de la provincia de Buenos Aires, la probabilidad de ocurrencia de excesos hídricos se determinó en 35% para Tres Arroyos, 33% para Balcarce, y 12% para Puán al momento de la emergencia del cultivo de trigo (Reussi Calvo y Echeverría, 2006). Posteriormente se determinó que el momento cercano a la floración fue el que presentó las mayores probabilidades diarias de anegamiento, las cuales rondaron entre el 25% y 40% dependiendo de la localidad (de San Celedonio *et al.*, 2014a). Pese a la importancia del cultivo de trigo en la Región Pampeana, es acotada la información para Argentina acerca de la probabilidad de ocurrencia de anegamientos durante su ciclo de crecimiento y específicamente durante el período crítico (de San Celedonio, *et al.* 2014b). En el presente estudio se plantea ampliar la información a través del uso de modelos de simulación agronómica.

Los modelos CERES están ampliamente difundidos a nivel mundial ya que posibilitan analizar estrategias de manejo contrastantes en sitios específicos y utilizando datos climáticos históricos (Guo *et al.*, 2010; Dettori *et al.*, 2011). Estos modelos realizan una adecuada estimación del contenido de agua en el suelo, tal como ha sido demostrado para condiciones de Argentina (Savin, 1993) y de otras partes del mundo (Eitzinger *et al.*, 2004; Arora *et al.*, 2007); y del patrón de crecimiento de las raíces del cultivo de trigo (Savin *et al.*, 1994), así como de la fenología del mismo (Dettori *et al.*, 2011, Andrade *et al.* 2015), lo que permite su uso para cuantificación del riesgo de ocurrencia de anegamiento para distintas localidades y estados particulares de desarrollo del cultivo.

En base a ello, el objetivo del presente proyecto es cuantificar la probabilidad de ocurrencia de eventos de anegamiento durante el período crítico del cultivo de trigo en 20 localidades de la Región Pampeana y construir mapas probabilísticos de ocurrencia de anegamiento durante el período crítico para anegamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el modelo CERES-Wheat (DSSAT 47; Hoogenboom *et al.*, 2003) para determinar la dinámica del contenido hídrico del suelo durante el ciclo de un cultivar de trigo de ciclo largo y uno de ciclo corto en 20 localidades de la Región Pampeana (incluyendo distintas regiones de la provincia de Buenos Aires, Entre Ríos, sur de Córdoba, Sur de Santa Fe y noreste de La Pampa). Para ellos se simuló el crecimiento de ambos cultivares en cada localidad en dos fechas de siembra, una temprana y una tardía, utilizando un manejo de fertilización habitual en cada zona (Tabla 1). La densidad de siembra en el trigo largo fue de 250 pl m⁻² y la del trigo corto fue de 300 pl m⁻².

Para estimar la ocurrencia de anegamiento se utilizaron datos climáticos históricos (33 años, desde 1971 hasta 2003) provenientes del Servicio Meteorológico Nacional y se seleccionó un suelo predominante de cada zona (Cartas de suelo INTA 1993). Los modelos CERES cuantifican el balance hídrico en el suelo considerando a las precipitaciones como fuente de entrada de agua al sistema (dentro del presente proyecto se asumirá que no hay aporte por riego) y a la evaporación desde el cultivo y el suelo, así como a la escorrentía y al drenaje como pérdidas de agua. La tasa de evaporación desde la superficie del suelo, la tasa de drenaje y el grado de escorrentía son variables de entrada del modelo (inputs) y fueron desarrolladas previamente para cada suelo dentro del grupo de trabajo siguiendo la metodología de Ritchie y Crum (1988). Para determinar el contenido hídrico del suelo a la siembra en cada situación se simuló la recarga del suelo durante el barbecho, utilizando los datos climáticos de cada sitio. El barbecho se inició el 1ro de abril partiendo del suelo seco (utilizando como antecesor un cultivo de soja), y se consideró libre de malezas (Savin *et al.*, 1995). Los coeficientes genéticos de los cultivares ya han sido previamente calibrados dentro de nuestro grupo de trabajo (de San Celedonio, *et al.* 2014a) y posteriormente validados para la predicción de su fenología (Andrade, *et al.* 2015).



Tabla 1. Descripción del tipo de suelo, fecha de siembra y manejo de la fertilización utilizada en cada localidad para el cultivar de trigo de ciclo largo (CL) y de ciclo corto (CC).

Localidad	Tipo de suelo	N obj (kg/ha)	Fecha de siembra CicLo largo	Fecha de siembra Ciclo Corto
América	Hapludol entico	160	25-may	15-jun
Balcarce	Argiudol típico	180	25-jun	25-jul
Bordenave	Hapludol típico	140	25-jun	25-jul
C. Sarmiento	Argiudol típico	150	25-may	15-jun
CNEL. Segui	Hapludol típico	160	25-may	15-jun
Cnel. Suárez	Hapludol típico	140	25-jun	25-jul
F. Ameghino	Hapludol thapto natrico	160	25-may	15-jun
Gualeguay	Peludert argico crómico	140	25-may	15-jun
Gualeguay-chú	Peludert argiudólico	140	25-may	15-jun
Huinca Renancó	Haplustent típico	150	25-may	15-jun
Int. Alvear	Hapludol thapto natrico	160	25-may	15-jun
Junin	Hapludol típico	160	25-may	15-jun
Maciel	Argiudol típico	140	25-may	15-jun
Marcos Juárez	Argiudol típico	160	25-may	15-jun
Paraná	Argiudol acuico	140	25-may	15-jun
Pehuajó	Hapludol típico	160	25-may	15-jun
Sa de Areco	Argialbol vértico	150	25-may	15-jun
Sta. Isabel	Hapludol típico	160	25-may	15-jun
Tandil	Argiudol típico	180	25-jun	25-jul
Tres arroyos	Argiudol típico	180	25-jun	25-jul

Los cálculos para la estimación del anegamiento se realizaron día por día. Se cuantificó el número de días en que el suelo se encontraba anegado, contrastándolo con la fenología de cada cultivar en cada localidad. El suelo se consideró anegado cuando el volumen de agua del horizonte superficial superaba el 20% del volumen de agua total entre capacidad de campo y saturación (Aggarwal et al., 2006). Finalmente se calculó la probabilidad acumulada del número de días de anegamiento en el período crítico y se construyó un mapa de calor utilizando el 50 y 80% de probabilidad utilizando el programa QGIS 3.26.2.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fenología del cultivo varió entre localidades para los dos cultivares de trigo (Tabla 2). Para el trigo de ciclo corto, el período entre emergencia y floración fue de 89 a 105 días, dependiendo de la localidad, mientras que, para el ciclo largo, fue mayor que para el ciclo corto, con valores entre 109 y 134 días, según la localidad. Las fechas de floración, promedio de los 33 años de la serie histórica variaron entre el 8 de octubre y el 13 de noviembre para el ciclo corto. Para el ciclo largo las fechas de floración fueron levemente más tempranas, entre el 17 de septiembre y el 7 de noviembre. Esto se explica por la fecha de siembra elegida para el ciclo largo, que fue entre 20 y 30 días previos a la siembra del ciclo corto, dependiendo de la localidad (Tabla 1).

Tabla 2. Fecha de emergencia y floración para cada localidad, promedio de los 33 años analizados y su respectivo desvío estándar (D.E.).

Localidad	Fecha emergencia	D.E. emergencia	Fecha floración	D.E. floración
AMERICA	15-jul	13	25-oct	6
BALCARCE	2-ago	3	12-nov	4
BORDENAVE	3-ago	4	8-nov	6
C SARMIENTO	13-jul	13	16-oct	5
CNEL. SUAREZ	4-ago	3	13-nov	4
CNEL. SEGUI	11-jul	2	16-oct	3
F. AMEGHINO	12-jul	2	21-oct	3
GUALEGUAY	11-jul	2	11-oct	4
GUALEGUAYCHU	11-jul	2	11-oct	4
HUINCA RENAN	12-jul	2	20-oct	4
INT. ALVEAR	12-jul	2	23-oct	4
JUNIN	12-jul	2	21-oct	3
MACIEL	11-jul	2	13-oct	5
MARCOS JUARE	11-jul	2	14-oct	4
PARANA	11-jul	4	8-oct	4
PEHUAJO	13-jul	3	26-oct	3
SA ARECO	13-jul	13	16-oct	5
STA. ISABEL	12-jul	2	21-oct	3
TANDIL	4-ago	12	12-nov	5
TRES ARROYOS	3-ago	5	9-nov	4

La probabilidad de ocurrencia de anegamiento se analizó entre vaina engrosada (Z4.0) y floración (Z6.5), identificado previamente como el período que produce las mayores pérdidas de rendimiento en el cultivo de trigo (de San Celedonio, et al. 2014b). Este período duró entre 15 y 17 días en el trigo corto, y entre 17 y 18 días en el trigo largo. El número de días con anegamiento dentro de ese período varió entre las localidades (Fig. 1). Para el trigo de ciclo corto, con una probabilidad de ocurrencia de 1 cada 2 años (P50), se observaron localidades con 0 días de anegamiento al oeste de la provincia de Buenos Aires y sur de Córdoba, mientras que hacia el sudeste de la provincia de Buenos Aires ese valor ascendió a 5 días. Con una probabilidad de ocurrencia de 1 cada 5 años (P80), las localidades de Huinca Renancó y Pehuajó fueron las únicas que permanecieron con 0 días de anegamiento durante el período crítico. Esto se explica por suelos de muy baja retención hídrica y bajas precipitaciones en la región (Tabla 1). En el otro extremo se encontraron las localidades del litoral y noreste de Buenos Aires, con valores entre 8 y 11 días de anegamiento en el período crítico para la determinación del rendimiento. Estas localidades presentaron suelos con alto contenido de arcillas (Tabla 1).



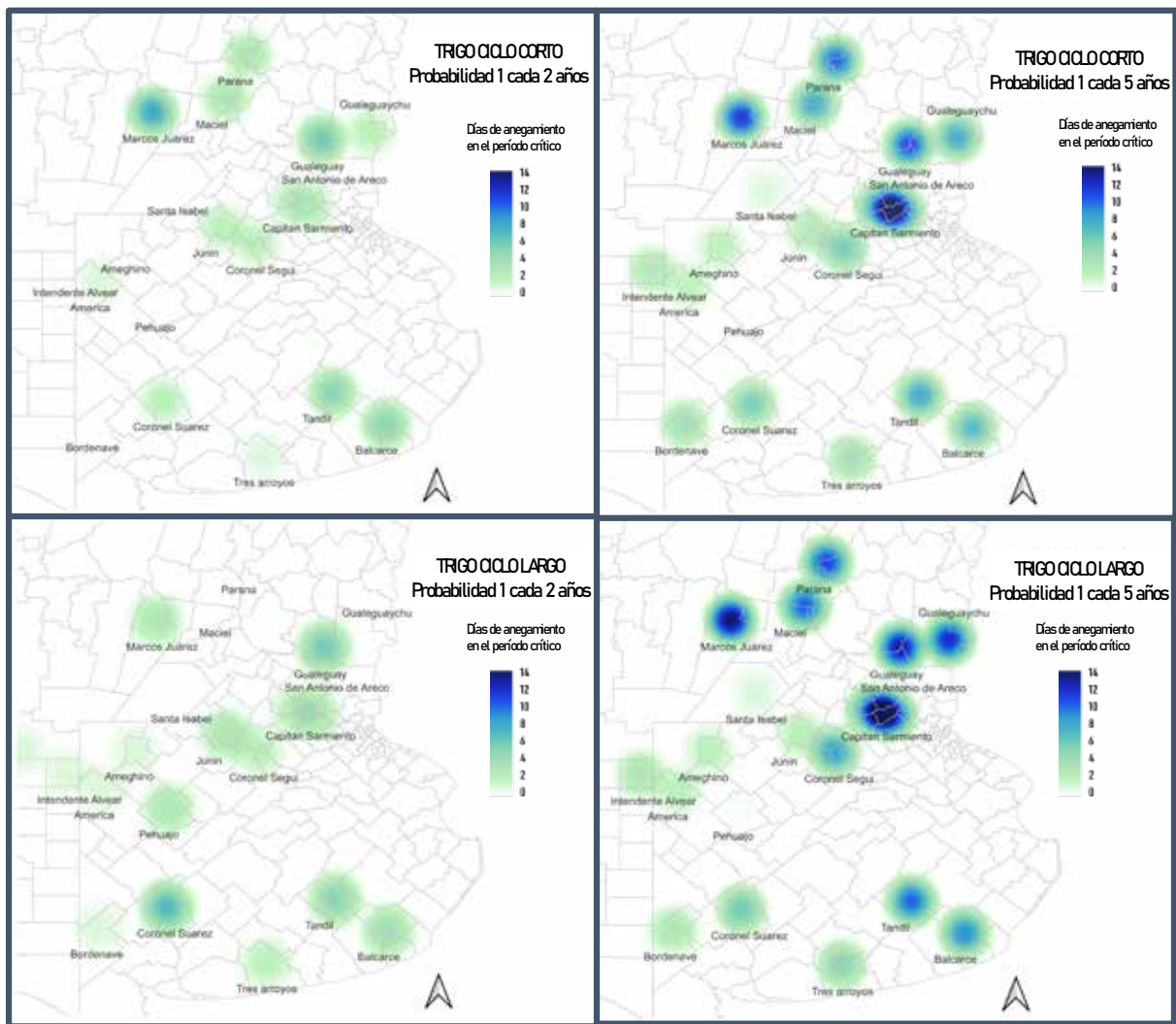


Figura 1. Mapa de días de anegamiento durante el período crítico (Z4.0-Z6.5) en 19 localidades de la región pampeana para un trigo de ciclo largo y un trigo de ciclo corto. Se presentan los percentiles P50 (probabilidad 1 cada 2 años) y P80 (probabilidad 1 cada 5 años).

En términos generales, el trigo de ciclo largo tuvo mayor cantidad de días bajo anegamiento, alcanzando valores entre 12 y 13 días en localidades del Litoral, y un máximo de 14 días en Marcos Juárez, con una probabilidad de 1 cada 5 años. Esto probablemente se asocia a una mayor duración del período crítico en el ciclo largo respecto del corto. La duración del anegamiento condiciona el efecto negativo sobre el cultivo. Para trigo, Martí et al (2015) encontraron una relación negativa entre la duración del anegamiento y el rendimiento, con una caída del 2% del rendimiento por cada día de anegamiento en el período crítico.

CONCLUSIONES

El modelo CERES-Wheat (DSSAT 4.7) permitió estimar las probabilidades de ocurrencia de anegamiento en diversas situaciones. Se observaron diferencias entre localidades, asociadas al tipo de suelo y clima de cada una, mientras que no se observaron diferencias marcadas entre largos de ciclo.

AGRADECIMIENTOS

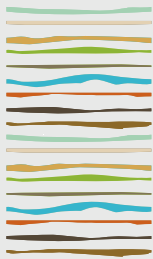
Proyecto financiado por PICT 2019-02836. Los autores agradecen a la Ing. Agr. Rosario Ballvé por la asistencia en el uso de QGIS.



BIBLIOGRAFÍA

- Aggarwal PK, et al. 2006. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agric. Sys.* 89, 1-25.
- Andrade JF, et al. 2015. Productivity and resource use in intensified cropping systems in the Rolling Pampa, Argentina. *Europ. J. Agronomy* 67, 27-51.
- Arora, VK et al, 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. *Agric. Water Manag.* 94, 22-30.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2012. Estimaciones Agrícolas. Informe de Situación N°1: Excesos hídricos en la provincia de Buenos Aires.
- Collaku A y Harrison SA, 2002. Losses in Wheat Due to Waterlogging. *Crop Sci.* 42, 444-450.
- de San Celedonio RP, et al., 2014a. Riesgo de anegamiento en trigo (*Triticum aestivum* L.) para distintas localidades de la región triguera argentina. *Ci. Suelo* 32, 233-246.
- de San Celedonio RP, et al., 2014b. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant Soil* 378, 265-277.
- Dettori, M, et al., 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field Crops Res.* 120, 179-188.
- Eitzinger, J et al., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecol. Model.* 171, 223-246.
- Hoogenboom G, et al., 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- INTA, 1993. Carta de Suelos de la República Argentina.
- Nosetto MD, et al., 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Res.* 113: 138-148
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Guo R et al, 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 97, 1185-1194.
- Reussi Calvo NI y Echeverría HE, 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ci. Suelo* 24, 115-122.
- Ritchie, JT, Crum, J, 1988. Converting soil survey characterization data into IBSNAT crop model input. In: Bouma, J., Bregt, A.K. (Eds.), *Land Qualities in Space and Time. Proceedings of a Symposium Organized by the International Society of Soil Science (ISSS). Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988.* Pudoc, Wageningen, pp. 155-167
- Savin, R., 1993. Profundidad de enraizamiento, siembra temprana y sus efectos sobre el rendimiento de trigo sometido a sequías inverno primaverales: Análisis de estrategias de manejo con un modelo de simulación. Tesis de Maestría. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, pp. 77-78.
- Savin, R et al., 1994. Testing the root growth subroutine of the CERES-wheat model for two cultivars of different cycle length. *Field Crops Res.* 38, 125-133.
- Savin R, et al., 1995. Assessing strategies for wheat cropping in the monsoonal climate of the Pampas using the CERES-Wheat simulation model. *Field Crops Res.* 42, 81-91.
- Van Ginkel M, et al, 1997. La tolerancia al anegamiento en el trigo: problemas relacionados con el fitomejoramiento. En: Mohan Kohli, M., Martino, D.L. (Eds.), *Explorando altos rendimientos en trigo.* CIMMYT, INIA, Colonia, Uruguay, pp. 193-208.
- Vázquez PM, et al., Caladroni MB, 2009. Riesgo de Anegamiento: Estimaciones para la cuenca baja del Río Salado. *Ci.Suelo* 27, 237-246.
- Wollenweber B, et al., 2003. Lack of Interaction between Extreme High-Temperature Events at Vegetative and Reproductive Growth Stages in Wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 189, 142-150.





BIOACUMULACIÓN DE PLAGUICIDAS EN BIOFILMS EPILÍTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO QUEQUÉN GRANDE, ARGENTINA

Fernandes, G.^{1*}, V.C. Aparicio^{2,3}, E. De Gerónimo^{2,3}, D. Santos², J.L. Costa²,
D. Rheinheimer Dos Santos¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Brasil;

*Avenida Roraima, n° 1000, Cidade Universitária, Santa Maria, RS, Brasil, gracieligfer@gmail.com;

² EEA INTA Balcarce, Argentina;

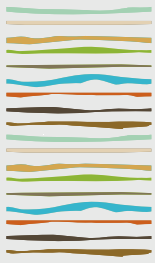
³ CONICET, Argentina

RESUMEN

El creciente uso de plaguicidas se ha convertido en una característica dominante en la agricultura moderna y en una importante preocupación medioambiental y sanitaria en los sistemas agrícolas de todo el mundo, debido al alto riesgo ecológico de contaminación acuática. Así, los microorganismos presentes en los ríos se encuentran entre los primeros organismos acuáticos que entran en contacto con los residuos de estos contaminantes. Recientemente, los biofilms epilíticos comenzaron a utilizarse como matriz para estudios de contaminación ambiental, ya que actúan como bioacumuladores de compuestos orgánicos. Los biofilms epilíticos son comunidades de organismos colonizadores que se desarrollan sobre rocas sumergidas, estando compuestas principalmente por bacterias y cianobacterias, hongos, protozoos y microalgas, además de sustancias poliméricas extracelulares producidas por bacterias y microalgas. Estas comunidades pueden utilizarse como bioindicadores de la contaminación de los cursos de agua. El objetivo de este estudio fue investigar si el actual modelo agrícola utilizado en la cuenca del río Quequén Grande, Argentina, está contaminando el inicio de la red trófica en los cursos de agua superficiales, a partir de la cuantificación de residuos de plaguicidas en biofilms epilíticos. La cuenca del río Quequén Grande es uno de los cursos de agua más importantes y abundantes del sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, y se encuentra en una zona agrícola de gran importancia para el país, con diferentes tipos de explotaciones de tamaño y producción variables. A lo largo de la cuenca se identificaron seis sitios de muestreo y se instalaron muestreadores con rocas de granito para el desarrollo de biofilms, en dos períodos. El muestreo consistió en la recogida y cepillado manual del material adherido a las rocas, con la ayuda de cepillos con cerdas de nylon y agua destilada y posterior liofilización. La cuantificación de las moléculas de plaguicidas se realizó mediante cromatografía líquida de ultra alta resolución acoplada a espectrometría de masas (UHPLC-MS/MS), en el Laboratorio de Plaguicidas del INTA, Balcarce. De las 45 moléculas analizadas, se detectaron 20 (44,44%) en los biofilms, siendo 11 herbicidas, 4 insecticidas, 4 fungicidas y el metabolito AMPA. Se detectaron herbicidas en el 100% de los sitios de muestreo, en concentraciones que iban de 1,61 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (imazetapyr) a 655,00 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (glifosato), con énfasis en el glifosato y su metabolito AMPA. Se detectaron insecticidas y fungicidas en el 83,33% y el 41,67% de los sitios de muestreo, respectivamente. La frecuencia de detección de plaguicidas osciló entre el 0 y el 67% (glifosato). Además de que el herbicida glifosato se utiliza ampliamente en la cuenca, las características fisicoquímicas de esta molécula permiten una mayor bioacumulación en las matrices biológicas. La bioacumulación también se ve favorecida por la alta reactividad fisicoquímica de la matriz del biofilm, en sus grupos funcionales superficiales. Así, se puede confirmar que la matriz del biofilm es capaz de bioacumular moléculas de plaguicidas, proporcionando una visión mucho más avanzada del grado de contaminación del medio acuático.

Palabras clave: plaguicidas, biofilms, bioacumulación.





EL USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS COMO ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS TABACALEROS

Fernandez, G.S.^{1*,2}, G. del C. Zankar², F.E. Altamirano^{2,3}, L.G. Diez Yarade², J. Zubieta¹, W. Segovia Salazar¹, R. Kunz³, R. Sato² y C. Ceballos⁴

¹INTA AER Perico;

²FCA UNJu;

³PROYAJOS SA;

⁴Escuela Agrotécnica N° 7 Ing. Ricardo J. Hueda.

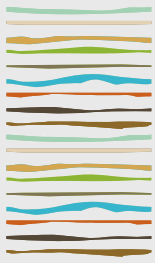
*Los Lapachos esq. Los Paraísos, Perico (4610), Prov. de Jujuy, fernandez.gabriela@inta.gov.ar

RESUMEN

Los diferentes procesos de degradación que se observan en suelos tabacaleros de la Prov. de Jujuy, sumados a la problemática multicausal del "Amarillamiento del Tabaco" que se viene registrando en la zona desde la campaña 2017/2018, están afectando los rendimientos y la sustentabilidad del sistema. Siendo la materia orgánica del suelo uno de los componentes del sistema que definen su productividad y capacidad de recuperación ante disturbios provocados por prácticas agrícolas intensivas, y además uno de los más afectados, la aplicación de enmiendas orgánicas constituye una alternativa para atenuar la caída del carbono orgánico del suelo. En consecuencia, se implementó un ensayo de larga duración (ELD) con el objetivo de analizar el efecto de la incorporación de enmiendas orgánicas, combinadas c/fertilizantes químicos, sobre el carbono orgánico total y particulado de un suelo destinado al cultivo de tabaco. Los suelos del sitio de ensayo se han formado a partir de depósitos aluviales, son de textura media, de pH neutro a ligeramente ácido y con bajo contenido de materia orgánica. Se estableció un DCA con cinco tratamientos, y cinco repeticiones, los que consistieron en diferentes combinaciones de humus tratado con microorganismos eficientes jujeños (humus MEj), lixiviado de humus MEj, suspensión de *Trichoderma* spp. y fertilizantes químicos (NPK). Los tratamientos fueron TMC (fertilización química NPK según manejo convencional del productor), T1 (humus MEj + urea), T2 (humus MEj + lixiviado de humus MEj + *Trichoderma* spp. + NPK), T3 (humus MEj + *Trichoderma* spp. + NPK), T4 (humus MEj + lixiviado de humus MEj + NPK). Se tomó como testigo a una situación de la zona sin disturbar (T). De cada tratamiento se tomó una muestra compuesta entre 0-20 cm de profundidad. Se cuantificó el carbono orgánico total (COT), y el de sus fracciones, mediante oxidación húmeda con Walkley y Black. Las fracciones de materia orgánica se obtuvieron por tamizado, siendo estas CO particulado grueso (COPg 105-2000 μm), CO particulado fino (COPf 53-105 μm) y CO asociado a la fracción mineral (COA <53 μm). Luego del 1° año de ensayo, todos los tratamientos presentaron menor porcentaje de CO, en todas sus fracciones, respecto de la situación de referencia siendo la variación del COT en los tratamientos de 0,75 a 0,96 %. La tendencia observada para COT fue T>TMC>T3>T1>T4>T2, mientras que para COA T>TMC>T3=T1>T4=T2. El COA fue significativamente inferior ($p > 0,05$) en T2 y T4 con respecto a los demás tratamientos. De la fracción más lábil del COPT (COPg + COPf), el COPg fue el más sensible para identificar diferencias entre los tratamientos, registrándose el mayor valor en T4 con 0,13%. Los resultados obtenidos son parciales y preliminares y corresponden al primer año de un ELD. Está previsto continuar con los tratamientos planteados para observar la evolución del COT y el de sus fracciones, como así también su impacto sobre otras propiedades edáficas, como la estabilidad estructural, a fin de identificar el mejor tratamiento, obtener conclusiones y realizar recomendaciones.

Palabras clave: humus MEj, fracciones de carbono orgánico, suelo tabacalero





EFFECTO DE LA DESCOMPACTACIÓN DE SUELO SOBRE LA BIOMASA DE RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA

Fernández, R.^{1,2}, I. Frasier^{1,3}, C. Álvarez¹, A. Quiroga^{1,2}

¹INTA,

²Fac. de Agronomía UNLPam,

³Conicet.

Ruta Nacional 5, km 580, (6326) Anguil, Prov. de La Pampa, fernandez.romina@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue cuantificar la biomasa aérea y de raíces de cultivos de cobertura en dos suelos descompactados y sin descompactar de la Región Semiárida Pampeana. Sobre dos suelos de textura franca ubicados al norte (suelo 1) y sur (suelo 2) que presentaron compactación entre los 5 a 30 cm, se instalaron tratamientos de descompactación: 1) cultivo de cobertura, utilizado como descompactador biológico (CC); 2) combinación de descompactador mecánico y cultivo de cobertura (D CC). La descompactación se realizó el mismo día de la siembra de triticale utilizado como CC en el suelo 1 y centeno en el suelo 2. Al momento de secado de los CC se determinó la biomasa aérea y la biomasa de raíces. En D CC la biomasa de raíces fue determinada en la línea de la púa del descompactador y a los 20 cm de la misma. La producción de biomasa aérea de los CC fue mayor sobre el tratamiento descompactado que sobre el suelo sin descompactar. La producción de biomasa de raíces siguió el mismo patrón que la biomasa aérea. En ambos suelos se cuantificaron mayor cantidad de raíces en D CC con respecto al CC, con 1284 kg ha⁻¹ para el suelo 1 y para el suelo 2 de 836 kg ha⁻¹. Además, se encontró mayor presencia de raíces en la púa del descompactador con respecto a la medición realizada a 20 cm de la púa, para el suelo 1 la biomasa de raíces a 0-60 cm de profundidad fue de 4594 y 3397 kg ha⁻¹ y para el suelo 2 de 4812 y 3176 kg ha⁻¹, respectivamente. Las raíces de los CC son capaces de aprovechar las fisuras/poros generados por el descompactador, expresándose un mayor patrón de crecimiento en la línea de la púa.

Palabras clave: descompactador biológico, descompactador mecánico.

INTRODUCCIÓN

La compactación se reconoce como uno de los principales procesos de degradación del suelo (Zink *et al.*, 2010) limitando la eficiencia en el uso del agua, la absorción de nutrientes disponibles y el desarrollo de las raíces (Glab, 2014). Para que las raíces de los cultivos puedan avanzar en su normal crecimiento, necesitan poros cuyo tamaño no debe ser menor a 2/3 del diámetro de la raíz en crecimiento (Scott Rusell, 1977), pero cuando el diámetro es inferior, las raíces generan mecanismos de adaptación como ensanchamientos y bifurcaciones (Cholaky & Bonadeo, 2018). Este tipo de crecimiento impacta en los rendimientos principalmente cuando las precipitaciones durante la etapa del crecimiento de los cultivos son limitadas.

Diferentes tipos de descompactadores pueden ser utilizados como estrategia de manejo tendientes a modificar favorablemente la porosidad del suelo. Entre ellos se puede mencionar el descompactador biológico utilizando por ejemplo a través de raíces de los cultivos de cobertura de gramíneas y descompactador mecánico mediante implementos como cincel, subsolador, paratill. La combinación de ambas prácticas también podría ser una herramienta posible a considerar como estrategia para descompactar los suelos.

El objetivo del trabajo fue cuantificar la biomasa aérea y de raíces de cultivos de cobertura en dos suelos



descompactados y sin descompactar de la Región Semiárida Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó sobre dos suelos franco-arenosos clasificados como Paleustoles petrocálcicos, ubicados al norte (suelo 1, localidad de Trenel) y al sur (suelo 2, localidad de Guatraché) de la planicie con tosca de la provincia de La Pampa.

Ambos suelos presentaron compactación entre los 5 a 30 cm (Tabla 1), debido a ello es que se instalaron tratamientos de descompactación en bloques completos al azar con tres repeticiones, en parcelas de 150 m² (10 x 15 m). Consistieron en: 1- Cultivo de cobertura, utilizado como descompactador biológico (CC). 2- Combinación de descompactador mecánico y cultivo de cobertura (D CC).

Se utilizó un descompactador mecánico y se trabajó a una profundidad de 25-35 cm, con una velocidad próxima a los 6,5 km h⁻¹ y una humedad de trabajo cercano al 60% de agua útil. La descompactación se realizó sobre un barbecho químico de tres meses de duración a fines de marzo, el mismo día de la siembra de triticale (**xTriticosecale** Wittmack cv Don Santiago INTA) utilizado como CC en el suelo 1 y centeno (**Secale cereale** cv Don Guillermo) en el suelo 2.

Al momento de secado de los CC (primera quincena de octubre) se determinó la biomasa aérea tomando una muestra de 0,25 m² por parcela, mediante cortes al ras del suelo. Además, se determinó biomasa de raíces cada 20 cm hasta el manto calcáreo (Frasier *et al.*, 2016). En el tratamiento D CC la biomasa de raíces fue determinada en la línea de la púa del descompactador y a los 20 cm de la misma. Las muestras (de biomasa aérea y raíces) fueron secadas a 60°C de temperatura para la determinación del peso seco.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA y las diferencias entre medias a través del test de Tukey (p<0,10), utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Tabla 1: Arcilla+ limo (A+L), materia orgánica (MO), índice de materia orgánica (IMO), porosidad total (PT), densidad aparente (DA), densidad aparente máxima (DAM), compactación relativa (CR) y conductividad hidráulica (k).

	A+L (%)	MO (%)	IMO	PT (%)	DA kg m ³	DAM kg m ³	CR (%)	k mm h ⁻¹
Suelo 1	36	1,7	4,8	30	1,39	1,43	97	8,7
Suelo 2	46	2,2	4,8	34	1,35	1,51	95	7,3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de biomasa aérea de los CC fue mayor sobre el tratamiento descompactado que sobre el suelo sin descompactar. Para el suelo 1 (Fig. 1, a) esta diferencia correspondió a 675 kg ha⁻¹ de materia seca de centeno (p< 0,10). Para el suelo 2 (Fig. 1, b) la biomasa producida a favor del tratamiento descompactado fue de 402 kg ha⁻¹ de materia seca de triticale también con diferencias significativas (p<0,10). La producción de biomasa de raíces presentó el mismo patrón que la biomasa aérea. En ambos suelos se cuantificaron mayor cantidad de raíces en el tratamiento D CC con respecto al CC. El efecto de la compactación del suelo representó un 31 y 21% menos de raíces para el suelo 1 y 2, respectivamente.

En los primeros 20 cm de profundidad se registraron la mayor biomasa de raíces, y en ambos suelos la presencia de las mismas fue mayor en D CC con respecto a CC. Para el suelo 1, la distribución para CC correspondió al 57, 25 y 18% para 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente, este tipo de distribución también se evidenció en Paleustoles de la región semiárida Pampeana (Oderíz *et al.*, 2017; Frasier *et al.*, 2019; Gómez *et al.*, 2020). Para el D CC en 0-20, 20-40 y 40-60 cm la distribución fue del 63, 27 y 10%. Para el suelo 2, en 0-20, 20-40 y 40-60 cm se cuantificaron el 58, 27,15%, respectivamente y 66, 23, 11% para D CC (Fig. 1).



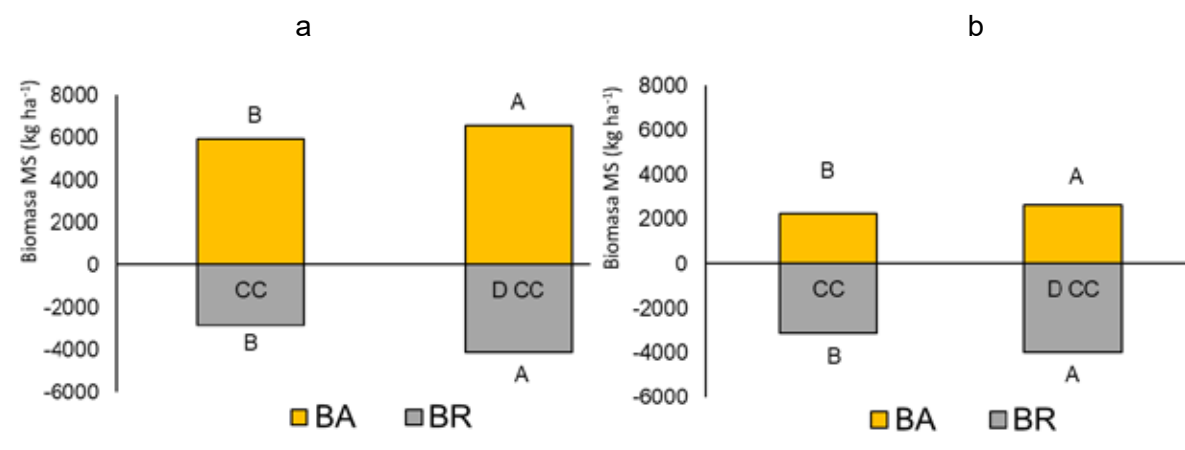


Figura 1: Biomasa materia seca (MS) aérea (BA) y de raíces (BR) en los tratamientos cultivo de cobertura (CC) y descompactado + cultivo de cobertura (D CC) en a) suelo 1 y b) suelo 2.

La distribución de las raíces en el perfil del suelo en el tratamiento descompactado sobre la púa y a 20 cm de la misma se muestra en la Figura 2. En ambos suelos (1 y 2) se encontró mayor presencia de raíces en la púa del descompactador con respecto a 20 cm de la púa.

En el suelo 1 (Fig. 2, a) el 62% de las raíces se encontraron en los 0-20 cm de profundidad tanto en D CC púa como D CC 20 cm. En esta profundidad se cuantificaron 800 kg ha^{-1} más de raíces en D CC púa con respecto a D CC 20 cm y en 20-40 cm esta diferencia fue de 279 kg ha^{-1} , en cambio 40-60 cm tan solo 119 kg ha^{-1} sin diferencias significativas ($p < 0,10$).

Para el suelo 2 (Fig. 2, b), en 0-20 cm se cuantificaron 1325 kg ha^{-1} más de raíces en D CC púa con respecto a D CC 20 cm y en 20-40 cm esta diferencia fue de 325 kg ha^{-1} , en cambio 40-60 cm no hubo diferencias significativas ($p > 0,10$).

Algunos autores expresan que en suelos compactados gran proporción de las raíces se encuentran en horizontes superficiales (Bonadeo *et al.*, 1997; Cholaky & Bonadeo, 2018) debido a la imposibilidad de penetrar capas duras y a un crecimiento compensatorio del sistema radicular. No obstante, las raíces pueden llegar a penetrar capas compactadas por presencia de planos de debilidad o discontinuidades/grietas en su mayoría de orientación vertical o inclinada. Cholaky & Bonadeo (2018) enfatizan que la dureza de la matriz del suelo reduciría el crecimiento de raíces de ordenes más altos y pelos radicales de crecimiento horizontal, con una función de absorción de agua y nutrientes más relevante que las raíces de crecimiento vertical. Las labores de descompactación impactarían positivamente sobre la captación del agua que ingresa al perfil, contribuyendo a una mayor presencia de raíces y en consecuencia mayor eficiencia del uso del agua y nutrientes.

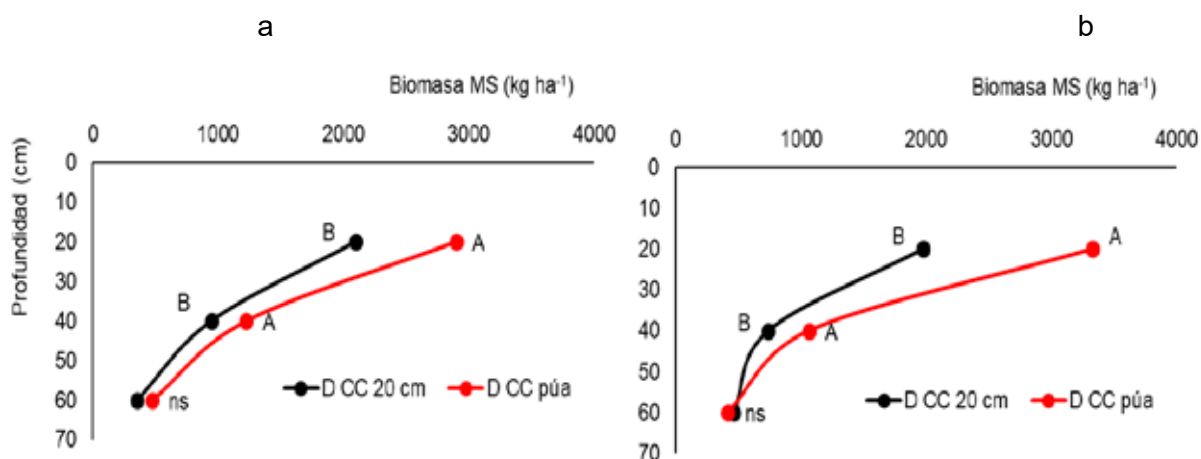


Figura 2: Biomasa de raíces (kg MS ha⁻¹) en el tratamiento D CC, en la línea de la púa del descompactador (D CC púa) y a 20 cm de la púa (D CC 20 cm).

CONCLUSIONES

En la Región Semiárida Pampeana no hay trabajos previos acerca de la presencia de raíces en suelos compactados y el impacto que tiene el uso de descompactadores mecánicos.

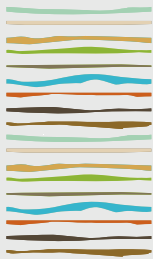
Los resultados preliminares del estudio demostraron que la biomasa aérea y de raíces de los CC fue mayor en el tratamiento donde previo a la siembra se descompactó con respecto al no descompactado. Además, dentro del tratamiento descompactado se cuantificaron mayor biomasa de raíces en 0-20 y 20-40 cm en la línea de la púa con respecto a 20 cm de distancia de la misma.

Estas diferencias podrían estar dadas por distintos factores considerando que la zona de mayor influencia de la púa puede presentar, mayor aireación, infiltración, mineralización de algunos nutrientes, temperatura, además de menor resistencia a la penetración.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonadeo E. 1997. Efectos de la compactación subsuperficial de un Hapludol típico del sur de Córdoba, sobre el comportamiento del cultivo de maní (*Arachis hipogaea* L.). Tesis maestría. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Cholaky C & E Bonadeo. 2018. Compactación de suelos en el centro-sur de Córdoba: causas, consecuencias y manejo. En Compactaciones Naturales y Antrópicas en Suelos Argentinos. Ed. Imbellone P y C Álvarez. Cáp. 12. ISBN 978-987-46870-1-2.
- Di Rienzo J, F Casanoves, L González, M Tablada, C Robledo & M Balzarini. 2017. InfoStat. Software estadístico. Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba: Córdoba, Argentina.
- Frasier I, E Noellemeyer, R Fernández & A Quiroga. 2016. Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX Journal*. 3:513-519.
- Frasier I, A Quiroga, R Fernández, C Álvarez, F Gómez, E Scherger, A Gili & E Noellemeyer. 2019. Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil Till Res.* 192:134-143.
- Głąb T. 2014. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil Till. Res.* 144:8-19.
- Gómez M, E Noellemeyer & I Frasier. 2020. Dinámica de raíces y actividad biológica en secuencias de cultivos en dos tipos de suelo de la región semiárida central. *Ciencia Suelo* 38:56-71.
- Oderiz A, M Uhaldegaray, I Frasier, A Quiroga, N Amioti & P Zalba. 2017. Raíces de cultivos de cobertura: cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. *Ciencia del suelo* 35:249-258.
- Scott Russell S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with the soil. Letcombe Lab., Wantage, Oxfordshire, UK. 298 pp.
- Zink A, H Fleige & R Horn. 2010. Load risks of subsoil compaction and depths of stress propagation in arable Luvisols. *SoilSci. Soc. Am. J.* 74:1733-1742.





FERTILIZACIÓN DE PASTURA DE ALFALFA EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

Fernández, R.^{1,2,*}, C. Álvarez¹, M. Saks³, A. Quiroga^{1,2}

¹ INTA Anguil,

² Fac de Agronomía UNLPam,

³Bunge Argentina S.A.

* Ruta Nacional 5, km 580, (6326) Anguil, Prov. De La Pampa,

* fernandez.romina@inta.gob.ar

RESUMEN

Debido a la creciente pérdida de nutrientes como fósforo y azufre que condicionan la productividad del cultivo de alfalfa se estableció como objetivo de trabajo evaluar la producción y eficiencia en el uso del agua en alfalfa con la incorporación de fertilizante fosforado y azufrado. Sobre dos suelos (Haplustol éntico MD y Paleustol petrocálcico SM) se estableció una pastura de alfalfa en el 2020 con los siguientes tratamientos: sin aporte de fósforo (T)- sin fósforo con S (T con S); 9 kg ha⁻¹ P (9 P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (9 P S) y 36 kg ha⁻¹ P (36 P) - 36 kg ha⁻¹ P con S (36 PS). Se determinó biomasa aérea (en siete cortes desde la implantación), uso consuntivo y eficiencia en el uso del agua. EN MD, en el tratamiento T se cuantificó un 4% más de biomasa cuando se fertilizó con S (33907 y 35428 kg MS ha⁻¹ para T y T con S, respectivamente). En el tratamiento 9 P S también se obtuvo un 4% más de biomasa con respecto a 9 P. En el tratamiento 36 P S la producción fue 3% mayor con respecto a 36 P. En SM la fertilización con S incremento significativamente la producción acumulada, disminuyendo la respuesta a mayor fertilización con P. Por lo tanto, se obtuvo un 30, 22 y 14% más de biomasa cuando se fertilizó con S en T, 9 P y 36 P, respectivamente. La eficiencia en el uso del agua promedio en MD fue similar entre los tratamientos con valores altos para la región, posiblemente por el aporte del agua freática por acenso capilar, en cambio en SM se comprobó un aumento de la misma con la aplicación de S a cada nivel de P.

Palabras clave: fósforo, azufre, eficiencia en el uso del agua.

INTRODUCCION

En sistemas de producción de pasturas con cultivo de alfalfa, maximizar la cantidad y calidad de forraje requiere cubrir altas exigencias de agua y nutrientes. Para alcanzar altas producciones, el cultivo de alfalfa requiere suelos profundos (>1,2 m), bien aireados, pH 6,5 a 7,5, disponibilidad de fósforo (P) superior a 25 ppm (Loewy & Ron, 1992; Loewy, 1994) y, en menor proporción de Azufre (Hoeft & Fox, 1986). En la medida que estas condiciones se alejen de este marco ideal, el cultivo disminuye su rendimiento y su persistencia (Basigalup y Rossanigo, 2007).

En suelos manejados en agricultura continua y con bajos contenidos de materia orgánica (MO) el contenido de azufre (S) es deficitario (Pasricha & Aulakh, 1991). El S constituye un elemento de gran importancia en la formación de las proteínas de la pastura y su demanda guarda relación con los niveles de producción de materia seca (Vivas *et al.*, 2004).

La evaluación y caracterización de los aspectos de manejo y suelo que condicionan la óptima producción de alfalfa incidió directamente en la productividad y persistencia de la pastura (Vivas, 2004). En promedio, en el



norte de la provincia de La Pampa la producción anual de materia seca (MS) puede oscilar entre 7000-18000 kg ha⁻¹ con una duración de 3 a 4 años, mientras que en el centro y el centro-sur la producción de MS oscila entre 5000-14000 kg ha⁻¹ y la persistencia de 2-3 años (Fernández y Álvarez com. personal). Estas diferencias en la producción en cada zona, se encuentra asociada a la calidad del suelo donde se instaló la pastura y además con aspectos relacionados al manejo. No obstante, es necesario destacar que la mayor limitante en la Región Pampeana la constituye el agua, y una fertilidad adecuada y balanceada para aumentar la eficiencia de su uso (Collino *et al.*, 2007).

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción y eficiencia en el uso del agua en alfalfa con la incorporación de fertilizante fosforado y azufrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo sobre dos suelos, un Haplustol éntico localizado en el norte de la provincia de la Pampa denominado Módulo Dorila (MD) y sobre un Paleustol petrocalcico localizado en el centro de la provincia, denominado Santa Maria (SM). En ambos suelos se sembró aproximadamente 10 kg ha⁻¹ de Alfalfa (*Medicago Sativa*) el 31/3/2020 en MD y en SM el 9/4/2020. Las características de los suelos se presentan en la Tabla 1. En el mes de agosto de 2020, marzo 2021 y febrero de 2022 se establecieron diferentes tratamientos de fertilización al voleo de fósforo (P, Fosfato monoamónico) en dosis crecientes con y sin azufre (S), utilizando 230 kg ha⁻¹ de KMag (25% K, 10% Mg y 21% S). Los tratamientos fueron: sin aporte de fósforo (T)- sin fósforo con S (T con S); 9 kg ha⁻¹ P (9 P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (9 P S) y 36 kg ha⁻¹ P (36 P) - 36 kg ha⁻¹ P con S (36 PS).

El ensayo fue dispuesto en un diseño de bloque completamente aleatorizados con tres repeticiones.

En la experiencia MD, se determinó biomasa aérea a los 226, 288, 357, 409, 647, 718, y 788 días desde la siembra (25/11/2020, 28/1/2021, 6/4/2021, 28/6/2021, 26/10/2021, 6/1/2022 y 10/3/2022, respectivamente) y en SM a los 215, 284, 404, 548, 632, 673 y 719 días desde la siembra (5/11/2020, 14/1/2021, 14/5/2021, 12/10/2021, 4/1/2022, 15/2/2022 y 31/3/2022, respectivamente). Los cortes se realizaron en una superficie de 0,25 m² en cada parcela a 5 cm del suelo y las muestras fueron secadas en estufa a 60 C°.

En cada momento de corte de biomasa se determinó el contenido de humedad del suelo (método gravimétrico) cada 20 cm hasta los 200 cm en MD y 140 cm en SM debido a la presencia de manto calcáreo a fin de calcular el uso consuntivo promedio (López & Arrue, 1997) y la eficiencia en el uso del agua (EUA) a partir de la siguiente ecuación, EUA (kg MS mm⁻¹ ha⁻¹) = Biomasa (kg MS ha⁻¹) / UC (mm)

Los resultados fueron analizados mediante modelos lineales mixtos con medidas repetidas en el tiempo para cada pastura. La comparación de medias se realizó mediante Test de Fischer (p ≤ 0,1) utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Tabla 1: Arcilla y limo (A+L), materia orgánica (MO), índice de materia orgánica (IMO), fósforo extractable (P), Azufre de sulfatos (S-SO₄) en Módulo Dorila (MD) y Santa Maria (SM) a 0-20 cm de profundidad en suelo

Experiencia	A+L (%)	MO (%)	IMO	P (ppm)	S-SO ₄ (ppm)	Profundidad del perfil (cm)
MD	43	2,1	4,9	50,2	13,2	> 200
SM	33	1,7	4,8	27,9	14,1	140

RESULTADOS Y DISCUSION

La producción de MS en MD desde la siembra hasta los 788 días se observa en la Figura 1. Considerando la producción acumulada, en el tratamiento T se cuantificó un 4% más de biomasa cuando se fertilizó con S (33907 y 35428 kg MS ha⁻¹ para T y T con S, respectivamente). Se encontraron diferencias significativas (p<0,10) en la producción acumulada a los 226, 288, 357 y 409 días desde la siembra (Fig. 1, a). En el tratamiento 9 P S también se obtuvo un 4% más de biomasa con respecto a 9 P, con diferencias significativas en



los cortes realizados a los 226, 288, 357, 409, 647 días desde la siembra (Fig.1, b). En el tratamiento 36 P S la producción fue 3% mayor con respecto a 36 P (Fig.1, c). Este tratamiento fue el que mayor biomasa produjo con respecto a los de menor contenido de P, alcanzando una producción acumulada de 37037 y 38188 kg MS ha⁻¹ para 36 P y 36 P S, respectivamente. La producción de alfalfa en SM se presenta en la Figura 2. En este sitio, la fertilización con S incremento significativamente la producción acumulada, disminuyendo la respuesta a mayor fertilización con P. Por lo tanto, se obtuvo un 30, 22 y 14% más de biomasa cuando se fertilizó con S en T, 9 P y 36 P, respectivamente. La mayor producción de biomasa se encontró en el tratamiento 9 P y 9 P S con respecto a los demás. La respuesta en la producción de MS por el uso del S (a cada nivel de P) tendría implicancias en estimular la capacidad de nodulación y en consecuencia la fijación biológica del nitrógeno. Ambos suelos se encontraron cercanos al valor umbral establecido entre 10-12 ppm de S-SO₄⁻ como límite de deficiencia de este elemento para la mayoría de los cultivos (Scott & Munro, 1979; Rivero *et al.*, 2006). No obstante, debido a que aún no se han desarrollado métodos confiables para el diagnóstico de necesidades de este elemento las recomendaciones de fertilización se realizan en base a experiencias regionales/locales (Vivas & Fontanetto, 2003).

Los resultados del trabajo demuestran que si bien el contenido de P no resultó limitante (Tabla 1) en ambos sitios se encontraron respuestas significativas a la fertilización con P sin el agregado de S (p=0,094 y 0,0155 para MD y SM, respectivamente). Según lo expresan López *et al.* (2019) es probable que en suelos con buen contenido de P la respuesta a la fertilización fosfórica esté influenciada por la estratificación en los primeros cm del suelo y por limitantes físicas. Además, hay que tener en cuenta que para el análisis del contenido de fósforo se evalúa el suelo tamizado por 2 mm, por lo que no se tiene en cuenta la estructura y porosidad del suelo y la accesibilidad de los cultivos al P edáfico. Al fertilizar con S no se registró diferencias significativas entre las dosis crecientes de P (p= 0,2713 y 0,4368 para MD y SM, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo expresado por Galantini *et al.* (2007) indicando que el agregado de S estaría asociado a un uso más eficiente de N, P y otros elementos por parte de las plantas. En este sentido, varios autores remarcan el efecto positivo de la aplicación de fertilizantes azufrados, poniendo en evidencia la deficiencia de S y demostrando la factibilidad de la fertilización al voleo para aumentar la producción de materia seca (Fontanetto *et al.*, 2006; Fontanetto & Keller, 1999; Miretti *et al.*, 2006; Vivas, 2004).

Los resultados de producción de forraje encontrados en SM fueron similares a los reportados para la misma zona de estudio (Fontana & Cabo, 2020), en cambio la biomasa cuantificada en MD fue muy superior. El suelo en MD, además de tener mayor profundidad del perfil (Tabla 1) presenta napa freática entre los 260 a 300 cm de profundidad, lo cual seguramente contribuye por ascenso capilar al uso consuntivo de la pastura en algún momento del ciclo. Los valores promedios del contenido de agua hasta los 2 m de profundidad, en cada fecha de corte de la pastura se observan en la Figura 3. En ninguna fecha el contenido de agua superó el valor de capacidad de campo lo que indicaría agua gravitacional. No obstante, en la Región Pampeana se ha comprobado que el cultivo puede aprovechar con efectividad el agua proveniente de napas freáticas ubicadas entre 2,25 y 6 m de profundidad (Collino *et al.*, 2007). Debido a esto es posible que la napa contribuya significativamente al uso consuntivo de la pastura en profundidades mayores de los 2 m.

En la Región Semiárida Pampeana, Fernández *et al.* (2017) no encontraron relación entre la producción de materia seca por corte y las precipitaciones ocurridas entre cada corte, lo cual reflejó la importancia de considerar el suelo, su textura y profundidad del perfil, como factores importantes en la capacidad de almacenaje y transferencia del agua de las precipitaciones entre distintos periodos.



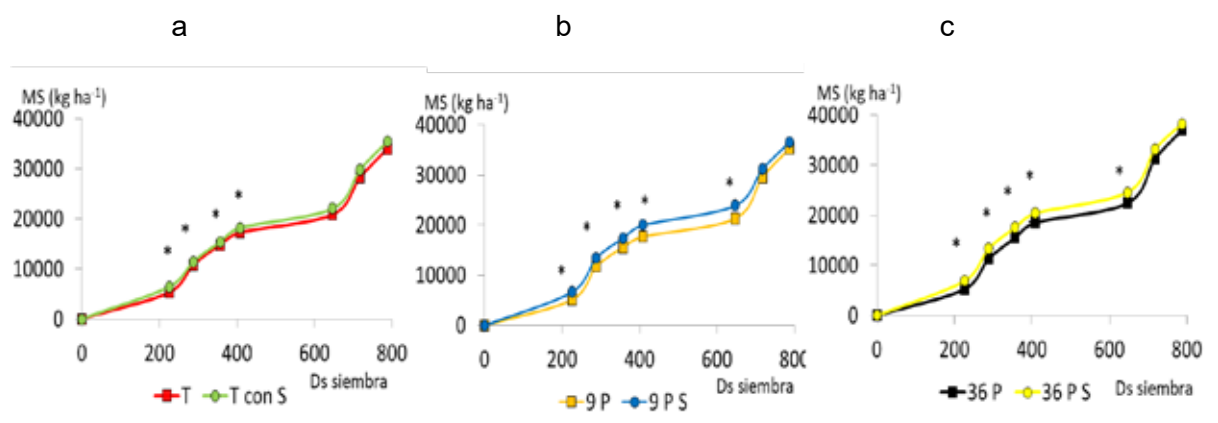


Figura 1: Producción de materia seca (MS) en a) testigo (T) y testigo con azufre (T con S), b) 9 kg ha⁻¹ P (9 P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (9 P S) y c) 36 kg ha⁻¹ P (36 P) - 36 kg ha⁻¹ P con S (36 P S); en MD.

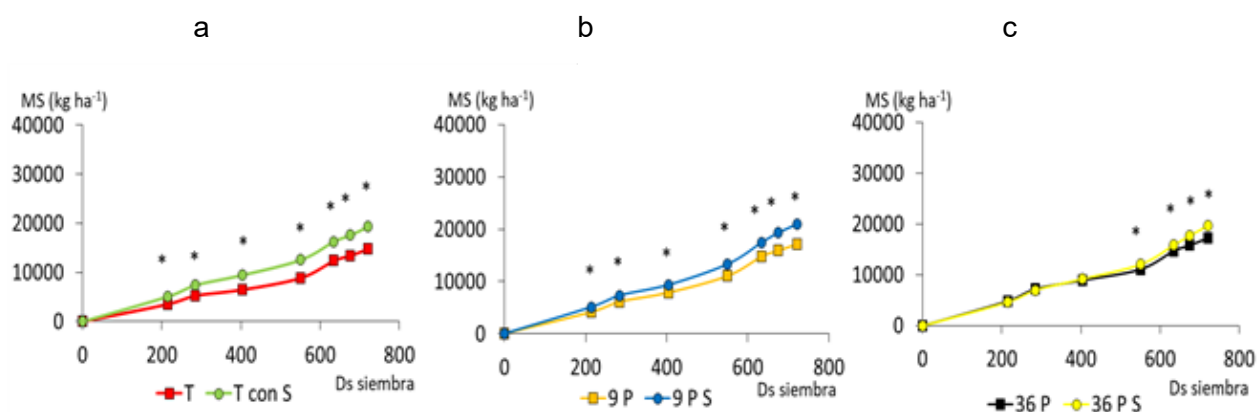


Figura 2: Producción de materia seca (MS) en a) testigo (T) y testigo con azufre (T con S), b) 9 kg ha⁻¹ P (9 P) - 9 kg ha⁻¹ P con S (9 P S) y c) 36 kg ha⁻¹ P (36 P) - 36 kg ha⁻¹ P con S (36 P S), en SM. * indica diferencias estadísticas significativas.

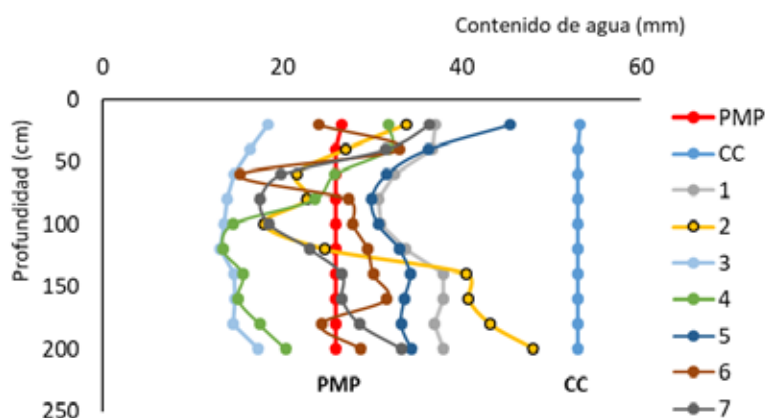


Figura 3: Contenido de agua (mm) promedio hasta los 200 cm de profundidad en cada corte de biomasa aérea (1 a 7) en MD: Modulo Dorila. PMP: punto de marchitez permanente. CC: capacidad de campo.

En la Región Pampeana, la alfalfa requiere entre 1.100 y 1.550 mm de agua por año para lograr una producción potencial de forraje (Collino *et al.*, 2007). En la RSP y sobre suelos con tosca a los 120 cm se han reportado valores entre 600 a 900 mm (Fernández *et al.*, 2017). Los resultados del presente trabajo indicaron que en el primer año de la pastura en MD el Uso consuntivo fue de 627 mm y en el segundo año de 834 mm, y para



SM de 446 y 1149 mm para el primer y segundo año, respectivamente (datos no mostrados).

La EUA promedio en MD fue similar y a cada nivel de P no hubo diferencias significativas con y sin S. Los datos obtenidos en este sitio fueron similares a los que se encuentran en Región Pampeana (Collino *et al.*, 2007) posiblemente debido al aporte del agua por ascenso capilar de la freática como se indicó anteriormente. En SM se comprobó un aumento de la EUA con la aplicación de S presentando diferencias significativas (Tabla 2). No obstante, la EUA a lo largo de una campaña presenta una importante variación entre cortes (Collino *et al.*, 2007) en MD se encontró un rango entre 18 a 39 kg ha⁻¹ mm⁻¹, y en SM de 8 a 19 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹. Rangos en la EUA entre 12,9 a 25,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹, 9 a 23,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹ y 11,9 a 29,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ han sido citados por López *et al.* (1997), Collino *et al.* (2007) y Bolger & Matches (1990), respectivamente. Según éstos autores, una de las razones de esta variabilidad es el diferente grado de sequedad del aire a lo largo del año, que juntamente con otras variables meteorológicas modifica la demanda transpiratoria.

Tabla 2: Eficiencia en el uso del agua (kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) promedio en tratamientos de fertilización, fósforo (P) y azufre (S), en Módulo Dorila (MD) y Santa María (SM).

Fósforo	Azufre	MD	SM
0 P	0	25,3 A	9,2 B
	S	26,2 A	12,0 A
9 P	0	25,6 A	10,9 B
	S	26,7 A	13,2 A
36 P	0	27,3 A	11,3 B
	S	27,6 A	12,4 A

CONCLUSIONES

En los suelos estudiados, caracterizados por presentar texturas franco-arenosas con bajos contenidos de MO el aporte del S en cada nivel de P provocó un aumento en la producción de la pastura. Si bien el contenido de P edáfico fue mayor al considerado crítico, se encontraron respuestas en la producción de biomasa al aumentar la fertilización de P sin el agregado de S. Pero al fertilizar con S, no se encontró respuesta en biomasa en las dosis crecientes de P.

La EUA fue muy alta en MD, posiblemente debido al ascenso del agua capilar desde la freática ubicada a los 3,5 m de profundidad, en cambio en SM la EUA se encontró acorde con datos de la región y el aporte de S ya sea solo o combinado con P tuvo un impacto positivo en esta variable.

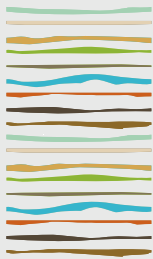
BIBLIOGRAFIA

- Bolger T & A Matches. 1990. Water-use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa. *Crop Science*. 30:143-148.
- Basigalup D & R Rossanigo, 2007. Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En: El cultivo de la alfalfa en la Argentina (Ed. Basigalup D). Capítulo 1: 15-24
- Collino D; J Dardanelli & M De Luca. 2007. Uso del agua y la radiación para la producción de forraje. En: El cultivo de la alfalfa en la Argentina (Ed. Basigalup D). Capítulo 3: 47-63
- Fontana M & S Cabo. Alfalfa. 2019. En: Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa (Ed. Kent F). Capítulo 2: 11-16
- Fontanetto H; O Keller & H Vivas. 2006. Aspectos del manejo de la fertilización de la alfalfa en el área central de Santa Fé. En: Forrajes 2006, seminario técnico. Los nuevos ambientes ganaderos. Buenos Aires. p: 165-174.
- Galantini J; M Landriscini & R Fernández. 2007. Fertilización con Azufre. Sistemas productivos del Sur y Sudoeste de Buenos Aires. Revista técnica especial AAPRESID. Pág 50-54. ISSN 1850-0633
- Hoeft R & R Fox. 1986. Plant response to sulfur in the Midwest and Northeastern United States. In. Sulfur in Agriculture. Ed. M. A. Tabatabai. Agronomy N° 27. ASA.



- Loewy T. 1994. Fertilización de pasturas perennes. Boletín de Divulgación N° 35. EEA INTA Bordenave.
- Loewy T & M Ron. 1992. Fertilización fosfórica de alfalfa en dos suelos del sudoeste bonaerense. Rev. Fac. Agron. UBA 13: 1-10.
- López, M & J Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. Soil & Till. Res. 44: 35-54.
- López J; L Dardanelli; D Collino; R Sereno & R W Racca. 1997. Efecto del grado de reposo invernal sobre la producción, consumo y eficiencia en el uso del agua en alfalfa cultivada bajo riego. RIA 28 (2): 41-48.
- López F; M Duval; J Martínez; L Gabbarini & J Galantini. 2019. Condicionantes de la disponibilidad de fósforo en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. Cienc. Suelo (Argentina) 37: 158-163.
- Pasricha N & M Aulakh. 1991. Twenty years of sulphur research and oilseed production in Punjab, India. Sulphur in agriculture 15: 17-23.
- Rivero E; G Cruzate & R Turati. 2006. Azufre, Boro y Zinc: Mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la Región Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- N & J Munro. 1979. The sulphate status of soils from North Scotland. J. Sci. Agric. 30: 15-20.
- Vivas H. 2004. Fertilización con Fósforo y Azufre para la producción de Alfalfa en el centro de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. 22 al 25 de junio de 2004.
- Vivas H & H Fontanetto. 2003. Fuentes azufradas con y sin aplicación de calcio en la producción de alfalfa. In: INPOFOS (org) Simposio «El fósforo en la Agricultura Argentina». Rosario, Mayo 8-9, pp.89-90.
- Vivas H; C Quintero; G Boschetti; H Fontanetto & R Albrecht. 2004. Fertilización con Fósforo y Azufre para la producción de Alfalfa en el centro de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. 22 al 25 de junio de 2004.





INFLUENCIA DE MANEJOS DE CONTROL DE MALEZAS SOBRE PROPIEDADES HIDRAULICAS EN SUELOS KANDIUDULTES DE MISIONES

Florentin J.L.^{1*}, S.E. Barbaro¹, C.I. Chagas²

¹ INTA, Cero Azul Misiones.

² FAUBA, Buenos Aires.

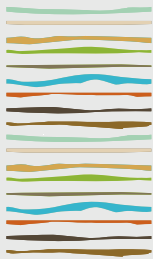
*Contacto florentin.jorge@inta.gob.ar

RESUMEN

La Yerba Mate en Misiones está implantada principalmente sobre suelos rojos Ultisoles. Tradicionalmente el control de las malezas entre hileras de plantas, se basó en la remoción del suelo lo cual provocó en el largo plazo, degradación física y erosión hídrica; posteriormente, se introdujo el uso de herbicidas y actualmente el desmalezado con podadoras que implica una mejora en la biodiversidad y aporte de carbono orgánico al suelo debido a la conservación de una cobertura herbácea viva todo el año. Para comparar los manejos, se muestrearon 3 zonas diferentes dentro del departamento Oberá (Alvear, Los Helechos, Campo Ramón) cuyos suelos corresponden al Gran Grupo de los Kandiuult; en cada área se evaluaron las tres prácticas de manejo, (denominándose los tratamientos en adelante como Rastra, Herbicida, Desmalezadora) con 3 repeticiones cada una, dando un total de 27 sitios experimentales. Algunos resultados son los siguientes: el valor medio de densidad aparente 0-10 cm para el tratamiento Rastra fue de 1,097 g cm⁻³, Herbicida 1,107 g cm⁻³ y Desmalezadora fue de 1,008 g cm⁻³. En cuanto a la Resistencia Mecánica en los primeros 10 cm los valores medios fueron los siguientes: Rastra: 0,829 MPa, Herbicida: 2,097 MPa y Desmalezadora: 1,052 MPa. Con respecto a estabilidad estructural expresada en el cambio del diámetro ponderado entre 0-10 cm, los valores medios fueron los siguientes: Rastra: 1,448 mm. Herbicida: 1,157mm y Desmalezadora: 1,261 mm. Los ensayos de simulación de lluvias a campo comprendieron la aplicación de 15 L de agua destilada por parcela, equivalente a una lluvia muy intensa de 240 mm totales y se obtuvieron los siguientes escurrimientos: Rastra; 6,149 L (DE 1,358 L); Herbicida 4,001 L (DE 1,867 L); Desmalezadora 1,033 L (DE 1,458 L). Estos valores equivalen al 41%, 27% y 7% de la lluvia aplicada respectivamente. El arrastre de sedimentos totales fue 27,00 g (DE 19,00 g), 6,40 g (DE 9,00 g) y 0,15 g (DE 0,22 g) respectivamente. A pesar de ser el tratamiento Herbicida el que provocó la mayor compactación, fue el tratamiento Rastra el más perjudicial por sus externalidades. Teniendo en cuenta el régimen torrencial de lluvias de Misiones, es destacable que una tormenta muy intensa como la que se simuló en este ensayo, podría movilizar 4,160 t ha⁻¹ por erosión laminar en un solo evento en el tratamiento Rastra, acompañados de un gran volumen de escurrimiento, con el consiguiente arrastre de material fino coloidal y cationes de gran importancia para la sustentabilidad estos suelos extremadamente intemperizados por su génesis. El tratamiento Desmalezadora resultó el más conservacionista pues redujo el uso de energía fósil y contaminantes químicos, provocando mínimos disturbios in situ y reduciendo al máximo las externalidades, lo cual destaca su elegibilidad como manejo racional para este cultivo de gran importancia en el NEA argentino.

Palabras clave: Suelos, Control de malezas, Simulación de lluvia.





CONTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES DE CULTIVOS DE COBERTURA A LAS RESERVAS DE CARBONO DEL SUELO

Frasier, I^{1,2*}; S. B. Restovich³

¹ Instituto de Suelos, CIRN-CNIA,

² CONICET,

³ Grupo Gestión Ambiental EEA INTA Pergamino.

*De los Reseros y Nicolás Repetto s/n, B1686 Hurlingham, Provincia de Buenos Aires.

frasier.ileana@inta.gob.ar

RESUMEN

Las raíces de los cultivos de cobertura (CC) podrían contribuir sustancialmente a la formación de carbono orgánico del suelo (COS). Los objetivos del trabajo fueron: i) cuantificar la biomasa de raíces de diferentes CC y el efecto acumulado de la fertilización del cultivo estival en la rotación; y ii) evaluar la relación entre la biomasa de raíces, las reservas de COS, la estabilidad estructural (EE) y la abundancia de proteínas “tipo glomalina”. El estudio se realizó en las parcelas experimentales de CC en INTA Pergamino. Se tomaron muestras de material vegetal aéreo y subterráneo de diferentes CC (cebada forrajera, raigrás, avena, cebadilla, vicia, colza, nabo forrajero y avena+vicia) y de suelo para determinar COS, su fracción lábil (COP), EE y glomalina fácilmente extraíble a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad. Los CC combinados con fertilización nitrogenada al maíz generaron una mayor biomasa aérea (3247 kg ha⁻¹) con respecto a los tratamientos no fertilizados (2733 kg ha⁻¹). En 0-5 cm, la biomasa radical fue mayor en avena+vicia, cebadilla, raigrás y colza mientras que en 0-20 cm, no se encontraron diferencias en la biomasa de raíces (1616 kg ha⁻¹), presentando una mayor R:S las parcelas sin fertilización con respecto a las parcelas fertilizadas. La biomasa de raíces se relacionó de forma lineal y positiva con el COP, COS y EE. A su vez la variación en la EE también fue explicada por las glomalinas y el COS en los primeros 0-5 cm de suelo. Los resultados preliminares de este trabajo aportan conocimiento acerca de las diferentes vías a través de las cuales las raíces y la microbiota del suelo pueden influenciar la dinámica del carbono y la agregación en el suelo en sistemas agrícolas que incluyen CC.

Palabras clave: estabilidad estructural, glomalinas, sistemas agrícolas

INTRODUCCIÓN

Las raíces de las plantas contribuyen sustancialmente a la formación de carbono orgánico del suelo (COS) a través de tres vías principales: i) el aporte de biomasa de raíces (material muerto estructural) que contribuye con la acumulación de carbono orgánico particulado (COP), ii) la liberación de compuestos orgánicos por rizodeposición y, iii) la estimulación de la microbiota edáfica por los exudados radicales, que contribuyen con el aporte de compuestos orgánicos simples, los cuales pueden estabilizarse en la fase mineral del suelo (Jastrow et al., 2007; Pausch & Kuzyakov, 2018; Sokol et al., 2019). La última vía además involucra la acumulación de necromasa microbiana que puede constituir más de la mitad del carbono orgánico adsorbido en la fracción mineral del suelo (Liang et al., 2019). Sin embargo, los mecanismos involucrados en la estabilización del COS están siendo cuestionados, presentándose la necesidad de unificar visiones y aportar mayor conocimiento a campo acerca del rol de las raíces y la microbiota del suelo en este proceso (Poirier et al., 2018).

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) en los sistemas de producción, combinados con siembra directa y



fertilización al cultivo de cosecha, constituye una estrategia que mantiene y/o mejora las reservas de C en el suelo (Frasier et al., 2016; Restovich et al., 2019). El aporte de raíces vivas durante todo el año contribuiría con una mayor eficiencia en el almacenamiento del COP y el asociado a la fracción mineral (Sanaullah et al., 2011; Sokol & Bradford, 2018). Adicionalmente, permitiría una mayor estabilidad de las poblaciones de hongos micorrícicos cuyo rol no ha sido clarificado aún, pero sus secreciones y necromasa microbiana también podrían contribuir a la formación del COS y mejorar la estabilidad estructural edáfica (EE) (Frey, 2019; Rillig, 2004).

Los objetivos del trabajo fueron: i) cuantificar la biomasa de raíces de diferentes CC y el efecto acumulado de la fertilización del cultivo estival en la rotación; y ii) evaluar la relación entre la biomasa de raíces, las reservas de COS, la EE y la abundancia de proteínas "tipo glomalina".

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un ensayo de larga duración que inició en el año 2005, ubicado en INTA Pergamino (33° 52' S; 60° 33' W). El suelo es un Argiudol típico (Taxonomía de suelo del USDA) de la serie Pergamino, con un horizonte A franco limoso sin fase erosionada (<0,3% de pendiente) y un fuerte horizonte B argílico. El clima en el área de estudio es templado húmedo sin una estación seca. La temperatura media anual es de 16.5 ° C y precipitaciones promedio de 984 mm. El ensayo tiene una secuencia soja-maíz con inclusión de diferentes CC: cebada forrajera, raigrás, avena, cebadilla, vicia, colza, nabo forrajero y avena+via. El diseño experimental es en bloques con parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas principales (30 m × 10 m) corresponden al CC y las subparcelas a dosis de fertilizante nitrogenado (0 y 32 kg N ha⁻¹) aplicado al maíz en V4-6. En abril de 2015, se extrajeron muestras de suelo disturbadas para determinar la EE (Douglas y Goss, 1982), COS (Bremner & Jenkinson, 1960), COP > a 53 µm (Cambardella & Elliott, 1993) y glomalina fácilmente extraíble (Wright & Upadhyaya, 1996) a 0-5, 5-10, 10-20 cm de profundidad. Por otro lado, al momento del secado de los CC, durante agosto, se realizó el muestreo de biomasa aérea y raíces por cada subparcela a partir de una muestra de 0,25 m² y utilizando monolitos de 0.035 m² (por profundidad), respectivamente. A partir de estos datos se calculó el cociente entre la biomasa de raíces y biomasa aérea (R:S). Los análisis de varianza se llevaron a cabo utilizando modelos lineales mixtos y la comparación de medias con LSD Fisher y nivel de significancia p<0,05 utilizando InfoStat (Di Rienzo et al., 2020). Se aplicaron modelos de regresión lineal y no lineal para establecer relaciones entre las variables bajo estudio. Para la relación entre raíces y COS se utilizó un modelo no lineal de saturación de C (Frasier et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de biomasa aérea y subterránea de los CC no presentó interacción significativa entre especie y fertilización (Figura 1). Los CC combinados con fertilización nitrogenada al maíz generaron una mayor biomasa aérea (3247 kg ha⁻¹) con respecto a los tratamientos no fertilizados (2733 kg ha⁻¹) en 0-20 cm. No se encontraron diferencias en la biomasa de raíces (1616 kg ha⁻¹), presentado mayor R:S en las parcelas sin fertilización con respecto a las parcelas fertilizadas. Por otro lado, la biomasa aérea en avena-vicia y vicia (4260 kg ha⁻¹) fue superior al resto de los tratamientos. La consociación de avena con vicia representó un incremento en biomasa aérea del 28% respecto de avena sin consociar, sin cambios en la relación R:S (0.4). La presencia de vicia en la mezcla ingresa N al sistema, a partir de la fijación biológica, y se transfiere a otras especies no leguminosas (Giacomini et al. 2003), probablemente mejorando la producción de biomasa total. Por el contrario, los valores más bajos de biomasa aérea se registraron en raigrás, cebadilla, colza y nabo, sin diferencias entre sí (2310 kg ha⁻¹) con una alta relación R:S. En relación a la cantidad de raíces por profundidad, observamos que la biomasa radical fue mayor en avena-vicia, cebadilla, raigrás y colza en los primeros 0-5 cm, mientras que en los estratos inferiores las diferencias no fueron tan evidentes (datos no mostrados).



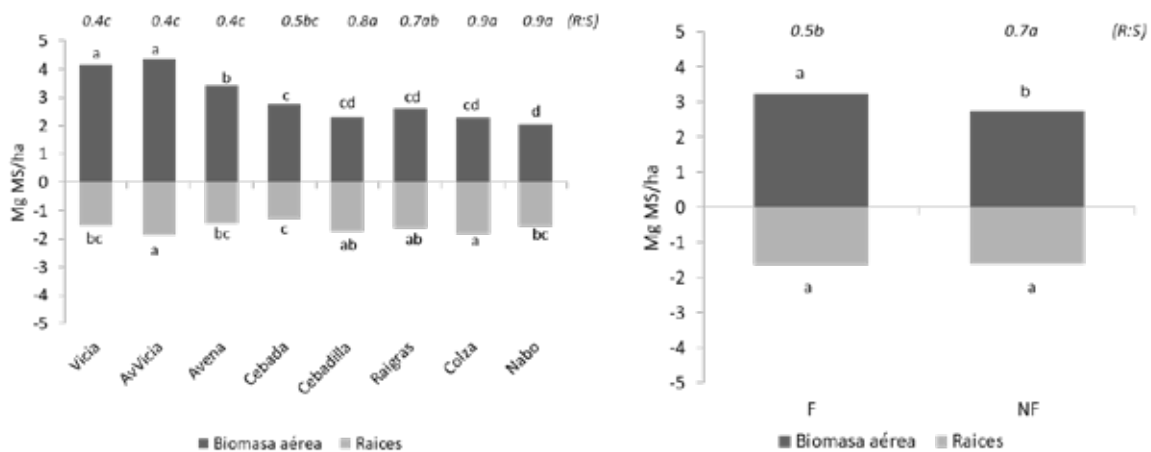


Figura 1. Biomasa aérea, radical (0-20 cm) y la partición raíz: parte aérea (R:S) de diferentes cultivos de cobertura luego de 10 años de fertilización con N en el cultivo estival. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). (F: fertilizado; NF: no fertilizado)

Los resultados muestran una relación lineal y positiva entre la biomasa de raíces y el COP (Figura 3). Esta fracción de la materia orgánica es susceptible a los cambios en el manejo del suelo, y por ende, dependiente de las entradas de C al suelo (Quiroga et al., 1996). Las raíces explicaron variaciones en el COS ajustándose a un modelo de incrementos decrecientes hasta alcanzar un nivel de saturación de 15.6 Mg ha^{-1} para 0-5 cm de profundidad. Este modelo conceptual propone que la capacidad de un suelo para estabilizar C puede estar limitada en relación a los aportes de C al suelo (Stewart et al., 2008). Adicionalmente, la producción de biomasa aérea de los CC también se relacionó con el COS en los primeros 0-5 cm ($y = 0.0005x + 11.283$; $R^2 = 0.34$; $p = 0.017$).

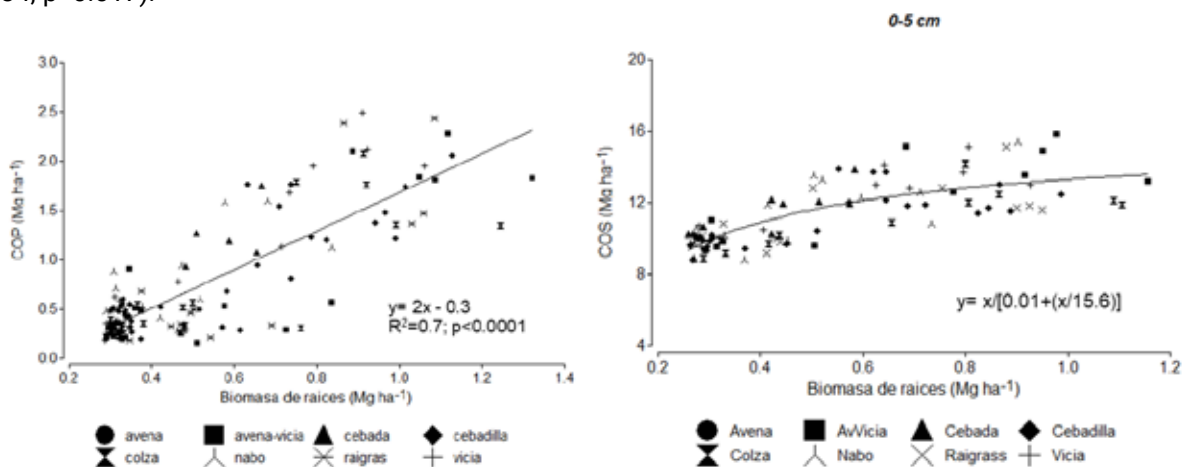


Figura 3. Relación entre la biomasa de raíces, el carbono orgánico particulado (COP) y el carbono orgánico del suelo (COS) en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

Las raíces pueden liberar una gran variedad de compuestos orgánicos como parte del proceso de rizodeposición, que puede ser equivalente al 50% del contenido de C de la biomasa de raíces (Jones et al., 2009). Estos compuestos actúan como agentes aglutinantes en la agregación de partículas minerales del suelo favoreciendo la formación y estabilización de los agregados (Shahzad et al., 2015). En ese sentido, los resultados mostraron que el aporte de raíces vivas todo el año por la inclusión de CC explicó el 50% de las variaciones encontradas en el porcentaje de EE del suelo, independientemente de la fertilización nitrogenada (Figura 4).

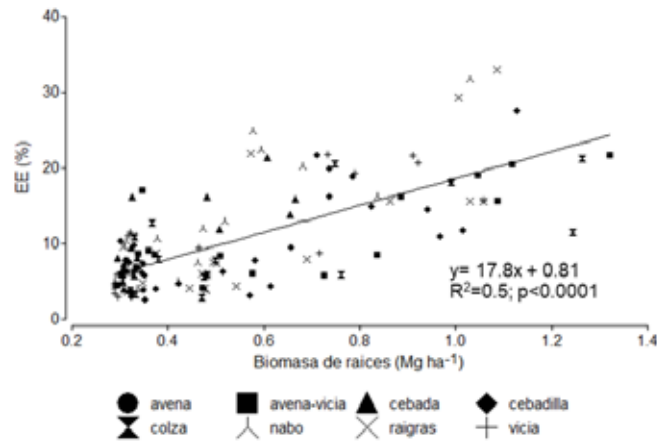


Figura 4. Relación entre la biomasa de raíces y la estabilidad estructural del suelo en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

Los exudados radicales también intervienen en el “diálogo” entre la raíz y la microbiota edáfica estimulando su actividad, y por ende, la liberación de productos orgánicos precursores del COS (Six and Paustian, 2014). Los hongos micorrícicos arbusculares, en particular, liberan unas proteínas “tipo glomalinas” que promueven la formación de agregados estables al agua al actuar como agente aglutinante, y poseen un prolongado tiempo de residencia en el suelo (Fokom et al., 2012). Los resultados del presente trabajo muestran una relación lineal y positiva entre las glomalinas, la EE y el COS en los primeros 0-5 cm de suelo (Figura 5). No obstante, la importancia relativa de los diferentes agentes cementantes que promueven la EE en el suelo puede variar a lo largo del tiempo. En Restovich et al., (2019) también se destacó la relación entre la EE del suelo y el efecto cementante de la glomalina luego de 6 años de inclusión de CC en la secuencia soja-maíz pero en ausencia de la fertilización con N.

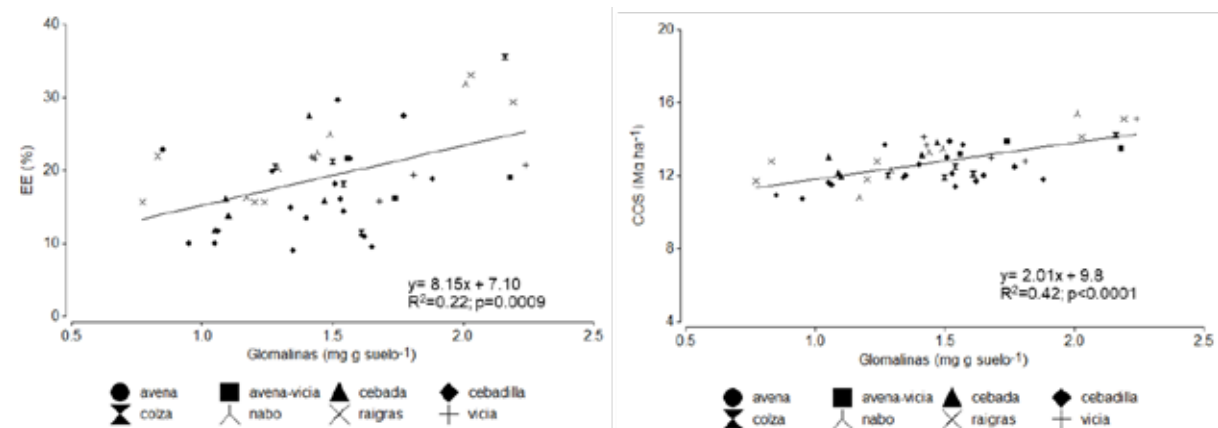


Figura 5. Relación entre glomalinas, estabilidad estructural y carbono orgánico del suelo en la secuencia soja-maíz con diferentes CC luego de 10 años de rotación bajo siembra directa.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares de este trabajo aportan conocimiento acerca de las diferentes vías a través de las cuales las raíces y la microbiota del suelo pueden influenciar la dinámica del carbono y la estabilidad de agregados en el suelo en sistemas agrícolas que incluyen CC.



AGRADECIMIENTOS

El financiamiento de esta investigación fue otorgado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) a través de los proyectos 2019-PD-E2-I037-002, 2019-PE-E1-I011-001 y 2019-PD-E3-I062-001 y por el proyecto extra-INTA POIRE 2019 JÓVENES-UNLPam. Las autoras agradecen a Leticia García, Jimena Dalpiaz y Leandro Hanuch por la asistencia de laboratorio y a Diego Colombini y Fabio Villalba por la asistencia de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner, J.M., Jenkinson, D.S., 1960. Determination of organic carbon in soil: I. Oxidation dichromate of organic matter in soil and plant materials. *J. Soil Sci.* 11, 394–402.
- Cambardella, C.A., Elliott, E.T., 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56, 449–457.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2020. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Douglas, J.T., Goss, M.J., 1982. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Tillage Res.* 2, 155–175.
- Fokom, R., Adamou, S., Teugwa, M.C., Begoude Boyogueno, A.D., Nana, W.L., Ngonkeu, M.E.L., Tchameni, N.S., Nwaga, D., Tsala Ndzomo, G., Amvam Zollo, P.H., 2012. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil Tillage Res.* 120, 69–75.
- Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., Noellemeyer, E., 2019. Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil Tillage Res.* 192, 134–143.
- Frasier, I., Quiroga, A., Noellemeyer, E., 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562, 628–639.
- Frey, S.D., 2019. Mycorrhizal Fungi as Mediators of Soil Organic Matter Dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50, 237–259.
- Jastrow, J.D., Amonette, J.E., Bailey, V.L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Clim. Change* 80, 5–23.
- Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D., 2009. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. *Plant Soil* 321, 5–33.
- Liang, C., Amelung, W., Lehmann, J., Kästner, M., 2019. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glob. Chang. Biol.* 25, 3578–3590.
- Pausch, J., Kuzyakov, Y., 2018. Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Glob. Chang. Biol.* 24, 1–12.
- Poirier, V., Roumet, C., Munson, A.D., 2018. The root of the matter : Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biol. Biochem.* 120, 246–259.
- Quiroga, A.R., Buschiazzo, D., Peinemann, N., 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Sci.* 161, 104–108.
- Restovich, S.B., Andriulo, A.E., Armas-Herrera, C.M., Beribe, M.J., Portela, S.I., 2019. Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. *Plant Soil*.
- Rillig, M.C., 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84, 355–363.
- Sanauallah, M., Chabbi, A., Leifeld, J., Bardoux, G., Billou, D., Rumpel, C., 2011. Decomposition and stabilization of root litter in top- and subsoil horizons: what is the difference? *Plant Soil* 338, 127–141.
- Shahzad, T., Chenu, C., Genet, P., Barot, S., Perveen, N., Mougin, C., Fontaine, S., 2015. Contribution of exudates, arbuscular mycorrhizal fungi and litter depositions to the rhizosphere priming effect induced by grassland species. *Soil Biol. Biochem.* 80, 146–155.
- Six, J., Paustian, K., 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biol. Biochem.* 68, A4–A9.
- Sokol, N.W., Bradford, M.A., 2018. Efficient From Belowground Than Aboveground Input. *Nat. Geosci.*
- Sokol, N.W., Sanderman, J., Bradford, M.A., 2019. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of

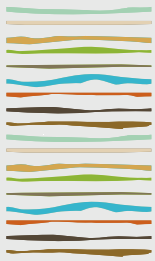


plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Glob. Chang. Biol.* 25, 12–24. doi:10.1111/gcb.14482

Stewart, C.E., Plante, A.F., Paustian, K., Conant, R.T., Six, J., 2008. Soil Carbon Saturation: Linking Concept and Measurable Carbon Pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 379.

Wright, S.F., Upadhyaya, A., 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161, 575–586.





ESTUDIO DEL Si EN LA INTERACCION CON METALES PESADOS DEL CULTIVO DE *TRITICUM AESTIVUM* Y SUELOS DEL SUDESTE BONAERENSE.

Frayssinet, C.^{1,2*}, L. Hernandez-Apaolaza³, M. Osterrieth², V. Echevarría³, N. Borrelli^{1,2}, M. Fernández Honaine^{1,2}, J.E. Marcovecchio⁴.

¹Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, FCEyN, CONICET R. Peña 4046. Mar del Plata, 7600, Buenos Aires, Argentina

²Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, CIC. Funes 3350, Mar del Plata, Argentina

³Departamento de Química Agrícola y Bromatología. UAM. Av. Francisco Tomas y Valiente 7, 28049, Madrid, España.

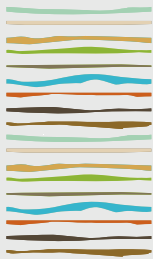
⁴Instituto Argentino de Oceanografía, UNS-CONICET, Camino La Carrindanga km 7.5, 8000, Bahía Blanca, Argentina *Funes 3350, Mar del Plata, Argentina. cfrayssinet@agro.uba.ar

RESUMEN

El silicio (Si) en suelos deriva esencialmente de los silicatos y las biomineralizaciones de sílice amorfo hidratadas, de origen vegetal denominadas silicofitolitos (SiF). Las gramíneas constituyen el principal grupo productor de dichas biomineralizaciones; considerando al Si como elemento benéfico y esencial, aportando a la sustentabilidad agrícola y preservación ambiental. En el sudeste bonaerense predominan suelos Phaeozem de elevada aptitud agrícola, utilizados intensamente, con aplicación de agroquímicos, que contienen metales traza (MT), potenciando la degradación de los suelos y pérdida de calidad de los cultivos que sustentan. El objetivo del trabajo fue cuantificar los contenidos de Si y MT en los distintos estadios fenológicos de *Triticum aestivum* y en el epipedón mólico asociado. Se realizó un ensayo a campo, se sembró el cultivo de trigo pan (Baguette 501, Nidera) con 6 tratamientos presiembra aplicados de forma líquida directamente al suelo. Los tratamientos fueron: blanco, Si(0.7mM), Cu(300µM), Cd(90µM), Si+Cu, Si+Cd. Se determinaron los contenidos de Si y (MT) de las plantas en los estadios vegetativo, reproductivo y madurativo. Se analizó la solución del suelo mediante rizómetros colocados a distintas profundidades dentro del suelo; y del extracto de pasta saturada en los mismos niveles, postcosecha del ciclo de cultivo. Mediante metodología estándar se analizó: silicio, cobre, cadmio, hierro y zinc en plantas, en suelos y soluciones del suelo, mediante absorción atómica y espectrometría UV-VIS. Los primeros resultados obtenidos, en esta temática en Argentina, mostraron en plantas, que el contenido de Si aumenta en relación directa con el desarrollo del cultivo (entre 0.05 y 0,15 gramo SiF/ gramo de planta). El Cu, presentó máximos contenidos en raíz del estadio madurativo para todos los tratamientos (20 a 35 µg/gr). El contenido de hierro y zinc aumentan a lo largo del tiempo, aunque bajo tratamiento de silicio, sus máximos se dan en el estadio reproductivo (500 y 250 µg/g, respectivamente) El Cd presentó en todo momento valores debajo del límite de detección (1,25 µg/g). Es relevante que ninguno de ellos supera los límites definidos por FAO y UE para el órgano que contiene el grano en el estadio madurativo. La solución del suelo obtenida con rizómetros y pasta saturada, presentó valores de Si similares y promedios en todos los tratamientos, incrementándose con el tiempo transcurrido: 500 µmol/L en estadio vegetativo, 800 µmol/L en el reproductivo y finalmente 1600 µmol/L en el madurativo. Además, hubo máximos valores en superficie (2500 µmol/L), descendiendo hacia la base en todos los tratamientos (750 µmol/L); a excepción del blanco donde los valores no superan los 180 µmol/L. Estos primeros resultados que analizan la relación entre el contenido SiF y MT en los distintos órganos de un cultivo mundialmente demandado como alimento, evidencian la importancia de continuar evaluando el rol de los SiF en los procesos de fitorremediación, alojando y aislando a los MT dentro de su estructura. Esto contribuiría con la calidad química del cultivo, preservando la salud de los consumidores, del suelo y los sistemas ácuos asociados, para el desarrollo de una agricultura sustentable, saludable y rentable a la vez.

Palabras clave: Sílice amorfa, Llanura pampeana, Mitigación y remediación química ambiental





MONITOREO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL SUELO EN ÁREAS DE RESGUARDO AMBIENTAL CON CONTROL MECÁNICO DE MALEZAS

Gabioud, E.* , M. Seehaus, N. Van Opstal, C. Sasal, M. Wilson, A.B. Wingeyer, R.J. Crespo

Departamento Recursos Naturales y Gestión Ambiental-INTA-EEA Paraná.

Ruta 11. Km 12.5. (3100). Oro Verde. E. Ríos. Argentina.

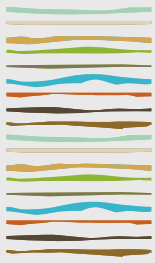
*gabioud.emmanuel@inta.gob.ar

RESUMEN

En el Módulo de Producción en Áreas de Resguardo Ambiental de la EEA INTA Paraná se ponen a prueba diferentes estrategias para mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola en interfases críticas con restricciones en el uso de plaguicidas. Para el control total en banda de malezas con remoción mínima de cobertura del suelo, se utiliza un implemento de reja plana que efectúa un corte subsuperficial de las raíces. Aunque evita, en gran medida, la inversión del pan de tierra, podría ocasionar alteraciones de la estructura del suelo, por lo cual resulta necesario el monitoreo de posibles efectos no deseados. El objetivo del trabajo fue monitorear los efectos de la reja plana sobre la estructura superficial de un *Argiudol* ácuico en un lote agrícola con control mecánico de malezas. En el sitio de estudio se realizaron 4 laboreos en total (previo a la siembra de los cultivos) durante 2 años de una rotación arveja-soja y trigo-maíz. Se utilizó la metodología del Perfil Cultural (PC) para cuantificar proporciones de las estructuras del horizonte superficial (A de 21 cm) en dos momentos 16/07/20 (M1) y 06/09/22 (M2) con humedad de 24 y 25 % g g⁻¹, respectivamente. En M1 el PC se realizó en el mismo día antes del laboreo y pos laboreo con la reja plana. En M2 el análisis se realizó luego de 7 meses del último laboreo. Además, se midió *in situ* resistencia al corte (RC) en cada tipo de estructura. En M1 el perfil sin laboreo se caracterizó por: estructura superficial gamma (Γ) (RC:1,8 kPa) entre 5 y 7 cm de espesor; debajo, estructura platy (P) continúa hasta 11 cm de profundidad y ocupando el 33% del perfil con 5 cm de espesor. Después del laboreo (M1) se observó una profundidad de trabajo de 6,5 cm con proporciones de 35 % de suelo removido en el perfil. La zona de remoción fueron las estructuras Γ y P y el efecto de deslizamiento de la reja plana se produjo en zonas de fisuras horizontales (P). En 2022 (M2) para la misma zona representativa del lote se cuantificó la presencia de Γ (RC: 2 kPa) continua de 8 –10 cm de espesor con una proporción de 54% del perfil. No se observó estructura P, ni tampoco se detectó la zona de paso de la reja. En ambas fechas, desde los 10-11 cm hasta el horizonte B textural, los perfiles se caracterizaron por una estructura phi (Φ) con presencia de zonas delta (Δ) en M1. Estas últimas (Δ) no se detectaron en M2. Se destacan los cambios visuales observados en los estados estructurales de los perfiles dados fundamentalmente por la ausencia de P a los 2 años de la primera evaluación. Además, no se registraron indicios de efectos de compactado de la reja para M2 luego de 4 laboreos. Es necesario complementar esta información con mediciones de resistencia mecánica a la penetración, mediciones expeditivas de calidad de suelo y el monitoreo del carbono orgánico del suelo.

Palabras clave: reja plana, perfil cultural, efectos de laboreo





NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN): ¿ES POSIBLE REDUCIR EL TIEMPO DE INCUBACIÓN A DOS DÍAS?

García, G.V.^{1,2,*}, N. Wyngaard^{1,2}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}; G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

* Ruta Nacional 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, gisela_garcia@mdp.edu.ar

RESUMEN

El nitrógeno mineralizado en una incubación anaeróbica del suelo (NAN) de 7 días (NAN_{7d}) es un indicador de salud edáfica (ISE), dado que refleja el efecto del uso del suelo y se relaciona con propiedades asociadas a su funcionamiento. Sin embargo, la obtención de su resultado demora más de una semana, lo que es un inconveniente para tomar decisiones de manejo inmediatas. El objetivo fue evaluar el desempeño de NAN con dos días de incubación (NAN_{2d}) como ISE en comparación con el de NAN_{7d} . Se tomaron muestras de suelo de 46 lotes de producción agrícola (LPA) y 34 pseudoprístinos (PRIS) del sudeste bonaerense con diferentes textura e historias de manejo. Se determinó NAN_{2d} , NAN_{7d} , carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), estabilidad de agregados (EA), proteínas del suelo relacionadas a glomalina fácilmente extraíbles (PSRG-FE) y logaritmo del número de esporas de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) (log ESP). En 0-20 cm se observó que NAN_{2d} fue menor en los LPA que en los PRIS, indicando que fue afectada por los cambios en el uso del suelo. El NAN_{2d} presentó valores promedio en LPA y PRIS que no difirieron significativamente de los de NAN_{7d} . Asimismo, NAN_{2d} se relacionó estrechamente con NAN_{7d} ($R^2=0,92$). Además, NAN_{2d} se correlacionó positivamente con COT, COP y EA. Se ajustaron modelos en los que NAN_{2d} predijo COT ($R^2=0,60$), COP ($R^2=0,61$) y la EA ($R^2=0,82$). Así, el NAN_{2d} sería un adecuado indicador de salud bioquímica y física del suelo. No obstante, NAN_{2d} se relacionó débilmente con PSRG-FE y de manera poco clara con log ESP. En síntesis, sería posible reducir el tiempo de incubación del NAN de 7 a 2 días sin cambios significativos en la magnitud de los resultados y manteniendo un adecuado desempeño como ISE.

Palabras clave: indicador de salud edáfica, carbono orgánico, estabilidad de agregados.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno mineralizado en una incubación anaeróbica del suelo (NAN) de 7 días (NAN_{7d}) ha sido propuesto como un indicador de salud edáfica (ISE). El NAN_{7d} es afectado por los cambios en el suelo producidos por el uso y se relaciona con otras propiedades edáficas (García *et al.*, 2020b), dos aspectos indispensables para que pueda ser un ISE (Doran y Parkin, 1996). Así, el NAN_{7d} : i) es un indicador de salud bioquímica dado que se relaciona con el carbono orgánico total (COT) y el particulado (COP) (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2020b), otras fracciones lábiles del COT (Rodríguez *et al.*, 2020, 2022), y el nitrógeno (Wyngaard *et al.*, 2018) y el azufre (Carciochi *et al.*, 2018) potencialmente mineralizables; ii) es un indicador de salud física dada su relación con la estabilidad de agregados (EA, García *et al.*, 2020b); y iii) es un indicador de salud microbiana por relacionarse con la respiración microbiana (Tourn *et al.*, 2021) y la abundancia y la actividad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) (García *et al.*, 2022). Estas asociaciones implican que, a partir de la medición de NAN_{7d} , pueden monitorearse, en el tiempo, cambios en el funcionamiento de suelos utilizados para agricultura y, de manera comparativa con el mismo suelo sin disturbio antrópico, diagnosticar su estado de salud. Esto permite planificar prácticas de manejo que puedan redireccionar el estado de salud del suelo



promoviendo un uso sustentable del recurso. Si bien NAN_{7d} es un adecuado ISE, la obtención de su resultado demora más de una semana debido al tiempo que insume por el acondicionamiento de la muestra, la incubación, y la cuantificación. Esto es un inconveniente cuando el resultado de la variable es necesario para tomar decisiones de manejo de manera inmediata. Lograr una reducción en el tiempo de incubación, haría al NAN una herramienta aún más accesible para ser utilizada como ISE. Estudios preliminares en un rango de condiciones edafoclimáticas estrechas sugieren que NAN con 2 días de incubación (NAN_{2d}) podría ser un adecuado ISE (Cantero *et al.*, 2022). El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de NAN_{2d} como ISE en comparación con el de NAN_{7d} en suelos del sudeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 46 sitios de muestreo en el sudeste bonaerense (Figura 1) correspondientes a establecimientos agropecuarios de producción agrícola con diferentes situaciones de manejo. Los sitios seleccionados no presentaron evidencias de daños por erosión (pendientes menores que 2%) ni de anegamiento, así como de historia de riego. En cada sitio de muestreo se seleccionó un lote de producción agrícola (LPA) y una situación de referencia para cada LPA, es decir sectores sin disturbio antrópico por muchos años equiparables a la situación prístina (*i.e.* pseudoprístinos (PRIS)). Los suelos pertenecen al orden Molisoles.

En cada LPA y PRIS, se tomaron muestras de suelo de 0-5 y 5-20 cm de profundidad. En ellas se determinó: i) textura (Gee & Bauder, 1986), ii) COT (Nelson & Sommers, 1982), iii) COP (Cambardella & Elliot, 1992; Nelson & Sommers, 1982), iv) proteínas del suelo relacionadas a glomalina fácilmente extraíbles (PSRG-FE) (Wright & Upadhyaya, 1996), v) logaritmo decimal del número de esporas de HMA (log ESP) (Covacevich & Consolo, 2014), vi) NAN_{7d} y NAN_{2d} mediante incubación anaeróbica corta del suelo a 40°C con 7 (Keeney, 1982) y 2 días de incubación, respectivamente, vii) EA mediante masa de macroagregados de 2-8 mm ($masaMA_{MV}$) (García *et al.*, 2020a).



Figura 1. Posiciones georreferenciadas de los 46 sitios de muestreo en el sudeste bonaerense.

Se calcularon los valores de todas las variables en 0-20 cm. Para comparar los valores promedio de NAN_{2d} entre usos del suelo (LPA y PRIS) y de NAN_{2d} con NAN_{7d} , se realizaron análisis de varianza considerando el efecto de sitio. Para caracterizar la relación entre variables se utilizaron coeficientes de correlación de Pearson (r) y modelos de regresión lineal simple y múltiple. El análisis estadístico fue realizado con el programa R (R Core Team, 2018). Se utilizó un nivel de significación de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Los suelos evaluados presentaron contenidos de arena de entre 264,7 y 695,7 g kg⁻¹, de arcilla de entre 101,1 y 379,3 g kg⁻¹ y de limo de entre 150,4 y 472,7 g kg⁻¹ en 0-20 cm de profundidad, clasificándose los suelos en las clases texturales franca, franco arcillosa, franco arenosa y franco arcillo arenosa, típicas de suelos de la región de estudio. El NAN_{2d} presentó valores entre 38,2 y 191,7 mg kg⁻¹ para PRIS y 35,3 y 95,4 mg kg⁻¹ para LPA. El promedio de NAN_{2d} fue significativamente mayor en PRIS (108,0 mg kg⁻¹) que en LPA (62,3 mg kg⁻¹). Esto indica que el NAN_{2d} fue sensible a los cambios en el uso del suelo. Lo observado coincide con lo informado para NAN_{7d} para los mismos sitios de muestreo (García *et al.*, 2020b), así como para otros con un rango de condiciones edafoclimáticas más reducidas (Domínguez *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016).

El comportamiento de NAN_{2d} respecto a uso del suelo fue consistente con el de COT y de COP que también presentaron mayores valores mínimos, máximos y promedios en PRIS que en LPA (García *et al.*, 2020b). Los PRIS tienen un alto contenido de carbono orgánico debido a la gran producción de biomasa aérea y radical, al incremento de la biomasa microbiana asociada a ello y al reducido disturbio antrópico (Haynes *et al.*, 1991). El cambio en el uso del suelo desde una condición prístina a un sistema agrícola produce la disminución del contenido de COT y, principalmente, de sus fracciones lábiles, como el COP, debido a un balance negativo entre las entradas y las salidas de carbono al suelo (Studdert *et al.*, 1997). Por todo ello, además, los PRIS proporcionan un ambiente más favorable para la formación y estabilización de los agregados (Six *et al.*, 2004), así como para el desarrollo de HMA (Singh *et al.*, 2016). Esto se vio reflejado en los mayores valores mínimos, máximos y promedios de las variables que se utilizaron como indicadores de la EA (*i.e.* masaMA_{MV}) y de la abundancia y actividad de HMA (PSRG-FE y log ESP) en PRIS que en LPA informadas por García *et al.* (2020b, 2022) para los mismos sitios de muestreo.

Por otro lado, se observó que los valores mínimos y máximos de NAN_{2d} fueron similares a los de NAN_{7d} tanto para PRIS (NAN_{7d} entre 42,8 y 184,6 mg kg⁻¹) como para LPA (NAN_{7d} entre 38,3 y 95,4 mg kg⁻¹). Asimismo, los valores promedio de NAN_{2d} no difirieron significativamente de los de NAN_{7d} para los dos usos del suelo (106,3 mg kg⁻¹ y 62,9 mg kg⁻¹ de NAN_{7d} para PRIS y LPA; respectivamente). Los resultados observados indican que, con sólo 2 días de incubación, se mineralizó la misma cantidad de nitrógeno orgánico que con 7 días. En relación con esto, la Figura 2 muestra la relación observada de NAN_{7d} en función de NAN_{2d}. El modelo ajustado para dichas variables se caracterizó por tener un elevado R² y una pendiente y una ordenada al origen que no difirieron significativamente de 1 y 0, respectivamente. Estos resultados indican que es posible reducir el tiempo de incubación para la determinación de NAN de 2 a 7 días, obteniendo resultados similares. Esto sugiere que NAN_{2d} sería un adecuado ISE, con un comportamiento muy similar al de NAN_{7d}.

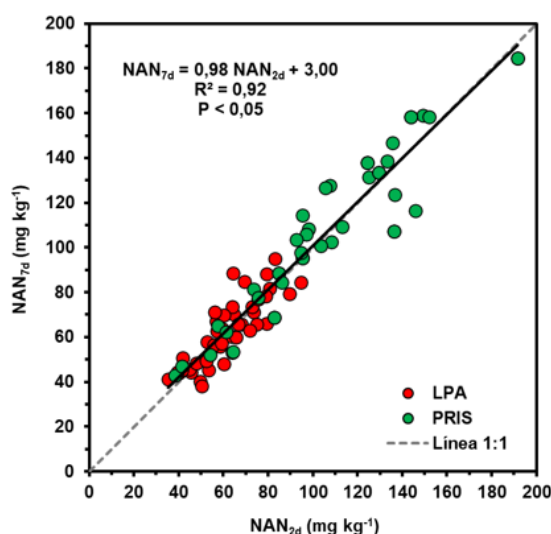


Figura 1. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) después de 7 días de incubación (NAN7d) en función de NAN después de 2 días de incubación (NAN2d) en 0-20 cm para dos usos del suelo: lotes de producción agrícola (LPA, n=46) y pseudoprístinos (PRIS, n=34).

El NAN2d se correlacionó estrecha y positivamente con COT (r=0,78), COP (r=0,78) y masaMAMV (r=0,85) en

0-20 cm. Los r que caracterizaron dichas asociaciones fueron muy similares a los de las asociaciones entre NAN7d y COT ($r=0,79$), COP ($r=0,78$) y masaMAMV ($r=0,85$) reportados por García et al. (2020b) para los mismos sitios de muestreo. De esta manera, el NAN2d permitiría monitorear cambios en cualquiera de esas variables producidos por el manejo del suelo, siendo un adecuado indicador de salud bioquímica y física del suelo. Las estrechas asociaciones lineales observadas entre NAN2d y COT, COP y masaMAMV posibilitaron el ajuste de modelos de regresión lineal simple y múltiple en los que NAN2d como única variable explicativa o junto a la variable categórica uso del suelo, permitió predecir el contenido de COT y de COP y la masaMAMV (Figura 3). La textura a través del contenido de arena y/o de arcilla no tuvo un aporte significativo en los modelos que ya contenían a NAN2d como variable explicativa (datos no mostrados). Como se esperaba, el COT y el COP aumentaron ante aumentos de NAN2d (Figura 3a y b), lo que coincide con lo informado en trabajos anteriores para NAN7d como variable explicativa (Domínguez et al., 2016; García et al., 2016, 2020b). Es factible remarcar que las relaciones entre COT y NAN_{2d} y entre COP y NAN_{2d} no presentaron diferencias de pendiente ni de ordenada al origen entre LPA y PRIS. Esto coincide con los modelos reportados por García et al. (2020b) para los mismos sitios de muestreo en los que NAN_{7d} permite predecir COT y COP. De hecho, los R^2 de los modelos ajustados para NAN_{2d} (Figura 3a y b) fueron similares a los ajustados para NAN_{7d} (0,62 y 0,60 para COT y COP en función de NAN_{7d}, respectivamente, García et al., 2020b).

Por otro lado, se observó que la masaMA_{MV} aumentó al aumentar NAN_{2d} (Figura 3c), con la misma pendiente para LPA y PRIS, pero distintas ordenadas al origen. Dicha relación presentó un elevado R^2 (Figura 3c), similar al reportado para masaMA_{MV} en función de NAN_{7d} para los mismos sitios de muestreo ($R^2=0,81$, García et al., 2020b). La capacidad de los agregados de resistir la ruptura es determinada por numerosas características edáficas, de la vegetación, del clima y de las prácticas de manejo (Six et al., 2004). No obstante, para los mismos sitios de muestreo se reportó que la variabilidad de masaMA_{MV} fue explicada en gran medida por los contenidos de COT y de COP (García et al., 2020b). Estas dos últimas variables, a su vez, están relacionadas con NAN_{2d} (Figura 3a y b), lo que posibilita la relación indirecta observada entre NAN_{2d} y la EA medida a través de la masaMA_{MV} (Figura 3c). Sin embargo, las diferentes ordenadas al origen de las líneas de regresión de LPA y PRIS (Figura 3c) indican que a un mismo nivel de NAN_{2d}, la EA fue más alta para PRIS que para LPA. Esta diferencia entre usos del suelo puede ser consecuencia de otros factores diferentes de COT y COP que afectan la EA como abundancia y persistencia de raíces, hidrofobicidad, cobertura y remoción del suelo, y actividad microbiológica, entre otros.

Si bien NAN_{2d} se correlacionó positivamente con PSRG-FE, la asociación fue muy débil ($r=0,37$). Más aún, el r que caracterizó dicha correlación fue más bajo que el observado para NAN_{7d} y PSRG-FE ($r=0,47$, García et al., 2022). El NAN_{2d} se correlacionó positivamente con el log ESP al considerar una asociación lineal global (i.e. considerando LPA y PRIS juntos) ($r=0,71$). No obstante, los LPA y los PRIS se observaron gráficamente como dos grupos aislados con comportamientos diferentes (datos no mostrados), por lo que fue más adecuado considerar asociaciones individuales para cada uso del suelo. Así, como era de esperar, NAN_{2d} presentó una correlación positiva y aceptable con log ESP en los LPA ($r=0,59$). Por el contrario, en los PRIS, NAN_{2d} se correlacionó estrechamente con log ESP, aunque contrariamente a lo esperado, de manera negativa ($r=-0,88$). La correlación global, así como la correspondiente a los LPA, si bien con menores valores de r , fueron similares a las observadas entre NAN_{7d} y log ESP para los mismos sitios de muestreo ($r=0,77$ y $0,73$, respectivamente, García et al., 2022). No obstante, dichos autores no observaron asociación entre las dos variables en los PRIS. La escasa cantidad de situaciones evaluadas en cada uso del suelo, especialmente en los PRIS ($n=5$) y, en menor medida, en los LPA ($n=12$), impidió observar un comportamiento claro. Los resultados observados sugieren que NAN_{2d} no sería un adecuado indicador de la actividad y la abundancia de HMA. No obstante, la correlación global alienta a la evaluación futura de la relación entre log ESP y NAN_{2d} en un mayor número de situaciones.

CONCLUSIONES

Para las condiciones en las que se desarrolló este trabajo, los resultados indican que es posible reducir el tiempo de incubación para la determinación de NAN de 7 a 2 días, sin cambios evidentes en la magnitud de los resultados. Asimismo, los resultados indican que NAN_{2d} podría ser un adecuado ISE, dado que permitió evidenciar los cambios en el suelo producidos por cambios en su uso (desde prístino a uso agrícola), y se relacionó estrechamente con el COT, el COP y la EA permitiendo diagnosticar el estado de salud bioquímica



y física del suelo. No obstante, el uso de NAN_{2d} como indicador de la abundancia y actividad de HMA debería ser más estudiado. Futuras investigaciones deberían continuar evaluando el desempeño de NAN_{2d} como ISE en un rango de condiciones edafoclimáticas más amplias, así como la posibilidad de reducir aún más el tiempo de incubación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos otorgados por la Universidad Nacional de Mar del Plata (proyectos AGR633/20 y AGR653/21) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (RIST I-503).

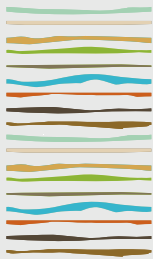
BIBLIOGRAFÍA

- Cambardella, CA; ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x.
- Cantero, CC; GV García; S Rodríguez; SN Tourn & GA Studdert. 2022. Alternativa metodológica para determinar nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN): i) reducción del tiempo de incubación. Actas XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, noviembre de 2021.
- Carciochi, WD; N Wyngaard; GA Divito; ML Cabrera; NI Reussi Calvo & HE Echeverría. 2018. A comparison of indexes to estimate corn S uptake and S mineralization in the field. *Biol. Fert. Soils* 54:349-362. DOI: 10.1007/s00374-018-1266-9.
- Covacevich, F & FV Consolo. 2014. Manual de protocolos. Herramientas para el estudio y manipulación de hongos micorrícicos arbusculares y *Trichoderma*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. 115 p.
- Domínguez, GF; GV García; GA Studdert; MA Agostini; SN Tourn & MN Domingo. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil quality/health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6:82-97. DOI: 10.3232/SJSS.2016.V6.N2.01.
- Doran, JW & TB Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, JW & AJ Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Special Publication N° 49. Pp. 25-37. Soil Sci. Soc. Am.; SSSA Madison, WI.
- García, GV; GA Studdert; MN Domingo & GF Domínguez. 2016. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis: relación con sistemas de cultivo de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 34:127-138.
- García, GV; SN Tourn; MF Roldán; M Mandiola & GA Studdert. 2020a. Simplifying the determination of aggregate stability indicators of Mollisols. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 51:481-490. DOI: 10.1080/00103624.2020.1717513.
- García, GV; N Wyngaard; NI Reussi Calvo; S San Martino; F Covacevich & GA Studdert. 2020b. Soil survey reveals a positive relationship between aggregate stability and anaerobic mineralizable nitrogen. *Ecol. Ind.* 117, 106640. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106640.
- García, GV; F Covacevich; S San Martino; N Wyngaard; NI Reussi Calvo & Studdert, G.A. 2022. Anaerobically mineralized nitrogen: a possible indicator of arbuscular mycorrhizal fungi activity and abundance? *Ecol. Austral*, *under revision*.
- Gee, GW & JW Bauder. 1986. Particle size analysis. In: Blake, GR & KH Hartge (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods – Agronomy Monograph 9*. (2nd ed.). Pp. 383-411. ASA.SSSA. Madison, WI.
- Haynes, RJ; RS Swift & RC Stephen. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil Tillage Res.* 19:77-87. DOI: 10.1016/0167-1987(91)90111-A.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties - Agronomy Monograph 9* (2nd ed.). Pp. 643-698. ASA.SSSA. Madison, WI.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, AL (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties - Agronomy Monograph 9* (2nd ed.). Pp. 539-579. ASA. SSSA. Madison, WI.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2020. Carbono extraíble en agua caliente como indicador de salud de molisoles del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 38:149-161.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2022. Permanganate Oxidizable Carbon, New Soil Health Indicator for Mollisols of the Southeastern Argentinean Pampas? *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 53:16. DOI: 10.1080/00103624.2022.2070631
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79:7-31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008.



- Studdert, GA; H Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472. DOI: 10.2136/sssaj1997.03615995006100050026x.
- Tourn, SN; C Rivero; GV Garcia; CC Videla & GA Studdert. 2021. Dióxido de carbono emitido en incubaciones cortas como indicador de salud edáfica. *Actas XI Congreso de Uso y Manejo del Suelo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, diciembre de 2021.*
- Wright, SF & A Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161:575-586.
- Wyngaard, N; ML Cabrera; A Shober & R Kanwar. 2018. Fertilization strategy can affect the estimation of soil nitrogen mineralization potential with chemical methods. *Plant Soil* 432:75-89. DOI: 10.1007/s11104-018-3786-3.





RESISTENCIA DEL SUELO A LA PENETRACIÓN BAJO SISTEMAS DE LABRANZA EN LA PRODUCCIÓN MECANIZADA DE GRANOS

García, R.¹, C.A. Leguizamón^{1*}, J.C. Lochs², S. Holzbach³, N.A. Céspedes¹, M. Samaniego¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción,

²Cooperativa Pindo Ltda.,

³Agropecuaria Holzbach;

*Campus UNA, San Lorenzo, Paraguay, carlos.leguizamón@agr.una.py

RESUMEN

La labranza del suelo afecta las propiedades físicas del suelo pudiendo afectar la dinámica del agua y el crecimiento de las raíces de las plantas. El objetivo del estudio fue evaluar la resistencia del suelo a la penetración bajo diferentes sistemas de labranza. El estudio se realizó en suelo Eutrudox de Alto Paraná, Paraguay. Los tratamientos del experimento fueron cuatro sistemas de labranza: siembra directa (SD), rastra aradora (rastra pesada (R), Escarificado (S) y subsolador pie de pato (PP), siendo establecido en diseño de bloque completos al azar con cuatro repeticiones. La variable evaluada fue la resistencia del suelo a la penetración (RSP) en la camada 0-60 cm de profundidad. Condiciones favorables para el crecimiento de raíces se lograron apenas en camadas más superficiales bajo siembra directa y la rastra aradora. Camadas favorables de mayor profundidad para el crecimiento de plantas se obtuvieron con el escarificado y subsolador tipo pie de pato (PP), obteniéndose la descompactación del suelo.

Palabras clave: Subsulado, rastra aradora, escarificador, siembra directa.

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los principales soportes de la producción agrícola y este se ve afectado por la acción humana a través de prácticas agrícolas de los sistemas de labranza (Taboada & Alvares, 2018).

Los sistemas de labranzas tienen una influencia muy significativa en las propiedades físicas del suelo, siendo una de ellas la resistencia mecánica a la penetración, indicador de la compactación del suelo. Esta problemática se fue acentuando en la camada más superficial con la siembra directa, especialmente en aquellas realizadas sin rotación de cultivos e incorporación de cultivos de plantas de cobertura (Klein et al., 1998).

La compactación del suelo es uno de los problemas más comunes de los suelos agrícolas (García, 2010). La misma afecta directamente al proceso nutricional de los cultivos, explica la baja circulación de aguas, el desarrollo del sistema radicular, afectando el techo productivo de los cultivos.

La resistencia mecánica del suelo a la penetración se interpreta como de nivel alto, es decir que el crecimiento del sistema radicular de las plantas comienza a presentar restricciones a partir de los 2 MPa (Klein et al., 1998; USDA, 2017).

El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de sistemas de labranzas en la resistencia mecánica del suelo a la penetración.



MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Región Oriental del Paraguay, en el Distrito de San Cristóbal, Dpto. Alto Paraná. El suelo predominante en el área de estudio pertenece al Eutrudox (López et al. 1995), se caracterizó por niveles altos de acidez ($\text{pH} < 5,5$), con valor intermedio de Mg ($\text{Mg}^{+2} 0,4 - 0,8 \text{ cmolc kg}^{-1}$) y bajo nivel de calcio ($\text{Ca}^{+2} < 2,51 \text{ cmolc kg}^{-1}$). La precipitación media anual es 1.800 mm. durante el periodo de la investigación registró un total de 722 mm agua (2021), siendo esta el periodo más crítico.

El diseño utilizado fue de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en cuatro sistemas de labranza Subsolador Pie de Pato (PP), Rastra aradora (rastra pesada) (R), Escarificador (S) y Siembra Directa (SD). El establecimiento de los sistemas de labranza se realizó a inicio de mayo del 2021, siendo aplicado 5.000 kg ha⁻¹ de cal agrícola dolomítica y siembra de avena negra (*Avena strigosa* Schreb). Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 72 m². En la quincena de junio del año 2021 (45 días después de la implantación del experimento), se evaluó la resistencia del suelo a la penetración utilizando un penetrómetro digital, realizando lecturas cada 2,5 cm de profundidad hasta los 60 cm. La medición se realizó en 6 seis puntos por cada unidad experimental. Los resultados fueron analizados por profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se destaca los resultados de la resistencia del suelo a la penetración (RSP) bajo los diferentes sistemas de labranza siembra directa (SD) y rastra aradora (R). Se verifica que la RSP se encuentra por encima del nivel crítico (2 MPa) bajo siembra directa (SD) a partir de los 10 cm y bajo el tratamiento rastra aradora (R) desde los 15 cm, permaneciendo por encima de este valor hasta los 60 cm de profundidad; indicando condiciones de limitación para el crecimiento de las raíces de las plantas. Valores máximos de RSP se alcanzó a los 17,5 cm en SD (3 MPa) y a 22,5 cm de profundidad bajo R (2,7 MPa).

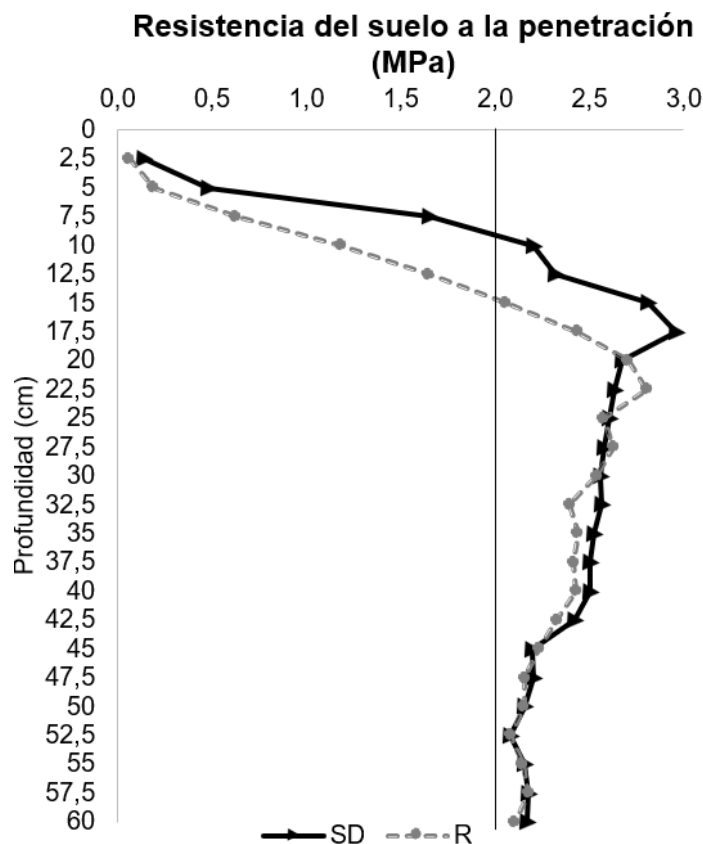


Figura 1. Resistencia del suelo a la penetración bajo Siembra Directa (SD) y Rastra aradora (R) en la camada 0-60 cm.



En la figura 2 se verifica la RSP bajo cuatro sistemas de labranza. Se verifica en general dos tipos de comportamientos, por un lado, la RSP bajo rastra aradora (R) y SD, y por otro lado, el comportamiento bajo el escarificado (S) y el subsolado (tipo pie de pato) (PP). Se verifica que bajo la labranza vertical (S y PP) la RSP presenta valores menores a 2 MPa hasta una mayor profundidad, 30 cm en S y 40 cm en PP, indicando condiciones más favorables para el desarrollo de los cultivos bajo estos sistemas de labranza, verificándose el efecto de descompactación del suelo que realizan estos implementos. También podría decirse que el subsolador tipo pie de pato (PP) ejerció su acción descompactadora hasta una mayor profundidad (40 cm), en relación, al escarificador (S) (30 cm).

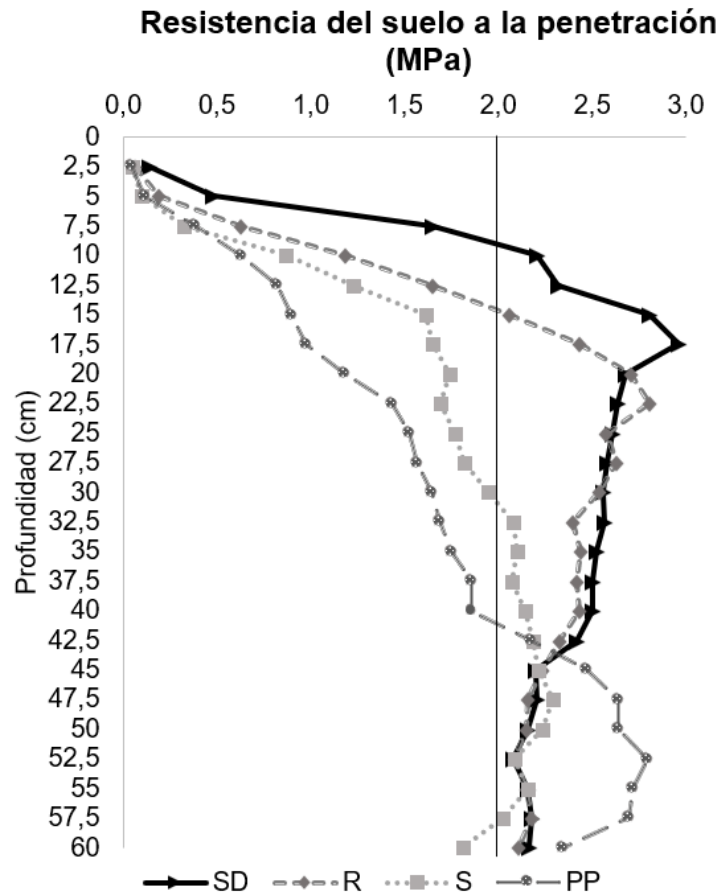


Figura 2. Resistencia del suelo a la penetración bajo cuatro sistemas de labranza; Siembra directa (SD), rastra aradora (R), escarificador (S) y subsolador pie de pato (PP) en la camada 0-60 cm.

Estos resultados indican que esta parcela conducida bajo siembra directa fue mejorada en cuanto a la RSP con el paso del escarificador y subsolador Pie de Pato. Sin embargo, con la rastra aradora (R) la profundidad de mejoramiento físico alcanzó solamente los 15 cm.

CONCLUSIONES

La resistencia del suelo a la penetración queda por debajo de nivel crítico hasta los 40 cm con el subsolador Pie de Pato (PP) y hasta los 30 cm con escarificador, mejorando las condiciones físicas del suelo conducidas bajo siembra directa.

En el sistema de siembra directa (SD) se verifica condiciones de limitación para el crecimiento de raíces a partir de los 10 cm de profundidad, y la rastra aradora mejora las condiciones físicas, apenas hasta los 15 cm de profundidad.



BIBLIOGRAFÍA

García, I.; Sánchez, M.; Vidal, M.; Bentancourt, Y. 2010. Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. Consultado 18 de set. 2021. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000200009.

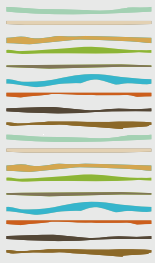
Klein, VA. 1998. Física del suelo. Brasil, BR. Editorial UPF Universidad de passo Fundo. 220 p.

López, O; Gonzalez, E; De Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; Garcia, S; Rios, E. 1995. Estudio de Reconocimiento de Suelos, Capacidad de Uso De La Tierra Y Propuesta de Ordenamiento Territorial Preliminar de la Región Oriental del Paraguay (en línea). Asunción, Paraguay. Consultado 13 set. 2021. Disponible en <https://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>

Taboada, MA; Alvares CR. 2008. Fertilidad Física de los suelos. 2ed. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Agronomía. 227 p.

USDA "Departamento de Agricultura de los Estados Unidos" 2017. Soil survey manual. USA.n°18.p 587.





EFFECTO DE LA FUENTE Y DOSIS DE YESO SOBRE LA SALUD FÍSICA EN SUELOS REGADOS

García, G.V.^{1,2,*}, W.D. Carciochi^{1,2}, J. Chevallier Boutell¹; N. Diovisalvi³; P. Iglesias¹; N. Wyngaard^{1,2}; C. Crespo^{1,2}; H.R. Sainz Rozas^{1,2,4}; N.I Reussi Calvo^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

³ Fertilab;

⁴ Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce, Unidad Integrada Balcarce;

* Ruta Nacional 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, gisela_garcia@mdp.edu.ar

RESUMEN

El riego complementario en el sudeste bonaerense ha provocado un deterioro de la salud física del suelo debido al uso de agua con bicarbonato de sodio. La aplicación de yeso ha sido difundida para remediar el efecto de sodificación. No obstante, para esta región, no hay recomendación de fuentes ni dosis. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de distintas fuentes y dosis de yeso sobre las propiedades físicas de un suelo. Se realizaron dos ensayos en un lote agrícola con 10 años de riego (porcentaje de sodio intercambiable: 6,90 y 6,52%). Se evaluó un testigo y la combinación de distintas fuentes (Azufertil, yeso fértil y yeso fino) y dosis (2 y 3 Mg ha⁻¹) de yeso. Un mes después de la aplicación de las enmiendas, se sembró cebada (*Hordeum vulgare* L.), seguida de maíz (*Zea mays* L.) de segunda. Al finalizar este cultivo, se determinó la densidad aparente (DA) y la estabilidad de agregados (EA) en 0-10 cm, y la velocidad de infiltración (VI). No hubo efecto de los tratamientos sobre la VI ni la DA en ninguno de los dos ensayos. La EA no fue afectada por los tratamientos en el Ensayo 2. En el Ensayo 1, 2 Mg ha⁻¹ de Azufertil mostró una mayor EA que el resto de las enmiendas aplicadas, aunque ninguna difirió del testigo. El escaso tiempo transcurrido desde la aplicación del yeso hasta el monitoreo de la EA, pudo haber limitado el efecto de las enmiendas sobre la formación y estabilización de agregados y, por ende, sobre la VI y la DA. Es necesario continuar la investigación en el largo plazo y evaluar prácticas complementarias a la aplicación de yeso (p.e. manejo del riego, rotación, laboreo, etc.) para remediar la sodificación de suelos por efecto del riego.

Palabras clave: estabilidad de agregados, densidad aparente, velocidad de infiltración.

INTRODUCCIÓN

Los suelos del sudeste bonaerense con aptitud agrícola en condición prístina se caracterizaban por tener altos contenidos de materia orgánica y, con ello, una gran aptitud física. El cambio en el uso del suelo de prístino a agrícola ha producido una pérdida de salud física como consecuencia, principalmente, de la reducción en el contenido de materia orgánica (García *et al.*, 2020b). En los últimos años, el riego complementario ha sido una práctica de manejo creciente en la región que ha provocado un deterioro aún mayor de la salud física del suelo (Costa & Aparicio, 2015; Tourn & Domínguez, 2015). El agua subterránea utilizada para riego presenta un elevado contenido de bicarbonato de sodio (Costa *et al.*, 2016), por lo que su adición no controlada al suelo puede generar sodificación. Así, los suelos de la región con historia de riego difieren químicamente de los suelos no regados por tener mayores valores de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH (Costa & Aparicio, 2015). El mayor contenido de sodio intercambiable impide la floculación de las arcillas, alterando la formación y estabilización de los agregados, produciendo, además, el taponamiento de poros a partir de la migración del material dispersado (Taboada, 2017). En el sudeste bonaerense, en suelos bajo riego, se ha evidenciado una disminución de la estabilidad de los agregados (EA), un aumento de la densidad aparente



(DA), la presencia de costras superficiales y/o de anegamiento y una reducción en la velocidad de infiltración (VI) (Pilatti *et al.*, 2006; Costa & Aparicio, 2015; Tourn & Domínguez, 2015). Esto afecta el adecuado funcionamiento del suelo y, por ende, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Costa & Aparicio, 2015). La práctica de manejo más difundida para remediar el efecto de sodificación es la aplicación de enmiendas de yeso (Taboada, 2017). No obstante, para el sudeste bonaerense, no hay registros de trabajos donde se evalúe el efecto de diferentes fuentes y dosis sobre las propiedades físicas del suelo. El objetivo de este trabajo es evaluar, en el corto plazo, el efecto de la aplicación de distintas fuentes de yeso con diferentes dosis sobre propiedades físicas en suelos con historia de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña agrícola 2021-2022 se realizaron dos ensayos (Ensayo 1 y Ensayo 2) en un lote de producción agrícola ubicado en el Partido de Lobería (Provincia de Buenos Aires) que tenía 10 años de historia de riego (lámina anual promedio entre 80 y 120 mm) y más de 20 años de siembra directa. El diseño experimental de cada ensayo fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 5 x 12 m. Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de distintas fuentes y dosis de yeso. Así, en el Ensayo 1 los tratamientos fueron: i) testigo sin aplicación de yeso (T), ii) 2 Mg ha⁻¹ de Azufertil (A-2), iii) 2 Mg ha⁻¹ de Yeso Fertil (YF-2), iv) 3 Mg ha⁻¹ de Yeso Fertil (YF-3), v) 2 Mg ha⁻¹ de Yeso Fino (Yf-2) y vi) 3 Mg ha⁻¹ de Yeso Fino (Yf-3). En el Ensayo 2, los tratamientos fueron: i) T, ii) A-2, iii) YF-2 y iv) Yf-2. El Azufertil es comercializado por Nutrien Ag Solutions Argentina, el Yeso Fertil por Aswell S.A. y el Yeso Fino por Camauti S.A. Las presentaciones comerciales de las enmiendas aplicadas se detallan a continuación: i) Yeso Fertil en forma de pellet con una composición de 18,5% de azufre y 23,3% de calcio, ii) Yeso Fino en forma molida (< 2 mm) con 18,5% de azufre y 23,3% de calcio, y iii) Azufertil como granulado con 18,7% de azufre y 23,4% de calcio. Las enmiendas se aplicaron en mayo de 2021. Un mes después, se sembró un cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) bajo siembra directa. Luego del cultivo de cebada, en diciembre de 2021, se sembró uno de maíz (*Zea mays* L.) de ciclo corto, también bajo siembra directa. La secuencia de cultivos estuvo fertilizada con 260 kg ha⁻¹ de nitrógeno (aplicado en forma de urea, 46-0-0), 30 kg ha⁻¹ de fósforo (en forma de superfosfato triple de calcio, 0-46-0) y 20 kg ha⁻¹ de azufre (en forma de sulfato de amonio, 21-0-0, 24% de azufre), con el fin de evitar deficiencias de dichos nutrientes en el desarrollo de los cultivos. En junio de 2022 (13 meses después de la aplicación de las enmiendas), cuando el cultivo de maíz alcanzó la madurez fisiológica, en cada tratamiento de los dos ensayos se tomaron muestras de suelo compuestas por 5 submuestras cada una en 0-10 cm de profundidad, con un muestreador tubular de 4,4 cm de diámetro. Del mismo modo, con el fin de caracterizar el estado de salud del suelo de los dos ensayos, se tomaron muestras de suelo (3 muestras compuestas por 5 submuestras) de un sitio de referencia, sin disturbio durante muchos años (*i.e.* condición pseudoprístina, PRIS). En todas las muestras de suelo, se determinó la DA mediante el método del muestreador (Agostini *et al.*, 2014) y la EA mediante la masa de macroagregados entre 2 y 8 mm remanentes de un tamizado luego de un mojado violento (masaMA_{MV}) (García *et al.*, 2020a). En cada tratamiento de los dos ensayos se determinó la VI *in situ* mediante el método rápido del anillo simple con lámina fija propuesto por USDA (1999). Además, se contó con información de pH, PSI, relación de adsorción de sodio (RAS) y materia orgánica en 0-10 cm de profundidad del testigo de los dos ensayos y en la PRIS (Chevallier Boutell *et al.*, 2022). Para comparar los valores promedio de todas las variables entre sitios (Ensayo 1, Ensayo 2 y PRIS), se realizaron análisis de varianza. Para analizar el efecto de los tratamientos en los dos ensayos, se realizaron análisis de varianza considerando un modelo acorde con el diseño experimental. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de diferencia mínima significativa. El análisis estadístico fue realizado con el programa R (R Core Team, 2018). Se utilizó un nivel de significación de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de caracterizar el estado de salud del suelo de cada ensayo, en la Tabla 1 se presentan valores promedio de algunas variables edáficas medidas en 0-10 cm de profundidad en el testigo de cada ensayo y en la PRIS. Los dos ensayos presentaron valores promedio menores de masaMA_{MV} y mayores valores promedio de DA que el PRIS, aunque las diferencias no resultaron significativas. A pesar de la ausencia de significancia, las diferencias en los valores promedio de la masaMA_{MV} entre el pseudoprístino y los ensayos, mostraron ser importantes en magnitud (21,7 y 22,7 g (100 g)⁻¹ entre los Ensayos 1 y 2, respectivamente, y el pseudoprís-



tino). Asimismo, las diferencias en los valores de DA entre el pseudoprístino y los dos ensayos también presentaron magnitudes de importancia agronómica, siendo la DA promedio del Ensayo 2 más próxima al umbral crítico para limitación del crecimiento de raíces ($1,4 \text{ Mg m}^{-3}$, Griffith *et al.*, 1977). Así, los dos ensayos evidenciaron una pérdida de salud física del suelo. Esto puede ser, en parte, consecuencia de una pérdida

Tabla 1. Valores promedio para distintas variables edáficas en tres sitios (condición pseudoprístina (PRIS), Ensayo 1 y Ensayo 2). Para cada variable edáfica, letras iguales indican diferencias no significativas ($P > 0,05$) entre las medias de los sitios. PSI: porcentaje de sodio intercambiable, RAS: relación de adsorción de sodio y masa MA_{MV} : masa de macroagregados entre 2 y 8 mm remanentes de un mojado violento.

Variable edáfica	PRIS	Ensayo 1	Ensayo 2
pH	6,40 C	6,57 B	6,88 A
PSI (%)	1,57 B	6,90 A	6,52 A
RAS	0,97 C	3,40 A	2,00 B
Materia orgánica (g (100 g)^{-1})	6,37 A	5,37 B	4,80 C
Densidad aparente (g cm^{-3})	1,14 A	1,21 A	1,31 A
masa MA_{MV} (g (100 g)^{-1})	63,90 A	42,16 A	41,23 A

de materia orgánica (García *et al.*, 2020b; Crespo *et al.*, 2021) evidenciada por un menor contenido en los ensayos que en el pseudoprístino (Tabla 1). Asimismo, la pérdida de salud física puede haber sido también consecuencia de la afectación de la salud química por sodificación causada por la prolongada historia de riego (Costa & Aparicio, 2015). Los dos ensayos presentaron mayores valores promedio de pH, PSI y RAS que el pseudoprístino (Tabla 1). Para conocer el efecto de la sodificación sobre la salud física de los dos ensayos, separado del efecto de la pérdida de materia orgánica, hubiera sido necesaria la determinación de la masa MA_{MV} y la DA en áreas del mismo lote de producción agrícola no afectadas por riego (*i.e.* fuera del alcance del equipo de pivot central). Lamentablemente, dichas áreas presentaron un manejo de suelo diferente al de los dos ensayos, que afectó el contenido de materia orgánica de forma diferencial, imposibilitando el conocimiento de la afectación de las propiedades físicas sólo por efecto del riego. Respecto a las propiedades químicas, es factible destacar que no hubo diferencias significativas en los valores promedio de PSI entre los dos ensayos, pero sí en los de pH y RAS. No obstante, dicha diferencia en el pH y la RAS en los ensayos no fue consistente para demostrar un efecto diferencial de sodificación, ya que el pH sugiere que el Ensayo 2 estuvo más afectado por el riego que el Ensayo 1, mientras que la RAS sugiere lo contrario (Tabla 1).



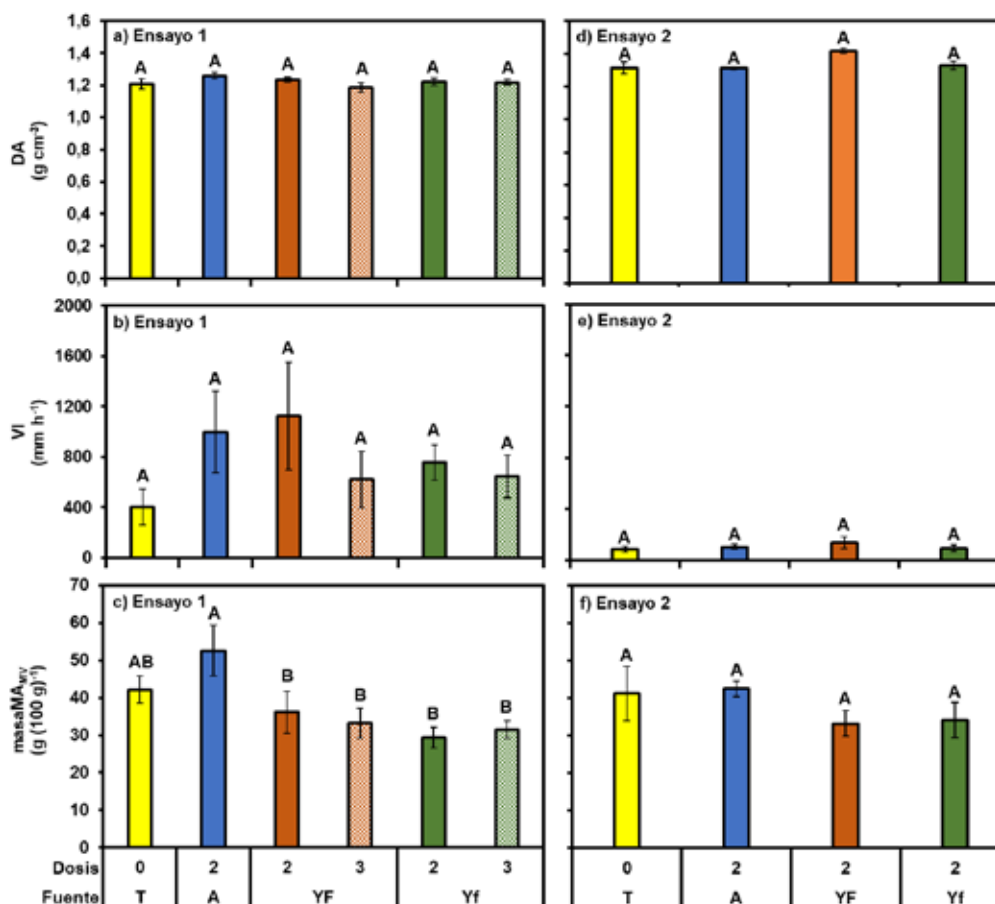


Figura 1. Medias de densidad aparente (DA) (a, d), velocidad de infiltración (VI) (b, e) y masa de macroagregados entre 2 y 8 mm remanentes de un mojado violento ($masaMA_{MV}$) (c, f) en 0-10 cm en los tratamientos del Ensayo 1 (a, b, c) y del Ensayo 2 (d, e, f). T: testigo, A: Azufétil, YF: yeso fértil, Yf: yeso fino. 0, 2 y 3 corresponden a dosis de 0, 2 y 3 Mg ha⁻¹. Para cada ensayo y variable edáfica, letras iguales indican diferencias no significativas ($P > 0,05$) entre las medias de tratamientos.

Por otro lado, no hubo efecto diferencial de los tratamientos sobre la DA (Figura 1a y d) y la VI (Figura 1b y e) en ninguno de los dos ensayos. El Ensayo 2 mostró, para cada tratamiento, mayores valores de DA y, principalmente, menores valores de VI que el Ensayo 1. Esto sugiere una mayor afectación de la salud física, aunque los tratamientos testigo de ambos ensayos no difirieron significativamente entre sí (datos no mostrados). Por lo expuesto, una respuesta de mayor magnitud a la aplicación de las enmiendas hubiera sido esperada en el Ensayo 2. No obstante, como se mencionó, en la profundidad evaluada no hubo un efecto diferencial claro de la sodificación entre los dos ensayos. Es factible mencionar que la menor VI y la mayor DA del Ensayo 2 estuvieron en línea con menores contenidos de materia orgánica (Tabla 1). Los resultados observados coinciden con los reportados por Costa *et al.* (2016) para un suelo similar al de este estudio, pero con un menor PSI (4,8%), en el que dosis de 1 y 2 Mg ha⁻¹ de yeso no tuvieron efecto sobre la DA ni la VI después de casi un año desde el momento de la aplicación. La reducción en la DA y la VI en suelos sodificados por efecto del riego, es consecuencia de la ruptura y desestabilización de los agregados (Pilatti *et al.*, 2006). Por lo tanto, el efecto de las enmiendas de yeso sobre la porosidad y la infiltración de agua es dependiente del efecto que pudieran tener aquéllas sobre la formación y la estabilización de los agregados. Es así que los resultados observados para DA y VI estuvieron en línea con los resultados del efecto de las enmiendas aplicadas sobre la EA (Figura 1c y f).

La EA ha sido propuesta como la variable física más sensible al efecto de las prácticas de manejo (Aparicio & Costa, 2007). No obstante, la $masaMA_{MV}$ no fue afectada por los tratamientos en el Ensayo 2 (Figura 1f). En el Ensayo 1, la $masaMA_{MV}$ no difirió significativamente del testigo para ninguna de las fuentes y dosis de yeso aplicadas. Sólo A-2 mostró una mayor $masaMA_{MV}$ que el resto de las enmiendas aplicadas (YF-2, YF-3, Yf-2, Yf-3) (Figura 1c). El calcio presente en la composición de las enmiendas de yeso produce el desplazamiento

del sodio del complejo de intercambio, permitiendo la floculación de las arcillas y, por ende, la formación y la estabilización de los agregados. De esta manera, se espera que, ante la adición de yeso, aumente la EA. Si bien ésta es una variable sensible a las prácticas de manejo, en ciertas situaciones, el tiempo del ciclo natural de ruptura de los macroagregados puede diferir del de formación (Six *et al.*, 2004). Así, la EA, definida por la estabilidad de los macroagregados (García *et al.*, 2020a), es frecuentemente afectada en el corto plazo por los cambios en el uso del suelo o las prácticas de manejo cuando éstas resultan en la ruptura de macroagregados. Sin embargo, el efecto de las prácticas de manejo tendientes a lograr la formación y estabilización de los macroagregados puede requerir de un mayor período de tiempo para que se manifieste un incremento de la EA (Tourn *et al.*, 2019). Esto sugiere que, en los dos ensayos, el escaso tiempo transcurrido desde la aplicación del yeso hasta el monitoreo de la EA, pudo haber limitado el efecto de las enmiendas sobre la formación y estabilización de agregados. Asimismo, a partir de los resultados obtenidos surge la inquietud de si las dosis de enmienda aplicadas (2 y 3 Mg ha⁻¹) y un único momento de aplicación serían suficientes para remediar el efecto de sodificación provocado por la prolongada historia de riego del lote de producción agrícola. Por último, considerando que la EA depende de numerosos factores edáficos y de la vegetación (Six *et al.*, 2004), sería deseable evaluar la combinación de la aplicación de yeso con otras prácticas de manejo que interactúen positivamente para lograr un aumento en la formación y estabilización de los agregados.

CONCLUSIONES

Para las condiciones en las que se desarrolló este trabajo, los resultados indicaron que no hubo efecto de las fuentes ni dosis de yeso sobre las propiedades físicas del suelo. No obstante, existe la necesidad de remediar el efecto de sodificación producido por la historia de riego en suelos de la región y de generar conocimiento para dar una recomendación de aplicación de enmiendas de yeso para lograrlo. Por ello, debe continuarse la investigación considerando un mayor plazo de estudio, así como la posibilidad de utilizar otras dosis y momentos y/o frecuencias de aplicación, y la combinación del enyesado con otras prácticas de manejo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas Aswell S.A, Camauti S.A., Agronomía Lobería, Agro Ricci Prado S.A. y a la Asociación de Riego Pampeano por el financiamiento, y a los dueños del establecimiento La Esperanza, Jorge y Carlos Ricci, por brindar las instalaciones para la realización de los experimentos.

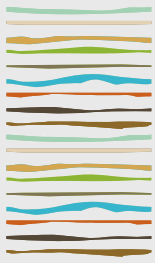
BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, MA; MG Monterubbianesi; GA Studdert & S Maurette. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Cienc. Suelo*. 32:171-176.
- Aparicio V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165. DOI: 10.1016/j.still.2007.05.006
- Chevallier Boutell, J.; W.D. Carciochi; G.V. García; N. Diovisalvi; P. Iglesias; N. Wyngaard; C. Crespo; H.R. Sainz Rozas & N.I. Reussi Calvo. 2022. Enyesado para revertir problemas de sodicidad por riego: efecto de fuente y dosis. *Actas XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, noviembre de 2021.
- Costa, JL & VC Aparicio. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation waters. *Agric. Water Manag.* 159:299-306. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.06.017
- Costa, JL; VC Aparicio; LF Salleses & FD Frolla. 2016. Effect of tillage and application of gypsum in a no-till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. *Agric. Water Manag.* 177:291-297. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.08.005
- Crespo, C; N Wyngaard; H Sainz Rozas; GA Studdert; M Barraco; V Gudelj; P Barbagelata & P Barbieri. 2021. Effect of intensified cropping sequences on soil physical properties in contrasting environments. *Catena* 207:105690. DOI: 10.1016/j.catena.2021.10569
- García, GV; SN Tourn; MF Roldán; M Mandiola & GA Studdert. 2020a. Simplifying the determination of aggregate stability indicators of Mollisols. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 51:481-490. DOI: 10.1080/00103624.2020.1717513.
- García, GV; N Wyngaard; NI Reussi Calvo; S San Martino; F Covacevich & GA Studdert. 2020b. Soil survey reveals a positive relationship between aggregate stability and anaerobic mineralizable nitrogen. *Ecol. Ind.* 117, 106640. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106640.
- Griffith, DR; JV Mannering; HM Galloway; SD Parsons & CB Richey. 1977. Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. *J. Soil Water Conser.* 32:20-28.



- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & RP Marano. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133:431-433. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.08.007
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Deneff. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79:7-31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008.
- Taboada, MA. 2017. Suelos hidromórficos, halomórficos e hidro-halomórficos. Descripción, consecuencias y manejo. En: ME Vázquez (ed.). *Manejo y conservación de suelos: con especial énfasis en situaciones argentinas*. Pp. 205-228. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 480 pp.
- Tourn, S & G Domínguez. 2015. Situación de Suelos bajo riego. *Visión Rural XXII(109)*:26-30.
- Tourn, SN.; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411. DOI: 10.1016/j.still.2019.104411.
- USDA. 1999. Soil quality test kit guide. USDA-Agriculture Research Service, Soil Conservation Service. Washington (DC), USA. 82 pp.





MANEJO POR AMBIENTES EN SUELOS MARGINALES: EFECTOS DE LA ALCALINIDAD EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ

Garello, F.J.^{1,2}, M. Cicchino¹, E.M. Melani¹

¹INTA Chascomús – EEA Cuenca del Salado;

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Edafología;

*Mitre 202, Chascomús (7130), Prov. de Buenos Aires, fedegarello89@gmail.com

RESUMEN

En la Cuenca del Salado, un porcentaje importante de la agricultura se realiza en suelos someros que presentan una elevada heterogeneidad espacial de sus propiedades químicas, lo que suele limitar el rendimiento de los cultivos. La utilización de imágenes satelitales es una herramienta útil para delimitar sectores intra-lote y poder realizar un manejo sitio-específico. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de cambios en la densidad de siembra sobre el rendimiento en grano (RG) de maíz en dos ambientes contrastantes en cuanto a su alcalinidad sub-superficial, delimitados con imágenes satelitales. Se condujo un ensayo en parcelas durante las campañas 2020-21 y 2021-22. El diseño experimental fue en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el Ambiente (A) y la sub-parcela las Densidades (D): (i) 4,5, (ii) 6,5 y (iii) 8,5 pl m⁻². En el ambiente No Alcalino el RG fue ≈40% más elevado respecto al Alcalino. Hubo una interacción AxD, donde la densidad óptima en el ambiente No Alcalino fue de 6,5 plm⁻², mientras que en el ambiente Alcalino no se observaron efectos de cambios en la densidad. La delimitación de ambientes mediante la utilización de imágenes satelitales permite delimitar sectores Alcalinos y No alcalinos, dentro los cuales, se podrían aplicar prácticas de manejo sitio-específico diferenciales (i.e. densidad).

Palabras clave: suelos someros, alcalinidad, manejo sitio-específico.

INTRODUCCIÓN

El avance de la agricultura en la Cuenca del Salado se consolidó a partir del año 2005 (BCBA 2020; Paruelo *et al.*, 2005). Una alta proporción de estos suelos donde se realizan cultivos son someros y presentan una elevada heterogeneidad espacial de sus propiedades químicas que, en general, se asocian a cambios abruptos en el contenido de sodio, alcalinidad y salinidad a diferentes profundidades del perfil (Taboada *et al.*, 2021). Estas características limitan el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En esta región, el maíz es uno de los cultivos de mayor importancia, ya que puede ser utilizado, tanto para cosecha, como para confección de reservas. Si bien se ha evidenciado una tendencia positiva en la evolución de los rendimientos del cultivo, su variabilidad es elevada (BCBA 2020). Distintos tipos de estreses ambientales, como deficiencias hídricas (Schussler y Westgate, 1991), son responsables de importantes pérdidas de rendimiento en este cultivo. Garello *et al.* (2020), reportaron reducciones de hasta ≈1000 kg ha⁻¹ por cada punto de incremento en el pH sub-superficial en un rango de entre 7,5 y 10.

El avance de la agricultura de precisión permite delimitar zonas de manejo diferencial (ZM) y aplicar diversas técnicas de manejo agronómico, reduciendo el impacto ambiental y los costos de producción (Melchiori y Albarenque, 2011; Paz Pellat *et al.*, 2015) multiple and diverse vegetation indices (VI; en un contexto de elevada competencia por la superficie cultivable y mayor demanda de la sociedad respecto al impacto de las



prácticas agropecuarias. Una de las prácticas más difundidas es la dosificación variable de la densidad de plantas entre las diferentes ZM, fundamentada en la mayor respuesta que presenta esta especie a cambios en el stand de plantas (Andrade *et al.*, 2005). Sin embargo, no existen evidencias locales de su efecto en ambientes con niveles crecientes de alcalinidad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta a cambios en la densidad de siembra sobre el rendimiento de maíz en dos ambientes contrastantes en cuanto a su alcalinidad sub-superficial, definida a través de imágenes satelitales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ambientó un lote de producción en la Chacra Experimental Integrada Chascomús (MDA-INTA) (35° 44' S; 58° 03' O), provincia de Buenos Aires, mediante el uso de imágenes satelitales de NDVI de los cultivos realizados las campañas previas. Sobre un suelo somero perteneciente a la serie Udaondo, clasificado como Illws según la carta de suelos de INTA 1:50.000, se delimitaron dos ZM con diferencias en la alcalinidad del horizonte sub-superficial (Somero No Alcalino y Somero Alcalino), en el que las imágenes de NDVI marcaban diferencias en el nivel de productividad de los cultivos de hasta el 25%. En cada ZM se realizó una caracterización física y química del perfil, para determinar las diferencias en las limitantes para el desarrollo del cultivo, donde se evaluó: pH, conductividad eléctrica y espesor de los horizontes A, Bt y C (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización edáfica de las ZM definidas por NDVI.

Ambiente	Horizonte	Espesor (cm)	pH	CE	% del lote
Somero Alcalino	A	15	8,56	0,7	45%
	Bt	22,5			
	C	50			
Somero No Alcalino	A	30	7,2	0,16	55%
	Bt	26			
	C	40			

Se condujo un ensayo a campo durante las campañas 2020-21 y 2021-22 utilizando un diseño experimental en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el Ambiente (A) (i) Somero No Alcalino y (ii) Somero Alcalino. Dentro de cada ambiente se aleatorizaron las densidades (D): (i) 4,5, (ii) 6,5 y (iii) 8,5 pl m⁻², como sub-parcelas. El efecto del año fue analizado como repetición de los ambientes. Cada parcela estuvo compuesta por 5 surcos de 6 m de largo y una distancia entre surcos de 0,52 m. Las siembras fueron realizadas de forma manual a razón de tres plantas por sitio, con el posterior raleo a una planta por sitio en el estado de V₃ (Ritchie y Hanway, 1982). En R₆ se cosechó el ensayo, se separó la biomasa vegetativa del grano y se determinó el rendimiento en grano (RG) por unidad de superficie y sus componentes numéricos número de granos (NG) y peso de los granos (PG).

Se aplicó un análisis de varianza (ANVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos y sus interacciones. Para el cálculo de diferencias mínimas entre medias se utilizó el test L.S.D con un nivel de significancia de 5%. Las relaciones entre variables fueron evaluadas a través de análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento en grano (RG) mostró una interacción significativa AxD (p=0,035). El ambiente somero No Alcalino fue el más productivo, con un comportamiento de tipo "óptimo", donde el mayor RG fue de 899 g m⁻² y se alcanzó con la densidad de 6,5 pl m⁻². Mientras que el ambiente Alcalino fue el menos productivo, y los cambios en la densidad de plantas no influenciaron el RG (Tabla 2). Se pudo determinar una brecha de 236 g m⁻², lo que representa un RG 42% más elevado en el ambiente No Alcalino respecto al Alcalino. En coincidencia con estos resultados, Filippi *et al.* (2019) reportaron reducciones del RG en algodón ante incrementos de la alcalinidad.



Tabla 2. Rendimiento (RG), número de granos por planta (NGP) y peso de los granos (PG) de maíz en función de la densidad en ambientes No Alcalinos y Alcalinos.

Ambiente	Densidad (pl m ⁻²)	RG (g m ⁻²)	NGP	PG (m g)
No Alcalino	4,5	662 BC	495 A	307 A
	6,5	899 A	478 A	294 B
	8,5	679 B	304 C	263 B
Alcalino	4,5	479 D	376 B	274 A
	6,5	517 D	318 BC	250 B
	8,5	534 CD	261 C	252 B
A		NS	NS	NS
D		0,015	< 0,0001	0,026
AxD		0,035	0,045	NS

Analizando los componentes numéricos, el NGP mostró una interacción significativa (AxD: $p = 0,045$, $R^2 = 0,89$), donde los más altos valores se registraron en el ambiente menos restrictivo (Somero No Alcalino) y bajo las densidades intermedia y baja (i.e: 4,5 y 6,5 pl m⁻²), y los más bajos en las densidades más altas (8,5 pl m⁻²) en ambos ambientes. Además, este componente explicó el 80% de las variaciones en el RG (Figura 2 A, $p < 0,0001$). Por su parte, el PG solo mostró cambios ante incrementos en la densidad ($p=0,026$), y no explicó las variaciones en el RG ($R^2 = 0,003$, $p = 0,7$) (Figura 2 B). Similares interacciones fueron reportadas por Hernández *et al.* (2020), quienes informaron que cambios en la densidad de siembra incrementaron el RG bajo condiciones hídricas no limitantes; mientras que, bajo condiciones hídricas limitantes, el RG no mostró variaciones asociadas a cambios en la densidad. De manera simultánea, observaron similares relaciones entre el RG y el NGP a las informadas en el presente estudio.

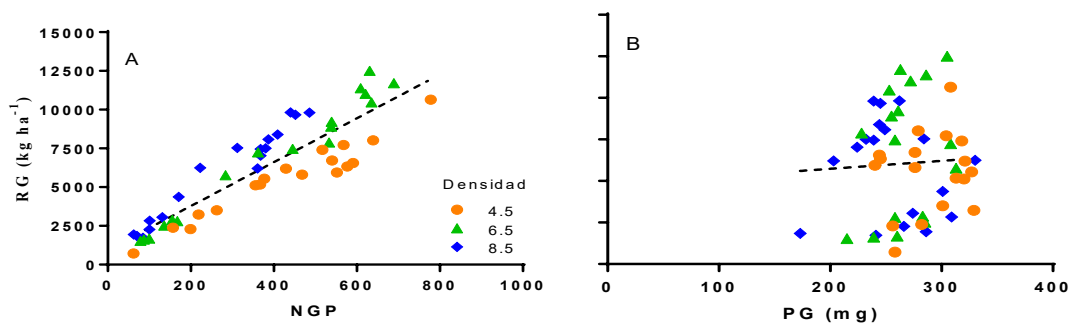


Figura 2. Rendimiento en grano (RG) en función del número de granos por planta (NGP) y del peso de los granos (PG).

Las condiciones de alcalinidad en los suelos reducen la disponibilidad de nutrientes altamente demandados por los cultivos (i.e Nitrógeno), e incrementan la solubilidad de elementos tóxicos; reduciendo simultáneamente el movimiento del agua que los cultivos pueden absorber (Adcock *et al.*, 2007; Bernstein 1975; Rengasamy *et al.*, 2022). Estos factores combinados, pudieron haber explicado la magnitud de las diferencias entre los dos ambientes.

Estos resultados, permiten determinar que en ambientes someros No Alcalinos, los niveles más elevados de productividad podrían alcanzarse con densidades intermedias (i.e: 6,5 pl m⁻²), dado que con densidades más elevadas los rendimientos cayeron, posiblemente, como consecuencia de un incremento del aborto de



granos y/o espigas (Vega y Andrade, 2000). Mientras que en ambientes donde, además del escaso espesor del horizonte A (someros), se adiciona la limitante de alcalinidad, los rendimientos alcanzan su techo con densidades menores (4,5 pl m⁻²).

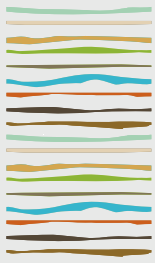
CONCLUSIONES

La presencia de alcalinidad sub-superficial en ambientes someros genera una brecha de rendimiento en el cultivo de maíz, que ronda el 40%. La delimitación de ambientes mediante la utilización de imágenes satelitales permite delimitar sectores Alcalinos y No alcalinos, dentro los cuales, se podrían aplicar prácticas de manejo sitio-específico diferenciales (i.e. densidad).

BIBLIOGRAFÍA

- Adcock D, AM McNeill, GK McDonald & RD Armstrong. 2007. Subsoil constraints to crop production on neutral and alkaline soils in south-eastern Australia: A review of current knowledge and management strategies. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47(11):1245-61.
- Andrade FH, VO Sadras, CRC Vega & L Echarte. 2005. Physiological Determinants of Crop Growth and Yield in Maize, Sunflower and Soybean. *Journal of Crop Improvement* 14(1-2):51-101.
- BCBA. 2020. *Informe de cierre de campaña de maíz 2018/19*.
- Bernstein L. 1975. Effects of Salinity and Sodicty on Plant Growth. *Annual Review of Phytopathology* 13(1):295-312.
- Filippi P, EJ Jones, BJ Ginns, BM Whelan, GW Roth & TFA Bishop. 2019. Mapping the depth-to-soil pH constraint, and the relationship with cotton and grain yield at the within-field scale. *Agronomy* 9(5):1-15.
- Garello FJ, M Agüero, MA Crespo, MA Cicchino, EM Melani, EL Ploschuk & MA Taboada. 2020. Absorción de agua y rendimiento de maíz em campos bajos: ¿Es el horizonte nátrico uma limitante? en *XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Corrientes.
- Hernández MD, C Alfonso, A Cerrudo, M Cambareri, AI Della Maggiora, P Barbieri, MM Echarte & L Echarte. 2020. Eco-physiological processes underlying maize water use e ficiency response to plant density under contrasting water regimes. *Field Crops Research* 254(April):107844.
- Melchiori RJ & S Albarenque. 2011. Variabilidad Espacio Temporal De Rendimiento Y Margen Bruto Para La Delimitación De Zonas De Manejo. (3100).
- Paruelo JM, JP Guerschman & SR Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15(87):14-23.
- Paz Pellat F, ME Romero Sanchez, E Palacios Vélez, M Bolaños González, JR Valdez Lalalde & A Aldrete. 2015. Alcances y limitaciones de los índices espectrales de la vegetación: análisis de índices de banda ancha TT - Scopes and limitations of spectral vegetation indices: analysis of broad band indices. *Terra Latinoamericana* 33(1):27-49.
- Rengasamy P, CF de Lacerda & HR Gheyi. 2022. Salinity , Sodicty and Alkalinity. Pp. 83-107 en *Subsoil Constraints for Crop Production*, editado por TS d Oliveira & RW Bell.Springer.
- Ritchie SW & JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops, vol. 48. *Iowa State University of Science and Tecnology. Cooperative Extension Service*.
- Schussler JR & ME Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential: I. sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Science* 31(5):1189-95.
- Taboada MA, F Damiano, JM Cisneros & RS Lavado. 2021. Origin, Management and Reclamation Technologies of Salt-Affected and Flooded Soils in the Inland Pampas of Argentina. Pp. 209-28 en *Saline and Alkaline Soils in Latin America*, editado por E Taleisnik & RS Lavado. Springer.
- Vega CRC & FH Andrade. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. Pp. 69-97 en *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*.





AGRICULTURA EN LA PAMPA INUNDABLE: ¿QUE SUCEDE CON LAS SALES?

Garello, F.J.^{1*2}, E.M. Melani¹, M.A. Taboada²

¹ INTA Chascomús – EEA Cuenca del Salado;

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Edafología;

*Mitre 202, Chascomús (7130), Prov. de Buenos Aires, fedegarello89@gmail.com

RESUMEN

En la Cuenca del Salado, los suelos presentan sales en profundidad, y el avance de la agricultura en estos ambientes podría generar su ascenso a capas superficiales. El objetivo de éste trabajo fue evaluar el impacto de diferentes secuencias de cultivos sobre las variables de sodicidad: porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y relación de adsorción de sodio (RAS) en el perfil alcanzable por las raíces (0-0.6 m). Se realizó un muestreo de campos en producción en la Cuenca del Salado donde se evaluó las variables de sodicidad entre rotaciones en diferentes estratos del perfil edáfico. El PSI y la RAS fueron hasta 5% más elevados en los lotes bajo Monocultivo de soja respecto a lotes con una rotación agrícola/ganadera, los cuales presentaron los valores más bajos entre las rotaciones evaluadas. Esto permite establecer que cambios en el uso del suelo de ambientes hidro-halomórficos estarían generando ascenso de sales en lotes con rotaciones de monocultivo. Es posible hacer agricultura en ambientes limitados por sales siempre que se realice en integración con ciclos de pastura.

Palabras clave: sodificación, cambio de uso del suelo, expansión agrícola.

INTRODUCCION

El avance de la agricultura en la región Pampeana hacia suelos marginales comenzó en la década del 90', sin embargo en la Cuenca del Salado esto comenzó a partir del año 2005 (BCBA 2020; Paruelo et al., 2005). En esta región históricamente ganadera, una alta proporción de suelos donde se realizan cultivos anuales, presentan sales en el perfil alcanzable por las raíces (INTA 1980), que pueden ser acarreados por ascensos freáticos frente a cambios en el uso del suelo (Jobbágy y Nosetto 2015; Nosetto et al., 2005), aunque la dirección y magnitud del impacto que se genere en la dinámica de las sales, dependerá de la secuencia de cultivos intercalados en la rotación (Karlen et al. 1994).

En este sentido, en la Cuenca del Salado, la convivencia de sistemas ganaderos, agrícolas y/o mixtos, establecen la presencia de diferentes secuencias de cultivo, que repercutirán de manera diferencial en los suelos, sin embargo, aún es desconocido el efecto del cambio del uso del suelo sobre las variables halomórficas en el perfil del suelo de ambientes que presentan sales en profundidad.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del cambio del uso del suelo sobre el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS) a diferentes profundidades del perfil alcanzable por las raíces.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consistió en un muestreo de lotes de campos de productores en la Depresión del Salado y cuyos



suelos corresponden a los grupos Natracuoles y Natrudoles (Soil Survey Staff 2014). Las muestras de suelos se extrajeron en la post-cosecha del cultivo estival entre 2018 y 2020. Se evaluaron 21 sitios en 5 establecimientos ubicados en las localidades de Chascomús, Labardén y Maipú y General Guido, bajo cuatro diferentes secuencias de cultivos:

- a) Pastizal Natural (PN; n = 4): lotes de pastizales naturales poco intervenidos.
- b) Agrícola/Ganadera (A/G; n = 6): lotes que son manejados bajo una secuencia que alterna 4 años de pasturas perennes seguido de 4 a 6 años de cultivos de cosecha.
- c) Agrícola (A; n = 4): lotes que presentan una rotación típica Maíz-Soja-Trigo/Soja.
- d) Monocultivo (M; n = 7): 8 de los últimos 10 años se realizó soja.
- e) Cada lote corresponde a una unidad experimental y presenta, al menos, 10 años de las secuencias previamente mencionadas.

Muestras de suelo:

Para cada sitio de muestreo se extrajeron: i) muestras disturbadas en las profundidades de 0-0,2, 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m. Éstas fueron secadas en estufa a 30 °C, molidas y tamizadas a 2 mm, y posteriormente se les determinó: a) Relación de adsorción de sodio (RAS) y b) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Análisis estadístico:

Se realizaron ANOVAS para evaluar el efecto de la "Rotación" en cada "Profundidad" en las variables edáficas: relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Los factores "Rotación" y "Profundidad" se consideraron como efectos fijos, mientras que el factor "Campo" como efecto aleatorio. Mediante el modelado de la semi-varianza experimental, se contempló el efecto de la correlación espacial que presentan las muestras (observaciones) tomadas a diferentes profundidades, en un mismo lote (Unidad experimental). Para dichos análisis se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2018).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las variables indicadoras de la sodicidad se comportaron de manera similar mostrando interacciones significativas Rotación x Profundidad (PSI: $p < 0.05$; RAS: $p < 0.05$). En este sentido, tanto el PSI como la RAS, no se diferenciaron entre rotaciones en la capa superficial (i.e: 0-0.2 m), pero sí lo hicieron en las capas más profundas. Mientras que en las capas de 0.2-0.4 y 0.4-0.6 las diferencias más importantes se dieron entre el PSI de los lotes en M respecto a las otras rotaciones, que fue en promedio $\approx 4-5\%$ más alto en valores absolutos, respecto a las demás rotaciones (Figura 1 A).

Por otra parte, las diferencias en la RAS fueron de menor magnitud absoluta y principalmente en la capa más profunda. En ésta variable, las diferencias entre los lotes bajo monocultivo y las otras rotaciones fluctuó entre 0.5-2.5 puntos (Figura 1 B). En ambas capas (i.e: 0.2-0.4 y 0.4-0.6) y variables (i.e: RAS y PSI), la rotación A/G fue la que mostró los valores más bajos.

Los valores más elevados de sodicidad encontrados desde los 0.2 m en los lotes con una secuencia de Monocultivo de soja, y los más bajos en la secuencia Agrícola/Ganadera (Figuras 1 A y B), estarían asociados a que un menor tiempo de ocupación con cobertura vegetal viva generan un mayor tiempo de presencia de una napa cercana a la superficie.

Una rotación con mayor tiempo de ocupación del suelo por cobertura vegetal viva, incrementa el agua consumida por los cultivos (i.e: transpirada) y mantiene la napa freática a mayor profundidad (Nosetto et al. 2012, 2015) water yield or even the flooded area may result severely affected by vegetation changes. Particularly, transitions between tree- and herbaceous-dominated covers, which are taking place at increasing rates in South America, may have the greatest impact on the water balance. Based on Landsat imagery analysis, soil sampling and hydrological modeling, we evaluated vapor and liquid ecosystem water fluxes and soil moisture changes in temperate Argentina and provided a useful framework to assess potential hydrological impacts of



vegetation cover changes. Two types of native vegetation (grasslands and forests; lo que a su vez mantiene las sales que pueden ser acarreadas por la napa, en las capas más profundas del perfil (Rengasamy et al. 2022). En la Pampa Deprimida, el agua sub-superficial contiene elevados contenidos de sales sódicas sulfatadas o cloradas (Lavado y Taboada 1988). El cambio en el uso del suelo experimentado en la región analizada pudo haber generado un tiempo de permanencia más prolongado de la napa cercana a la superficie, lo que incrementó la sodicidad de los horizontes alcanzados sin generar aumentos en los valores de pH debido a la reacción ácida de los aniones sulfatos y cloruros (Tavakkoli et al. 2015).

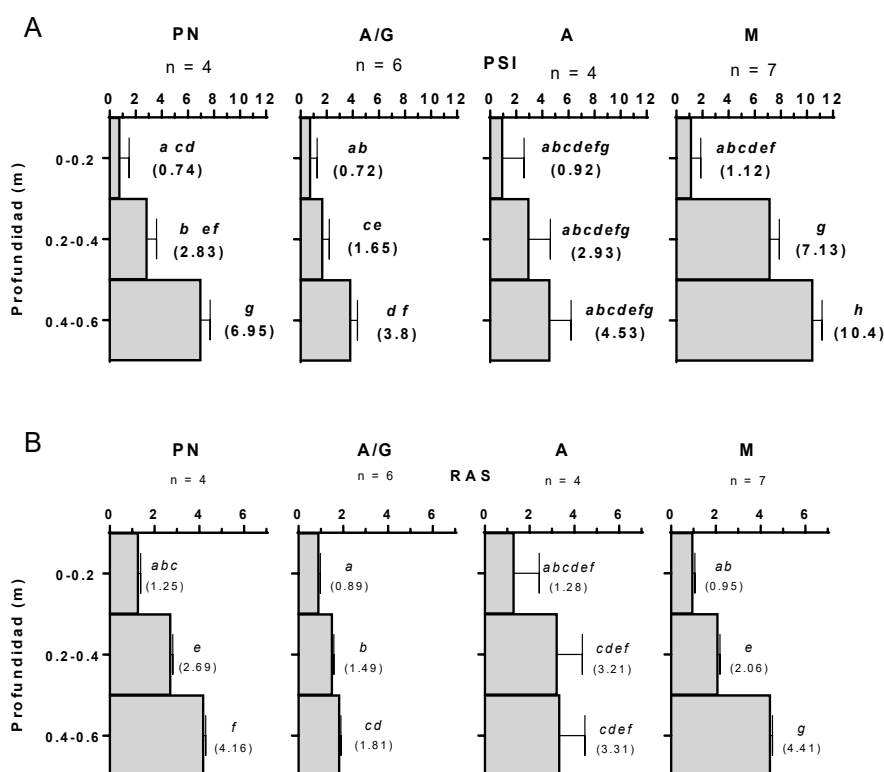


FIGURA 1. A: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y **B:** Relación de adsorción de sodio (RAS) en diferentes profundidades del perfil en las rotaciones, Pastizal Natural (PN), Agrícola/Ganadera (A/G), Agricultura (A) y Monocultivo (M). Las barras representan 1 EE, y las letras diferencias entre Rotaciones y Profundidades ($p = 0.05$).

CONCLUSIONES

El cambio en el uso del suelo en la Cuenca del Salado hacia rotaciones con menor tiempo de ocupación por cobertura vegetal viva (Monocultivo) está generando sodificación del perfil desde las capas más profundas hacia la superficie.

Es posible realizar agricultura en suelos con sales en profundidad siempre y cuando se la intercale con ciclos de pastura.

Estos cambios en las variables de halomorfismo, estarían asociadas a un mayor tiempo de permanencia de la napa más cerca de la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

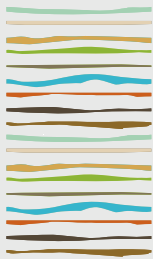
BCBA. 2020. INFORME DE CIERRE DE CAMPAÑA MAÍZ 2018/19.

INTA. 1980. La Pampa Deprimida: Condiciones de drenaje de sus suelos.



- Jobbágy, E. G. y M. D. Nosoetto. 2015. «Las napas freáticas superficiales como agente de degradación de suelos». Pp. 287-300 en *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*, editado por R. R. Casas y G. F. Albarracin. FECIC.
- Karlen, D. L., G. E. Varvel, D. G. Bullock, y R. M. Cruse. 1994. «CROP ROTATIONS FOR THE 21st CENTURY». *Advances in Agronomy* 53:45.
- Lavado, R. S. y M. A. Taboada. 1988. «Water, salt and sodium dynamics in a Natraquoll in Argentina». *Catena* 15(6):577-94.
- Nosoetto, M. D., E. G. Jobbágy, A. B. Brizuela, y R. B. Jackson. 2012. «The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154:2-11.
- Nosoetto, M. D., E. G. Jobbágy, y J. M. Paruelo. 2005. «Land-use change and water losses: The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina». *Global Change Biology* 11(7):1101-17.
- Nosoetto, M. D., R. A. Paez, S. I. Ballesteros, y E. G. Jobbágy. 2015. «Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 206:60-70.
- Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, y S. R. Verón. 2005. «Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo». *Ciencia Hoy* 15(87):14-23.
- Rengasamy, P., C. F. de Lacerda, y H. R. Gheyi. 2022. «Salinity, Sodicity and Alkalinity». Pp. 83-107 en *Subsoil Constraints for Crop Production*, editado por T. S. d. Oliveira y R. W. Bell. Springer.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. .. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C. W. Robledo. 2018. «InfoStat versión 2018».
- Soil Survey Staff. 2014. «Claves para la Taxonomía de Suelos». 12:339.
- Tavakkoli, E., P. Rengasamy, E. Smith, y G. K. McDonald. 2015. «The effect of cation-anion interactions on soil pH and solubility of organic carbon». *European Journal of Soil Science* 66(6):1054-62.





¿INFLUYE EL PASTOREO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE EL FÓSFORO DEL SUELO?

Giannini, A.P.¹, D.C. Hortis², S. B. Restovich¹, J. O. Scheneiter³, J. Mattera³, E. Pacente³, L. Garro⁴

¹Grupo Gestión Ambiental EEA INTA Pergamino;

²UNNOBA;

³Grupo Bovinos EEA INTA Pergamino;

⁴Gentos S.A.;

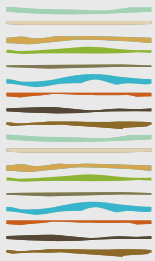
* Ruta 32 Km 4,5. Pergamino, Buenos Aires, Argentina, giannini.anapaula@inta.gob.ar

RESUMEN

La búsqueda de nuevas formas de prevenir la disminución de fósforo (P) en los suelos está en marcha. Actualmente, los cultivos de cobertura (CC) se presentan como una alternativa para mitigar las pérdidas de P del suelo. Sin embargo, muy poco se ha estudiado en relación con la dinámica del P en sistemas que integran la producción ganadera y la agricultura, combinando cultivos comerciales con CC. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pastoreo de una mezcla CC (raigrás, vicia, trébol persa y nabo forrajero) sobre las formas de P del suelo en el corto plazo. Se tomaron muestras de suelo de un ensayo con una secuencia soja-maíz con inclusión de CC bajo siembra directa localizado en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Pergamino. Los tratamientos evaluados fueron: con y sin pastoreo del CC, dispuestos en un diseño en bloques (n=3). El pastoreo de los CC fue en franjas bajo un sistema rotativo. El maíz se fertilizó con 50 kg N ha⁻¹. Luego de dos ciclos de la secuencia soja-maíz con y sin pastoreo del CC (2018-2020), se extrajeron muestras disturbadas de suelo para determinar P extractable (Pe), P total (PT), P inorgánico (Pi) y P orgánico (Po) a 0-5, 5-10 y 10-20 cm de profundidad. Por otro lado, al momento de la cosecha de soja y maíz, se tomaron muestras de material vegetal para determinar rendimiento en grano. El rendimiento de soja fue similar entre tratamientos (5,9 Mg ha⁻¹) mientras que el rendimiento de maíz fue mayor en las parcelas con CC pastoreadas con respecto a las no pastoreadas (10,7 vs 8,7 Mg ha⁻¹). El pastoreo del CC generó un aumento del 38% (580 vs 418 ppm) y 75% (396 vs 226 ppm) de PT y Pi, respectivamente, a 0-5 cm de profundidad con respecto al tratamiento sin pastoreo del CC, sin diferencias entre tratamientos en las otras profundidades. El Po no mostró diferencias significativas entre tratamientos. El aumento de PT, producto del Pi, podría estar relacionado con el aporte de P por parte de las excretas, las cuales tienen entre el 55 y 75 % del P bajo formas inorgánicas. El Pe no mostró diferencias entre los tratamientos con y sin pastoreo del CC, concentrándose en los primeros 5 cm de profundidad. Además, el aumento del rendimiento de maíz luego de los CC pastoreados, probablemente produjo, a su vez, un aumento en la extracción de Pe. La integración de la ganadería en sistemas agrícolas a partir del pastoreo de CC tiene el potencial de favorecer el reciclado de nutrientes, aportando beneficios ambientales y productivos en el corto plazo. Sin embargo, en la búsqueda de sistemas agroalimentarios más sostenibles, es necesario continuar evaluando el rol del P y su dinámica en el largo plazo.

Palabras clave: sustentabilidad, ciclos biogeoquímicos, formas de fósforo





INDICADORES DE CAMBIOS EN PROPIEDADES EDÁFICAS BAJO RIEGO COMPLEMENTARIO BASADOS EN MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Gómez, A.¹, M. S. Iseas¹, C.M. Sainato^{1*}.

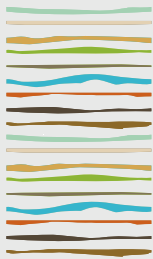
¹ Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Física;
Av San Martín 4453 (1417DSE). CABA, csainato@agro.uba.ar

RESUMEN

En la Pampa Húmeda, el riego complementario con aguas bicarbonatadas sódicas puede causar problemas de sodificación del suelo, con la consiguiente pérdida de estructura. Esto implica necesariamente el monitoreo de las propiedades edáficas que, por su importante variabilidad espacial y temporal en las distintas escalas de estudio, requiere de gran cantidad de muestras con el costo económico asociado. Los sensores geofísicos son una alternativa eficiente, rápida y de bajo costo para estudiar, a través de la conductividad eléctrica aparente (CEa) del suelo, sus propiedades. Se ha demostrado que la CEa presenta correlaciones con algunas propiedades como la humedad, la presencia de capas litológicas contrastantes, el contenido de carbono orgánico, la salinidad, la textura, así como la posibilidad de elaborar mapas de salinidad y sodicidad. En un establecimiento agrícola de la localidad de Suipacha (Prov. De Bs As), en lotes regados por pivote central, se han encontrado buenas correlaciones de la CEa medida con sensor electromagnético con la conductividad eléctrica en el extracto de pasta de saturación (CEs) y el PSI. Esta metodología se puede complementar, con mayor precisión, con la geoeléctrica a pequeña escala para detectar cambios en las propiedades del suelo, a través de indicadores de rápida estimación. El objetivo de este trabajo es elaborar indicadores basados en mediciones geofísicas de CEa y de resistividad eléctrica aparente (ρ_a) mediante dos metodologías (electromagnética y geoeléctrica, respectivamente) para relacionarlos con los cambios en el pH, la humedad volumétrica (TDR), la CEs y el PSI del suelo bajo riego complementario y evaluar la variabilidad espacial a través de cokriging geoestadístico de las propiedades edáficas que correlacionen con las magnitudes geofísicas. A lo largo de 6 campañas durante tres años, se realizaron transectas de mediciones de CEa, mediante sensor electromagnético y geoeléctrica (0-20 cm), acompañadas por muestreos de suelo en dos zonas diferenciadas: seco y bajo riego. Se establecieron 3 rangos de CEa: *Baja* (valor mínimo o límite inferior y percentil 33,3), *Media* (percentil 33.3 y 66.6) y *Alta* (percentil 66.6 y valor máximo o límite superior). Al comparar las propiedades edáficas por sectores ubicados según los rangos de CEa, la CEs se diferenció significativamente en casi todas las parcelas. En una de ellas, se diferenció estadísticamente en todos los rangos, encontrándose los valores medios de CEs altos en los rangos de CEa más elevados. La distribución espacial por kriging de la humedad volumétrica medida con TDR coincide con la de CEa y con los resultados de humedad del muestreo. La distribución espacial de resistividad eléctrica (ρ_a) se asemeja a la de CEa y Hv (TDR), con correlaciones moderadas a altas, al igual que con CEs, en uno de los lotes estudiados. Se construyeron indicadores de contraste entre la situación de riego y seco, a partir de cocientes de los promedios de CEa y ρ_a , los cuales se compararon con los correspondientes cocientes para las propiedades edáficas. Los indicadores que involucran ρ_a resultaron eficientes para determinar, rápidamente, cambios en la salinidad y sodicidad (PSI). El indicador que utiliza la CEa fue eficiente para detectar cambios en otras propiedades edáficas y en su distribución espacial.

Palabras clave: riego complementario, resistividad, salinidad





PLANTAS DE COBERTURA DE OTOÑO-INVIERNO EN LA PRODUCCIÓN DE GRANOS DE SECAÑO EN CAMPOS BAJOS DE MISIONES, PARAGUAY

González, A.F.¹, C.A. Leguizamón Rojas^{1*}, M.M. Cubilla², G. Heisecke³, P. Villalba¹, Ch. González¹, M.D. Samaniego¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción;

² Consultora Nuestro Suelo;

³ Estancia 7 Palmas

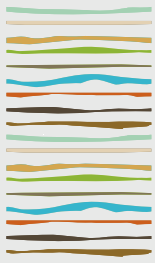
* Campus UNA San Lorenzo, Paraguay, carlos.leguizamon@agr.una.py

RESUMEN

La incorporación de campos bajos a la producción de granos de secano, soja y maíz, como alternativa a la producción continua de arroz o a la producción ganadera, requiere alternativas de cultivos para ser incorporados al sistema de producción. En este sentido, con el objetivo de evaluar plantas de cobertura de invierno solteros y asociados en campos bajos, se realizó el presente trabajo. El mismo se realizó en la estancia “7 Palmas”, ubicada en el Distrito de San Juan Bautista, Departamento de Misiones, Paraguay en el periodo de abril a agosto del 2021. El suelo predominante de la región corresponde Albaquic Paleudalf. Los tratamientos consistieron en plantas de cobertura de invierno sembradas en forma soltera avena negra (*Avena strigosa* Schieb), nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.), lupino blanco (*Lupinus albus* L.), centeno (*Secale cereale* L.), arveja forrajera (*Pisum sativum*), aceven (*Lolium multiflorum* L.), trigo (*Triticum aestivum*), alfalfa (*Medicago sativa* L.) y avena blanca (*Avena sativa* L.), así como, ocho asociaciones de las mismas, totalizando 17 tratamientos. Las unidades experimentales de 1.000 m², fueron distribuidas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La materia verde fue superior, en el nabo forrajero (30,4 t ha⁻¹) en relación a las plantas de cobertura solteras y, también en aquellas asociaciones en las que esta especie formó parte; el menor valor fue determinado en la alfalfa (2,6 t ha⁻¹). En relación a la materia seca el menor valor fue medido en la alfalfa (0,29 t ha⁻¹) y no hubo diferencia significativa entre los demás tratamientos, sean plantas de cobertura asociadas y solteras. El promedio de materia seca en cultivos solteros fue de 4,68 t ha⁻¹ y en cultivos asociados de 4,95 t ha⁻¹. Se verifica una buena adaptación de las plantas de cobertura de otoño-invierno en las condiciones de campos bajos de Misiones, pudiendo ser incorporados en un sistema de producción de granos de secano, a excepción de la alfalfa.

Palabras clave: Cultivos de servicio, rotación de cultivos, campos bajos.





CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR GEOMORFOLÓGICA Y PEDOLÓGICA DE UNA MICROCUENCA AGROPECUARIA

Gregorini, C.A.^{1,2*}, M.G. Ares^{1,2,3}, C. Chagas⁴, M.J. Arrouy¹, D. Moris³, Y. Aispún³

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff";

³ Facultad de Ingeniería, UNCPBA;

⁴ Facultad de Agronomía, UBA;

* República de Italia 780, (7300) Azul, Prov. De Buenos Aires, cgregorini@ihlla.org.ar

RESUMEN

El conocimiento de la geomorfología y la pedología de una cuenca contribuye a comprender las funciones del paisaje, como los flujos de agua y sedimentos. El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización geomorfológica y pedológica de una microcuenca bajo uso agropecuario en la zona NNO del Sistema de Tandilia, en la provincia de Buenos Aires. Para elaborar el mapa geomorfológico se integró información de cartas topográficas, imágenes satelitales y un modelo digital de elevación de resolución espacial de 1 m, para definir y caracterizar geoformas, elevaciones máxima, mínima y pendientes. En tres sitios del paisaje se realizaron calcatas, se describieron sus horizontes, y se analizaron sus clases texturales y su contenido de carbono orgánico. Se identificaron humedales de altura, que constituyen las nacientes del curso de agua que experimentan expansión y contracción, asociados a períodos secos y húmedos. Sectores aislados de afloramientos rocosos con diferente grado de meteorización ocupan el área bajo uso agropecuario. Se reconocieron geoformas producto de la acción antrópica (caminos y un canal) y una cárcava consecuencia de erosión hídrica. Las propiedades de los suelos descritos, sugieren la presencia de pérdida de suelo en áreas altas y pendientes, y sedimentación de partículas en áreas bajas, evidenciada por el enriquecimiento de arcilla del horizonte A. La presencia de bloques aplanados en horizontes superficiales y subsuperficiales indicarían procesos de degradación física de la estructura, aún cuando se realiza manejo bajo siembra directa, con rotaciones principalmente con cultivos agrícolas de forma continua, pero con una participación importante del cultivo de soja. Este trabajo forma parte de una serie de estudios geológicos, actualmente en desarrollo, para profundizar el entendimiento de la estructura del sistema que conforma esta microcuenca, y su rol en los flujos de agua y sedimentos.

Palabras clave: geoforma, suelo, paisaje.

INTRODUCCIÓN

Las geoformas y los suelos son elementos de la estructura del paisaje de las cuencas. Por su parte, las funciones del paisaje están condicionadas por las relaciones que se establecen entre dichos elementos. Así, el conocimiento de la geomorfología y la pedología de una cuenca contribuye a la comprensión de funciones del paisaje natural o intervenido por el hombre, como los flujos de agua y sedimentos (Lexartza-Artza & Wainwright, 2009). A su vez, los vínculos entre la geomorfología y la pedología son estrechos y recíprocos: las formas del terreno controlan el tipo, la evolución y la distribución de los suelos en el territorio, y en retorno, el desarrollo de los suelos influye en la evolución del paisaje (Zinck, 2016).

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización geomorfológica y pedológica de una microcuen-



ca sedimentaria bajo uso agropecuario, situada en la provincia de Buenos Aires. Para llevar adelante este objetivo se propone la identificación de las geoformas principales y los suelos presentes, su distribución y su interacción como elementos del paisaje. La relevancia de esta investigación radica en la importancia de comprender en profundidad el medio físico como un punto inicial para un posterior análisis e identificación de áreas fuente de sedimentos y depositación, para profundizar el estudio del proceso de la erosión hídrica, ya iniciado en el área mencionada (Ares et al., 2014). Este trabajo forma parte de una serie de estudios geológicos del medio físico de la cuenca, actualmente en desarrollo, que incluyen sondeos eléctricos verticales y tomografías para el conocimiento de la geología/profundidad del basamento. Otros, tienen por objetivo caracterizar la mineralogía de los suelos y los sedimentos que se generan por erosión hídrica. Todos estos análisis, contribuirán, a futuro, a profundizar el entendimiento de la estructura del sistema que conforma esta cuenca, y su rol en los flujos de agua y sedimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes del área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) se encuentra en la zona NNO del Sistema de Tandilia (Nágera, 1940), provincia geológica del centro de la provincia de Buenos Aires. La microcuenca está ubicada en la cuenca superior del arroyo del Azul, en la naciente del Arroyo Videla, tributario del anteriormente mencionado. Cuenta con una extensión de 566 ha y se encuentra bajo uso agropecuario. Desde el punto de vista de la geomorfología se ubica en el dominio serrano de la cuenca del Azul, así definido por Zárate & Mehl (2010). Allí, los afloramientos rocosos conformados por el complejo ígneo-metamórfico Complejo Buenos Aires (Marchese & Di Paola, 1975), son la expresión geomorfológica más representativa del área (Zárate & Mehl, 2010).

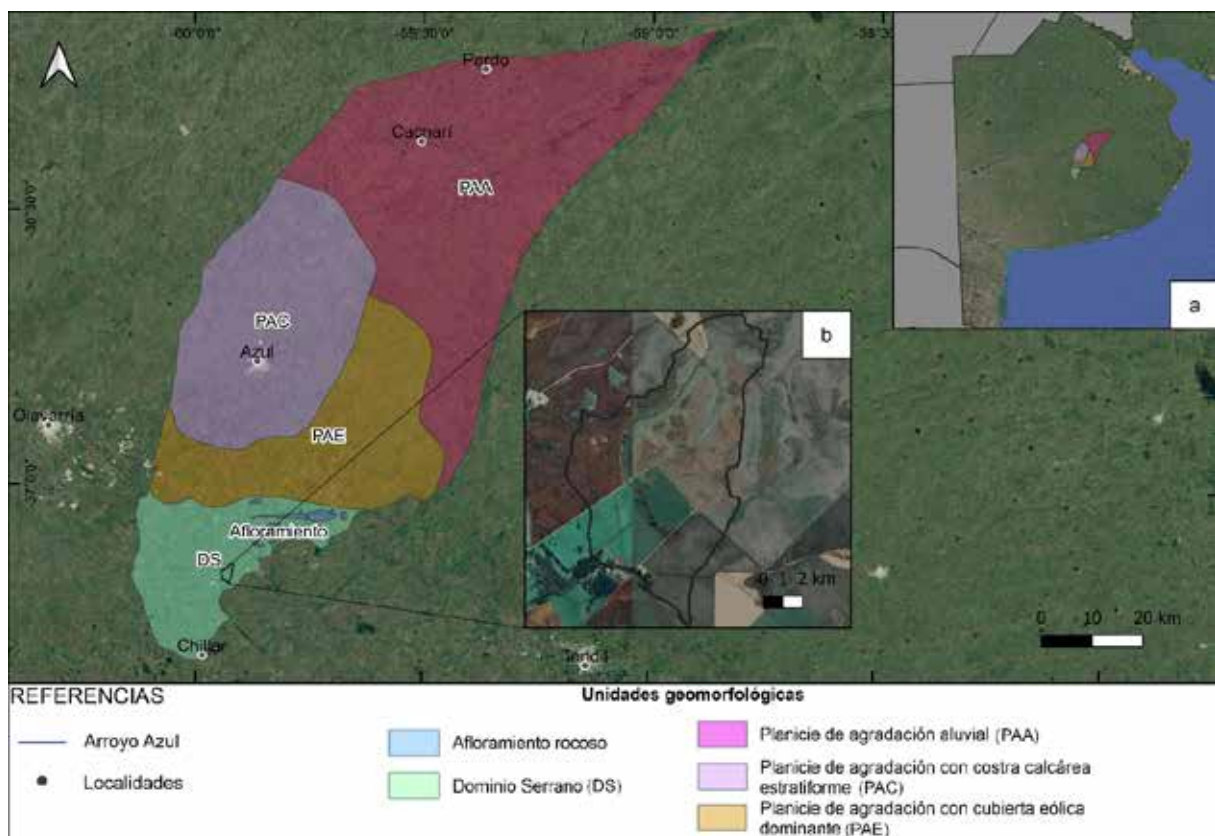


Figura 1: Mapa de ubicación. a) Cuenca del Azul en provincia de Buenos Aires; b) Microcuenca dentro del contexto geomorfológico de la Cuenca del Azul (modificado de Zárate & Mehl, 2010).

En cuanto a los suelos, predominan los Argiudoles Típicos con buen drenaje, y en menor proporción Hapludoles y Argiudoles Líticos, en las zonas de cerros y lomadas (INTA, 1992).

Metodología

La realización de este trabajo, constó de tareas de gabinete, campo, laboratorio y el posterior análisis de los resultados obtenidos.

Se generó un mapa base geomorfológico con el software de acceso libre QGIS integrando información de cartas topográficas, imágenes satelitales disponibles en la plataforma Google Earth y un modelo digital de elevación, de resolución espacial de 1 m, obtenido a partir de información procedente de una unidad autónoma de vuelo (UAV) georreferenciada con puntos de apoyo topográfico con coordenadas GPS. A partir de este último, se definieron y caracterizaron geoformas y se determinaron parámetros topográficos como las elevaciones máxima y mínima, el grado de inclinación de las pendientes y se generaron curvas de nivel. El mapa base se enriqueció con relevamientos de campo donde se definieron y corroboraron los elementos del paisaje identificados digitalmente.

A partir del análisis del mapa geomorfológico, en esta primera etapa de trabajo, se seleccionaron tres sitios específicos del paisaje, en distintas posiciones del terreno, para el levantamiento de perfiles de suelo. En cada caso se describió la secuencia de horizontes, el espesor de cada uno de ellos, su estructura, el color en húmedo y se extrajeron muestras para su posterior análisis en laboratorio. Se determinó su color en seco, y en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro, se realizaron análisis de textura por el método del hidrómetro (Bouyoucos, 1962) y de carbono orgánico mediante el método de Walkley & Black (1934).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presenta el mapa base geomorfológico de la microcuenca. El paisaje que comprende el área, presenta, así, características particulares con una dinámica propia de los sectores de cabecera con humedales de altura que constituyen las nacientes del curso de agua. El análisis de imágenes de satélite de diferentes fechas y el conocimiento previo del área de estudio, indica que estos sectores presentan, en el tiempo, expansión y contracción, asociados a períodos secos y húmedos (Ares et al., 2020), en coincidencia con la que señalan Godsey & Kirchner (2014) para áreas de cabecera en California, Estados Unidos de América. Esto determina, a su vez, que en años secos el productor extienda el área sembrada sobre estos humedales, en tanto que los años con excesos hídricos, se vean ocupados por vegetación hidrófita, como *Typha latifolia* L., por ejemplo.

El uso agropecuario ocupa los sectores donde la profundidad efectiva del suelo es suficiente para el desarrollo de las raíces de los cultivos, lo que implica la presencia de sectores aislados de afloramientos rocosos con diferente grado de meteorización, cubiertos, en parte, por la vegetación nativa del Sistema de Tandilia, en toda la superficie de la microcuenca. La cárcava identificada tiene su origen en uno de los humedales temporarios y su evolución y morfología está actualmente en estudio. Junto con el canal y los caminos, estas geoformas constituyen vías preferenciales de circulación de agua y sedimentos, por lo que deben ser consideradas al momento de abordar los estudios de erosión hídrica.

En base a los parámetros topográficos, se desprende que las alturas máxima y mínima son de 288 y 231 m s.n.m., respectivamente. De acuerdo con estas altitudes, se identificaron tres zonas: alta, media y baja. La zona alta se ubicó entre 270 y 288 m s.n.m., la media entre 255 y 270, mientras que la baja entre los 235 y los 255 m s.n.m y las pendientes medias de cada zona son de 2,75; 2,57 y 2,98 % respectivamente. Los suelos descritos en esta etapa se ubicaron en las zonas alta (calicata 1) y media (calicata 2 y 3) (Figura 2). Las propiedades reconocidas en campo y analizadas en laboratorio se presentan en la Tabla 1.



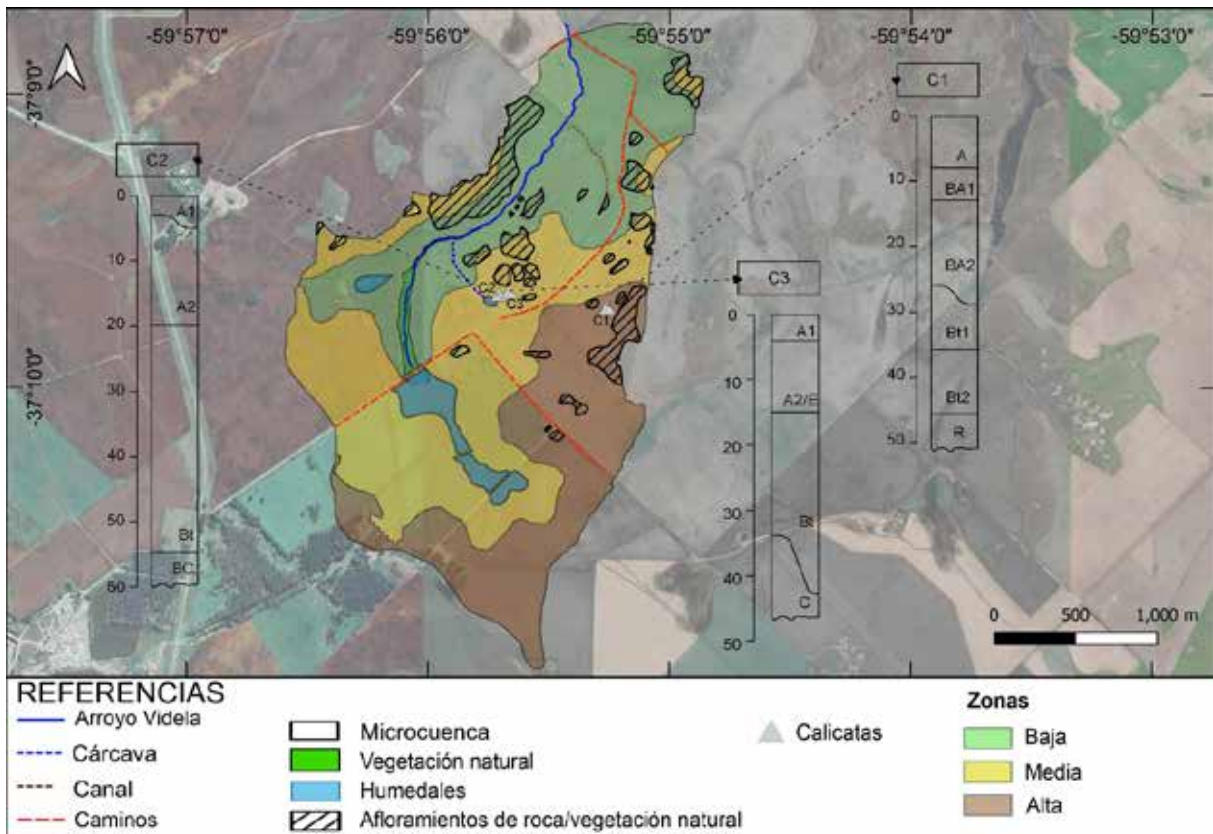


Figura 2: Mapa geomorfológico, con zonas definidas y perfiles de suelos.

Tabla 1. Secuencias de horizontes y propiedades de los suelos descritos en las calicatas 1, 2 y 3.

Horizonte	Profundidad (cm)	Color en húmedo	Color en seco	Estructura	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	M.O. (%)	Otras características
Calicata 1 (Lat. 37°9'44.14"S; Long. 59°55'15.53"O)									
A1	0-8	10YR 2/2	10YR 3/2	gr. y bloq. ang.	29,4	36,1	34,5	6,5	raíces abundantes
BA1	8-13	10YR 2/1	10YR 3/1	bloq. subang. y apl.	50,2	14,9	34,9	5,2	
BA2	13-26/29	10YR 2/1	10YR 3/1-2	bloq. ang. y apl./pr.	46,3	24,3	29,4	4,3	barnices escasos
Bt1	26/29-36	7,5YR 2.5/2	7,5YR 3/1-2	pr.	52,0	21,5	26,5	3,2	barnices escasos
Bt2	36-46	7,5YR 2.5/3	7,5YR 3/3	pr.	56,9	15,4	27,7	1,2	barnices abundantes
R	46 a + cm	Roca granítica							
Calicata 2 (Lat. 37° 9' 41.45"S; Long. 59°55'42.47"O)									
A1	0-3/5	10YR 2/1	10YR 3/1	bloq. apl	40,2	29,1	30,7	5,4	raíces abundantes
A2	3/5-20	10YR 2/2	10 YR 3/1	bloq. ang. y apl.	27,2	38,9	34,0	4,4	moteados precisos

Bt	20-54	7,5YR 2,5/2	7,5YR 3/2- 3	pr.	21,9	42,4	35,7	1,5	moteados abundantes en la parte superior, y escasos en la inferior
BC	54 a + cm	7,5 YR 2,5/3	7,5YR 3/2	bloq. ang. y subang. y pr. débiles	27,5	38,2	34,3	0,7	barnices y moteados escasos
Calicata 3 (Lat. 37°9'40.91"S; Long. 59°55'39.86"O)									
A1	0-4	10YR 2/2	10YR 3/2	bloq. ang. y apl.	25,1	48,6	26,3	5,0	
A2/E	4-15	10YR 2/1	10YR 3/1	bloq. ang. y apl.	12,5	65,0	22,5	3,5	
Bt	15-34/43	7,5YR 2,5/2	7,5YR 3/2	pr.	40,5	28,9	30,6	1,2	barnices abundantes
C	34/43 a + cm	7,5YR 4/4-6	7,5YR 5/4	grano suelto	11,2	45,8	43,1	0,5	
gr.: granular; bloq. ang.: bloques angulares; bloq. subang.: bloques subangulares; apl.: aplanados; pr.: prismas									

Los resultados obtenidos sugieren que el sector de la calicata 1 estaría afectado por el proceso de erosión hídrica, en relación con el bajo contenido de fracción arcilla que posee, y a la posición en el paisaje que ocupa. De manera contrastante, en el horizonte A de la calicata 2 se encontró un enriquecimiento de arcilla con respecto a los horizontes subyacentes, lo que estaría vinculado con la posición baja del terreno que ocupa el sitio considerado, ubicada en el sector de humedal cabecera de la cárcava que se mencionó anteriormente. De acuerdo con esto último, se encontraron rasgos de hidromorfismo desde los 3 cm de profundidad, lo que evidencia la presencia temporal del agua en este sector. Por otra parte, en las tres calicatas analizadas se encontraron estructuras de bloques aplanados en los horizontes subsuperficiales y en dos casos de los superficiales (calicatas 2 y 3). Esto sería indicativo de degradación física en estos suelos, en los que la práctica de siembra directa se implementa, mayormente, desde hace dos décadas, de acuerdo con la información otorgada por los productores. No obstante, esta práctica no está acompañada de sistematización para el control de la erosión hídrica, y las rotaciones son principalmente con cultivos agrícolas de forma continua, con una participación importante del cultivo de soja. Cabe destacar que estos signos han sido reconocidos previamente en otros sectores de la microcuenca en años previos a este estudio.

Considerando las series de suelos descritas por INTA (1992), principalmente, las calicatas 1 y 3 presentan características comparables a la denominada "Cinco Cerros", ubicada en lomas y pendientes del paisaje, con profundidad efectiva de 45 cm, un horizonte A de 23 cm de espesor, seguido de otro B textural hasta el Ckm, constituido por tosca. A diferencia de este perfil de suelo, el caso estudiado en la cuenca, presentó un horizonte de transición con las estructuras laminares antes mencionadas, e interrumpido por roca. Caso similar se dio en la calicata 3, donde el horizonte subsuperficial presentó tales estructuras laminares, pero, en el que, dados los contenidos de arcilla del B textural y la pérdida en este coloide del horizonte suprayacente, estaría sugiriendo la evolución hacia de un horizonte E.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un mapa base con la definición de zonas geomorfológicas de una microcuenca bajo uso agropecuario, en el Sistema de Tandilia. El área constituye un sector de cabecera de cuenca, lo que determina la presencia de humedales con una dinámica de expansión y contracción. El uso del suelo, que implica períodos de escasa cobertura de la superficie, determina la presencia de signos de erosión, zonas de pérdida en sectores de posiciones alta y en pendiente y de acumulación de partículas, en posiciones bajas del pai-



saje. Considerando los suelos, la presencia de estructuras subsuperficiales de tipo laminar, es otro indicador de los procesos de degradación física que afectan a esta microcuenca. Este trabajo forma parte de una serie de estudios geológicos del medio físico, actualmente en desarrollo, para profundizar el entendimiento de la estructura del sistema que conforma esta microcuenca, y su rol en los flujos de agua y sedimentos.

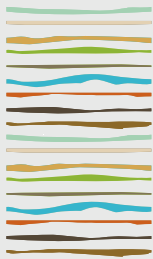
AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el CONICET bajo el Proyecto UE N°22920200100035CO, la ANP-CyT, mediante el Proyecto PICT Serie A 03652, y el Proyecto UBACyT 200201170100533BA. Se agradece la colaboración de la Lic. Fernanda Dávila en el procesamiento de datos con Sistemas de Información Geográfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Ares, MG; M Varni & C Chagas. 2014. Erosión hídrica en una microcuenca agrícola bajo siembra directa del centro de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 32(2): 259-270.
- Ares, MG; M Varni, M & C Chagas. 2020. Runoff response of a small agricultural basin in the Argentine Pampas considering connectivity aspects. *Hydrol. Process.* 34(14): 3102-3119.
- Bouyoucos, GJ. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54(5): 464-465.
- Godsey, SE & JW Kirchner. 2014. Dynamic, discontinuous stream networks: hydrologically driven variations in active drainage density, flowing channels and stream order. *Hydrol. Process.* 28(23): 5791-5803.
- INTA. 1992. Carta de Suelos. Hoja 3760-22. Chillar. E=1:50.000. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 44 pp.
- Lexartza-Artza, I & J Wainwright. 2009. Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications. *Catena* 79(2): 146-152.
- Marchesse, HG. & E Di Paola. 1975. Miogeosinclinal Tandil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30(2):161-179.
- Nágera, JJ. 1940. Historia física de la Provincia de Buenos Aires, 1. Tandilia. Univ. Nac. La Plata, Fac. Human. Cienc. Educ, Biblioteca Humanidades, La Plata, 24.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37(1): 29-38.
- Zárate, M & A Mehl. 2010. Geología y geomorfología de la Cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: M Varni; I Entraigas & L Vives (eds.). *Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zona de llanuras*. Tomo I. 1ra. edn. Pp 65-78. Editorial Martín. Mar del Plata, Argentina. 366 pp.
- Zinck, JA. 2016. The geopedologic approach. En: JA Zinck; G Metternicht; G Bocco & HF Del Valle (eds). *Geopedology*. 1ra. edn. Springer. Suiza. 556 pp.





EMISIONES DE OXIDO NITROSO EN SECUENCIAS AGRICOLAS CON DIFERENTE CONFIGURACIÓN

Gregorutti, V.C.^{1,2*}, V. Hasenauer², L.E. Novelli^{1,2}, O.P. Caviglia²

¹ INTA EEA Paraná, Ruta 11, KM 12.5;

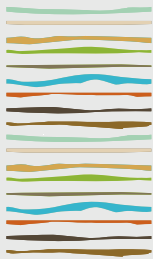
² Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, Ruta 11, Km 10.5, Oro Verde, Prov. de Entre Ríos. gregorutti.viviana@inta.gov.ar.

RESUMEN

Existe una creciente necesidad de desarrollar secuencias agrícolas que mantengan y/o mejoren la productividad, con un uso más eficiente de los recursos y un menor impacto sobre la salud del suelo (e.g. favoreciendo su diversidad biológica) y el ambiente (e.g. reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, GEI). Nuevas configuraciones de secuencias agrícolas, basadas tanto en la incorporación de leguminosas invernales como de cereales invernales y estivales, son una alternativa a las secuencias dominantes con alta proporción de soja que permitirían mejorar no sólo la eficiencia en el uso de agua y de la radiación, sino también el retorno de residuos de cosecha al suelo. Sin embargo, al incorporar cereales se deben incrementar las dosis de fertilización nitrogenada utilizadas, lo que podría llevar a mayores pérdidas de Nitrógeno (N) del sistema si se agrega en una cantidad superior a la requerida por los cultivos. Esto, puede generar tantas o más emisiones de óxido nitroso (N₂O), un potente GEI, en comparación a secuencias con mayor proporción de soja. El objetivo de este estudio fue conocer las emisiones diarias y acumuladas de N₂O en tres secuencias agrícolas (i.e. Monocultivo de soja, S-S; Trigo/Soja-Maíz, T/S-M; y Trigo/Soja-Arveja/Maíz, T/S-Ar/M) y asociar las emisiones a la producción de biomasa y rendimiento de cada una de las secuencias. El estudio se llevó a cabo en un ensayo de larga duración situado en la EEA Paraná del INTA sobre un suelo Argjudol ácuico de la Serie Tezanos Pintos. Se midieron periódicamente, durante dos años consecutivos, las emisiones de N₂O con cámaras estáticas. Se calcularon los flujos diarios y acumulados, así como también los rendimientos y la biomasa de cada secuencia. La emisión de N₂O media diaria mostró diferencias significativas entre secuencias ($p < 0,0094$), con valores mayores en, intermedios en T/S-Ar/M y menores en S-S. Sin embargo, la emisión acumulada no mostró diferencias significativas ($p = 0,0865$) y sus valores fueron 0.82 kg N-N₂O ha⁻¹ (S-S), 1.2 Kg N-N₂O ha⁻¹ (T/S-Ar/M) y 1.45 Kg N-N₂O ha⁻¹ (T/S-M). Al relacionar las emisiones de N₂O con el rendimiento y la biomasa acumulada de cada secuencia no se encontraron diferencias ($P = 0.17$ y $P = 0.56$, respectivamente), siendo T/S-Ar/M la secuencia que menor emisión presentó en función del rendimiento y la biomasa acumulada. Si bien los valores de la emisión de N₂O acumulados durante los dos años de estudio fueron un 33 % menores en la secuencia S-S, la secuencia T/S-Ar/M registró menores emisiones en relación a la producción de biomasa y el rendimiento de las secuencias. Las secuencias basadas tanto en la incorporación de leguminosas invernales como de cereales invernales y estivales requieren un incremento de fertilización nitrogenada, no resultaron en mayores emisiones de N₂O respecto a secuencias con mayor proporción de soja.

Palabras clave: nitrógeno, fertilización, gases de efecto invernadero.





BENEFICIO DE LA SIEMBRA VARIABLE DE MAÍZ EN UN SUELO CON HORIZONTE PETROCÁLCICO

Grosso, J.A.^{1*}, L. Lázaro¹, C. Bongiorno¹, J.M. Ressia¹

¹ CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA);

*Autor de contacto: grossojavier52@gmail.com; Rep. de Italia 780 (7300) Azul (BA)

RESUMEN

El horizonte petrocálcico (tosca) presente en algunos suelos agrícolas, limita la capacidad de almacenamiento de agua y la profundidad de exploración de las raíces de los cultivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la implementación de siembra variable de maíz estudiando el efecto de la profundidad del horizonte petrocálcico sobre el rendimiento en granos de un híbrido de uso actual en el sudeste bonaerense. Se tomaron mediciones georreferenciadas de la profundidad del suelo y se definieron 3 ambientes; poco profundo (< 90 cm), medio (90 – 130 cm) y profundo (> 130 cm). Se realizaron 2 tratamientos a) Densidad uniforme (DU) (61000 pl/ha) y b) Densidad variable (DV), en función de la profundidad de tosca (57000 pl/ha, 61000 pl/ha y 73000 pl/ha). Se hallaron diferencias significativas en el rendimiento en grano entre ambientes ($p < 0,05$). Los resultados muestran que en el ambiente poco profundo sería favorable una reducción en la densidad de plantas de 7 % desde 61 pl/m² a 57 pl/m². Para el ciclo productivo evaluado, no se justificó incrementar la densidad de siembra en los mejores ambientes por encima de la media propuesta por el productor, ya que no se hallaron diferencias significativas de rendimiento. La densidad variable resulta una herramienta clave para ajustar la densidad de siembra a los distintos ambientes y reducir los costos en semilla.

Palabras clave: profundidad del suelo, densidad de siembra, rendimiento de maíz.

INTRODUCCIÓN

El suelo conforma el principal reservorio de agua y nutrientes para los cultivos y su capacidad de almacenarlos determina en gran medida la aptitud agrícola del mismo. En el centro de la provincia de Buenos Aires es frecuente encontrar lotes con un manto calcáreo a profundidad variable (tosca), que limita la capacidad de almacenamiento y la profundidad de exploración de las raíces. Esta limitación, generalmente produce reducción en el rendimiento de los cultivos (Calviño y Sadras, 1999; Calviño et al., 2003; Leonardi 2012), siendo los más afectados el maíz y el girasol. Los suelos predominantes en esta región, pertenecen al Gran Grupo de los Argiudoles, destacándose el Argiudol Típico, (USDA-Soil Taxonomy V. 2006) y el Argiudol Petrocálcico (Soil Taxonomy 2014), que posee tosca a profundidad variable.

Desde mediados de la década de 1990 la superficie destinada al cultivo de soja en la región ha ido en aumento (Vázquez y Zulaica, 2013). Varios autores han relacionado la caída en la calidad de los suelos de la región pampeana con el aumento de la frecuencia de este cultivo en las secuencias que se realizan en la zona (Sainz Rozas et al., 2013). Una de las alternativas de mejora es reincorporar gramíneas en la rotación, especialmente cultivos como maíz o sorgo por el alto aporte de carbono que realizan al suelo (Forjan y Manso, 2016).

El maíz es uno de los cultivos extensivos con menor plasticidad vegetativa y reproductiva (Andrade y Sadras, 2000) por lo que el manejo de la densidad es fundamental para obtener cultivos rentables en ambientes



donde la profundidad del suelo resulta limitante (Sabando et al., 2019). En suelos someros o con mucha variabilidad espacial el manejo del productor consiste en reducir la densidad de siembra utilizando híbridos prolíficos (Ross, 2013).

El incremento en los rendimientos en la producción de maíz en Argentina y en otros países es resultado del efecto del mejoramiento genético y de un mejor conocimiento sobre la elección de las prácticas de manejo (Eyhérbide y Damilano, 2001; Sangoi et al., 2002; Duvick, 2005; Ci et al., 2012; Di Matteo et al., 2016). Para lograr este incremento, es fundamental considerar prácticas de manejo basadas en entender el funcionamiento del cultivo maíz en interacción con el ambiente, lo cual hace a una producción viable donde antes no se consideraba posible (Sabando et al., 2019).

Los mayores rendimientos en grano de los híbridos modernos se deben al mejoramiento continuo en la capacidad de tolerar el estrés por alta densidad de plantas, que a su vez está asociado a una mayor tolerancia a estreses abióticos y bióticos (Duvick, 2005).

En este trabajo se planteó evaluar la implementación de siembra variable de maíz en un suelo con horizonte calcáreo de profundidad variable, del centro de la provincia de Buenos Aires, estudiando el efecto de la profundidad de tosca sobre el rendimiento en granos en un híbrido de maíz de uso actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña de cultivos de verano 2018-2019, en un lote de 20 hectáreas destinado a agricultura continua, ubicado en el partido de Azul provincia de Buenos Aires ($36^{\circ}53'0,5''$ S; $59^{\circ}54' 54''$ O) (Figura 2), se realizó un ensayo que consistió en realizar la siembra de maíz en franjas de 34 m de ancho con una densidad uniforme y en franjas con densidad de siembra variable según mapa de profundidad a la tosca.



Figura 1. Ubicación del sitio de estudio. ($36^{\circ}53'0,5''$ S; $59^{\circ}54' 54''$ O)

Se tomaron mediciones de la profundidad del horizonte calcáreo en todo el lote bajo estudio, utilizando una varilla metálica graduada (pinche metálico) de 1,50 m de longitud. El muestreo se realizó siguiendo una grilla de 50 m x 50 m y cada punto fue georreferenciado con GPS de uso manual.

A partir de los datos obtenidos se realizó una interpolación utilizando el software QGIS y se definieron 3 ambientes; poco profundo (< 90 cm), medio (90 – 130 cm) y profundo (> 130 cm). Con el software AFS se realizó un mapa de prescripción de siembra con tres densidades según la profundidad de tosca.

A fines del mes de noviembre, se sembró el híbrido de maíz Dekalb 6910-VT3P. Se realizaron 2 tratamientos a) Densidad uniforme (DU), propuesta por el productor (61000 pl/ha) y b) Densidad variable (DV), en función de la profundidad de tosca (57000 pl/ha para el ambiente poco profundo, 61000 pl/ha para el ambiente de profundidad media y 73000 pl/ha para el ambiente profundo). La siembra se realizó con una sembradora de siembra directa con sistema de dosis variable. Simultáneamente, se fertilizó con 100 kg/ha de fosfato diamónico y en 6 hojas expandidas se fertilizó con 120 kg/ha de urea granulada.

Al finalizar el ciclo del cultivo en cada franja se realizaron 80 submuestreos en una superficie de 10 m², cada uno, en los que se contó la cantidad de plantas, se midió profundidad de tosca y cosechó en forma manual para determinar el rendimiento en grano. Con los datos obtenidos se establecieron correlaciones entre las variables estudiada, se realizaron análisis de varianza y test de comparación de medias (Tukey Alfa=0,05), utilizando el software Infostat (Di Rienzo et al., 2011)

Las precipitaciones registradas por el personal del establecimiento durante el ciclo del cultivo de maíz, sumaron 400 mm, cerca de la mitad del promedio anual histórico de 858 mm (Vilatte et al., 2017). Además, se registraron 153 mm acumulados en el mes de noviembre previos a la fecha de siembra, asegurando una buena provisión de agua para las etapas iniciales de desarrollo del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el rendimiento en función de los tratamientos se observó que el rendimiento promedio en grano fue similar en DV y DU no existiendo diferencias significativas de profundidad de suelo ($p=0,36$), entre tratamientos, DV = 112 cm y DU = 118 cm (Tabla 1).

Tabla 1: Profundidad del suelo (distancia a la tosca en cm) y rendimiento de maíz según tratamientos de densidad de plantas, densidad variable según profundidad a la tosca (DV) y densidad uniforme (DU).

Tratamiento	Profundidad (cm)	Rendimiento (kg/ha)
DV	112 a	12676 a
DU	118 a	12921 a
DMS	11	486

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). DMS: diferencia mínima significativa

El rendimiento medio en DV, fue similar al del tratamiento DU, ambos valores son relativamente altos para la región. No se halló un efecto debido a la densidad sobre el rendimiento, para el rango de densidad analizado. Esto estaría asociado a la evolución de los híbridos modernos (Duvick, 2005), en este caso, presentó plasticidad a las condiciones en las que se desarrolló el cultivo.

Por otra parte, se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento en grano entre los tres ambientes definidos: ambiente 1 (< 90 cm de profundidad, media 80 cm); ambiente 2 (90 cm - 130 cm de profundidad, media de 111 cm) y ambiente 3 (> 130 cm de profundidad, cuya media fue de 155 cm) (Tabla 2).

Tabla 2: Rendimiento en grano según ambiente definido por profundidad a la tosca.

Ambientes	Profundidad (cm)	Rendimiento (kg/ha)
Poco profundo	80 a	11099 a
Medio	111 b	13166 b
Profundo	155 c	14131 c
DMS	16	722

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). DMS: diferencia mínima significativa.

El rendimiento en grano fue diferente entre ambientes ($p < 0,05$), siendo el ambiente poco profundo, el que presentó menor rendimiento (Tabla 2). En este ambiente el rendimiento fue alrededor de 2000 kg/ha más bajo que en el ambiente medio, lo cual representó una disminución del 15%, mientras que esa diferencia fue del 21%, respecto al ambiente profundo (3000 kg/ha).

Tabla 3: Densidades de plantas logradas (pl/m²) en los tres ambientes, definidos según profundidad hasta la tosca: poco profundo (dis-



tancia menor a 90 cm), profundidad media (entre 90 y 130 cm) y profundos (distancia a la tosca mayor a 130 cm) en un lote de producción de maíz en Azul, Prov. Bs As para el año 2019 en dos tratamientos de siembra: DU (densidad uniforme) y DV (densidad variable).

Ambientes	Tratamientos	
	DU (pl/m ²)	DV (pl/m ²)
Poco profundo	60 a	57 a
Medio	61 a	61 ab
Profundo	62 a	73 b
DMS	3	13

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). DMS: diferencia mínima significativa.

Al evaluar el efecto de la densidad variable de siembra en función de la profundidad hasta la tosca respecto a la densidad uniforme, en los tres ambientes definidos (suelos poco profundos menores a 90 cm, profundidad media entre 90 y 130 cm o profundos, distancia a la tosca mayor a 130 cm) se comprobó, que la densidad de plantas en el tratamiento DU se mantuvo relativamente constante entre ambientes, siendo en promedio 61 pl/m², coincidiendo con lo planificado. En el tratamiento DV la densidad fue diferente entre zonas, aunque sólo se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre la menor densidad en los ambientes poco profundos (densidad media de 57 pl/m²) respecto al profundo (densidad media 73 pl/m²). La densidad media (61 pl/m²) no se diferenció estadísticamente de la menor y la mayor densidad propuesta. Esto podría deberse a la demora, hasta alcanzar la estabilidad en el número de plantas, en el cambio de dosis realizado por la sembradora entre ambientes o a la variabilidad en el ambiente edáfico y/o disposición del rastrojo en la superficie del suelo.

En la siguiente tabla se presentan los datos de rendimiento promedio por tratamiento para cada ambiente evaluado.

Tabla 4: Rendimiento de maíz en (kg/ha) promedio correspondiente al tratamiento densidad uniforme (DU) y al tratamiento (DV) en los tres ambientes evaluados, poco profundo, medio y profundo.

Ambientes	Tratamientos	
	DU (kg/ha)	DV (kg/ha)
Poco profundo	11347 a	10852 a
Medio	13328 b	13004 b
Profundo	14090 b	14171 b
DMS	1321	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). DMS: diferencia mínima significativa.

En la Tabla 4 se puede observar que en el ambiente poco profundo no hubo diferencias de rendimiento entre tratamientos. Por ende, sería favorable una reducción en la densidad de plantas de 7 % desde 61 pl/m² a 57 pl/m². Un comportamiento similar se presentó en el ambiente de profundidad media y profundo donde no se hallaron diferencias significativas de rendimiento. Estos resultados indican, al menos para el año evaluado, que en los mejores ambientes no se justificó incrementar la densidad de siembra por encima de la media propuesta por el productor. Esto reafirma lo mencionado anteriormente sobre la capacidad de adaptación del híbrido de maíz a los diferentes ambientes evaluados.

Se debe seguir trabajando en la línea de investigación para poder predecir de la mejor manera posible el rendimiento en función de cada ambiente considerando prácticas de manejo específicas (densidad, híbrido, fertilización, etc.) para cada ambiente y mejorar la rentabilidad del cultivo (Sabando et al., 2019).



CONCLUSIÓN

La densidad variable resulta una herramienta clave para ajustar la densidad de siembra a los distintos ambientes y reducir los costos en semilla.

Los resultados presentados provienen de un año de experimento. Se pretende continuar con la línea de investigación a fin de obtener herramientas que permitan definir los ambientes productivos por profundidad de suelo con el mejor ajuste posible a la demanda del cultivo de maíz.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la familia Guiroy propietaria del establecimiento donde se realizó el estudio y a la empresa contratista Agustín Quattrocchio e Hijos SRL, encargados de realizar los servicios de siembra y cosecha del cultivo de maíz. También, y muy especialmente, a la empresa Schang por sumarse a la investigación y proveer a los contratistas de la semilla de maíz e insumos, necesarios para la implantación del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

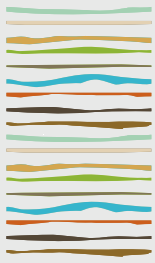
- Andrade, FH & VO Sadras. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce: Medica Panamericana.
- Calviño, PA & VO Sadras. 1999. Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil depth and crop management. *Field Crops Research* 63, 237-246.
- Calviño, PA; FH Andrade & VO Sadras. 2003. Maize yield as affected by water availability, soil depth, and crop management. *Agronomy journal*, 95(2), 275-281.
- Ci, X; M Li & J Xu. 2012. Trends of grain yield and plant traits in Chinese maize cultivars from the 1950s to the 2000s. *Euphytica* 185, 395-406.
- Darwich, N. 1989. Profundidad del suelo y retención de agua. En: Manual de fertilidad de suelos. Capítulo 3. INTA-ENICHEM.
- Di Matteo, JA; JM Ferreyra & AA Cerrudo. 2016. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research* 197, 107-116.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & YC Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>, 8, 195-199.
- Duvick, DN. 2005. The Contribution of Breeding to Yield Advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 83-145.
- Eyhérbide, GH & AL Damilano. 2001. Comparison of genetic gain for grain yield of maize between the 1980s and 1990s in Argentina. *Maydica* 46, 277-281.
- Forjan, HJ & ML Manso. 2016. Rotaciones y secuencias de cultivo en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense. Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_maiz_importancia_y_manejo.pdf
- Leonardi, M. 2012. Comportamiento sitio específico de la soja en el centro sur bonaerense. Tesis para obtener el título de grado en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.
- Ross, F. 2013. Plasticidad y productividad de maíz en ambientes someros. Carpeta de actualización técnica de cultivos de cosecha gruesa 2012-13, INTA CEI Barrow. ISSN: 2346-9498, 83-88p.
- Sabando, ML; J Erreguerena; I Besteiro; L Lanzavecchia & A Cerrudo. 2019. Importancia y manejo del cultivo de maíz. *Revista Horizonte A Digital*.
- Sainz Rozas, H; M Eyherabide; HE Echeverría; P Barbieri; H Angelini; GE Larrea; GN Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En Simposio Fertilidad 2013. IPNI Cono Sur-Fertilizar, Rosario. Mayo, 2013. Int. Inst.
- Sangoi, L; MA Gracietti; C Rampazzo & P Bianchetti. 2002. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Res.* 79, 39-51, [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00124-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00124-7).
- Soil Taxonomy. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- USDA. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Décima edición. Soil Survey Staff, USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA, p. 331.
- Vazquez, P & L Zulaica. 2013. Intensificación agrícola y pérdida de servicios ambientales en el partido de Azul (Provincia de Buenos



Aires) entre 2002-2011. *Sociedade & Natureza*, 25(3), 543-556.

Vilatte, CA; AE Confalone & LM Aguas. 2017. Rainfall in Azul and its relationship with the phenomenon el Niño Southern Oscillation (ENSO). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 235-242.





EVALUACIÓN DEL ENCALADO SOBRE LA ACIDEZ DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Gudelj, V. J¹., H. Ghío², M. Castagnino², J. Orazi², R. Garcia², M. Pelagagge², J. Aletta de Sylvas³, F. Bardeggia², G. Beltramo², M.B. Conde¹, O.E. Gudelj¹, C.A. Lorenzon¹, R.D. Seravalle¹, L.A. Pereyra¹, F. Garcia⁴

¹ EEA Marcos Juárez (INTA);

² Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID);

³ Empresa Nutrient;

⁴ Consultor-FCA (UNNDP). gudelj.vicente@inta.gob.ar

RESUMEN

En el ciclo 2019-2020 se instalaron cinco experimentos de encalado en campo de productores en el sueste de Córdoba. Los mismos tuvieron una duración de tres años culminando en el ciclo 2021-2022. Los tratamientos evaluados fueron: Testigo, 500 kg/ha de dolomita aplicación anual, 1500 kg/ha de dolomita aplicación inicial, 1050 kg/ha de dolomita + 450 kg/ha de yeso aplicación inicial. Las variables estudiadas fueron pH del suelo en los estratos de 0-5, 5-10 y 0-20 cm de profundidad y el rendimiento de los cultivos. El encalado aumentó levemente el pH del suelo en algunos de los sitios seleccionados, pero en la mayoría no incidió. Los cambios mayormente ocurrieron en los estratos superficiales. Cuando hubo modificación en el pH por el encalado no hubo diferencias entre fuentes ni entre momentos de aplicación de la enmienda. La falta de respuesta al encalado y los altos valores de rendimientos obtenidos estarían indicando que, si bien los valores de pH están en el límite del óptimo, aún no estarían afectando el desempeño de los cultivos, insinuando que la capacidad buffer de los suelos en estudio están morigerando el problema.

Palabras clave: encalado, acidificación, rendimiento de cultivos

INTRODUCCIÓN

El proceso de agriculturización iniciado a mediados de la década de 1970 originó cambios físico químicos en los suelos de la zona núcleo agrícola argentina. Uno de esos cambios es la acidificación de los mismos, como consecuencia de la exportación de bases: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) sin reposición de las mismas mediante la fertilización y la utilización de fertilizantes amoniacales con alto índice de acidez como el sulfato de amonio y la urea. También la mineralización de la materia orgánica (MO) al producir NH_4^+ en suelos con adecuada aireación se oxida a NO_3 y libera H^+ , que puede intercambiarse con el Ca y/o Mg de los coloides del suelo generando lixiviación de bases y acidificación del suelo (Vásquez y col, 2014). Por lo tanto, el laboreo al airear el suelo promueve la mineralización de la MO contribuyendo también a la acidificación del mismo. Aunque pareciera ser que lo que más incide es la aplicación de fertilizantes amoniacales en alta dosis, es decir con balances positivos. Experiencia de 16 años (1986-2002) en suelo Argiudol típico comparando labranzas combinadas y siembra directa no mostró diferencias significativas en el pH del suelo entre la situación inicial y final en ninguno de los tratamientos evaluados. Además del balance negativo de NPS, hubo una necesidad importante de Ca y Mg de la cual solo el 22% se llevaron los granos y el resto se restituyó con los rastrojos al suelo, sugiriendo un aporte de bases del sub-suelo en los 18 cm superficiales donde se tomó la muestra que pudo haber morigerado la acidificación (Gudelj y col. 2002). Otras experien-



cias en el mismo tipo de suelo comparando testigo sin fertilizar, NPS balance negativo y NPS balance positivo para la secuencia M-T/S en siembra directa, mostraron luego de 14 años que el tratamiento testigo tenía valores de pH significativamente mayores en todas las profundidades evaluadas respecto del tratamiento NPS positivo y en superficie respecto de NPS negativo (Gudelj y col 2017). También habría un efecto tampón de los suelos, asociados a la textura (contenido de arcillas) (Chien 2009); los suelos de textura gruesa con menor capacidad de intercambio catiónico y reserva de bases en general serían más propensos a padecer la problemática (Hernández y col. 2006). Dada la baja solubilidad de los correctores calcáreos de la acidez en planteos de siembra directa se podría mejorar la solubilidad adicionando yeso (Hernández y col. 2006). Distintos experimentos demostraron la factibilidad de disminuir la acidez mediante el encalado incorporado al suelo (Gambaudo y col. 2001; Torella y col. 2007). En Otros, en planteos de siembra directa, donde los correctores se aplicaron al voleo sin incorporación, no hubo modificación del pH cuando se utilizó calcita o dolomita (Girón y col. 2016) pero si cuando a la dolomita se le adicionó yeso (Machetti y col. 2019). En cuanto a los rendimientos de los cultivos hubo aumentos significativos por la aplicación de material calcáreo (Gambaudo y col. 2001 y Girón y col. 2016) y en uno de dos experimentos realizados (Machetti y col. 2019). Dado el sostenido proceso de agriculturización con aplicación de fertilizantes, como así también los bajos valores de pH observados en los análisis de suelo de lotes de productores y las evidencias de efectos beneficiosos logrados en otras áreas agrícolas, es que se cree conveniente experimentar con el encalado de suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del encalado utilizando dolomita (granucal) sobre la acidez del suelo y el rendimiento de los cultivos durante tres años en cinco sitios ubicados en el Sudeste de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo 2019-2020 se instalaron cinco experimentos de encalado en campo de productores en el sudeste de Córdoba, que tuvieron una duración de tres años culminando en el ciclo 2021-2022. Las descripciones de los suelos de cada sitio seleccionado, los análisis químicos de suelos iniciales, realizados en el laboratorio de INTA Castelar, y las secuencias de cultivo utilizada en cada sitio se presentan en la tabla 1. Los ensayos se implantaron y cosecharon con máquina del productor de cada sitio. Las parcelas tuvieron una dimensión de 23 m de ancho por 100 metros de largo en todos los sitios excepto en Corral de Bustos donde el largo fue de 300 metros. Los productos utilizados para enmendar fueron dolomita $MgCa(CO_3)$ (Granucal) y yeso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (Azufertil) ambos provistos por la Empresa Nutrient que fue la encargada de aplicarlos en superficie con equipo neumático Rogator 1300. Granucal es un producto granulado (2-3 mm) que contiene 20,5 % de calcio y 10,7 % de magnesio. Azufertil granulado (2-4 mm) 18 % S y 23% Ca. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: Testigo sin encalar, dolomita 500 kg/ha anual, aplicado todos los años antes de la siembra, dolomita 1500 kg/ha y dolomita 1050 kg/ha + yeso 450 kg/ha aplicados estos dos últimos tratamientos en el inicio de la experiencia (2019) antes de la siembra del primer cultivo. En el sitio Corral de Bustos solo se ensayaron los tres primeros tratamientos. Los ensayos tuvieron un diseño en bloques aleatorizados con 3 repeticiones y para el análisis de los resultados se realizaron análisis de variancias con modelos lineales mixtos, comparación de medias con test Lsd de Fisher (5%) con software infostat. Si bien se midieron muchas otras variables, en este trabajo se analiza la acidez del suelo medida a través del pH (1:2,5 suelo: agua) en tres profundidades (0-5, 5-10 y 0-20 cm) y los rendimientos de los cultivos (kg/ha).

Tabla1: Características de los suelos donde se realizaron los experimentos, análisis químico 0-20 cm al comienzo del experimento 2019 y secuencias de cultivos utilizadas

	SITIOS				
	Marcos Juárez	Los Surgentes	Corral de Bustos	Monte Buey	Justiniano Posse
Serie de Suelo	Marcos Juárez	Hansen 2	Hansen	Monte Buey	Ordoñez
Drenaje	bien drenado	bien drenado	bien drenado	bien drenado	Bien drenado



Tipo de suelo	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B moderadamente textural	Argiudol típico B levemente textural	Hapludol típico, sin B textural
Horizonte A	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa	Franco limosa
Textura					
% arcilla	25,1	22,9	22,9	24,1	22,5
% limo	68,9	62,1	62,1	62,4	55,4
% arena	6	15	15	13,5	22
% mat. org.	1,86	1,94	2,35	1,81	1,64
pH	5,5	5,4	5,2	5,5	5,3
CIC	23,4	21,4	20,9	18	17,6
Cmol/kg Ca	13,4	11,2	11,4	10,7	6,4
Cmol/kg Mg	3,9	2,9	3,5	2,6	4,1
Cmol/kg Na	0,4	0,8	0,7	0,7	0,8
Cmol/kg K	2	1,5	1,7	2,1	1,9
Secuencia					
2019-2020	maíz	maíz	trigo-soja	soja	soja
2020-2021	trigo-soja	maíz	Maíz	trigo-soja	trigo-soja
2021-2022	maíz	soja	trigo-soja	maíz	maíz

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis de la acidez del suelo determinada a través de mediciones de pH en tres estratos al final de la experiencia, otoño 2022. No se observaron diferencias importantes entre tratamientos en cada sitio. De 0-5 cm hubo dos sitios en los que los tratamientos encalados no se diferenciaron entre sí, pero tuvieron un pH superior al testigo sin encalar superándolo significativamente en 0,42 y 0,28 puntos en Los Surgentes y Monte Buey respectivamente. Algo similar ocurrió de 5-10 cm en Justiniano Posse donde los tratamientos de encalado no se diferenciaron entre sí, pero sí significativamente del tratamiento testigo al que superaron en promedio en 0,4 punto de pH. De 0-20 cm solo se observaron diferencias en el sitio Los Surgentes en el que los tratamientos con encalado no se diferenciaron entre sí, pero en promedio superaron significativamente en 0,24 punto de pH al testigo sin encalar.

En la tabla 3 se presentan los resultados de rendimiento de los cultivos en cada sitio y ciclo en el que se realizó el estudio y en la tabla 4 la producción total en cada sitio proveniente de la sumatoria de todos los cultivos en los tres años de estudio. En ningún caso se observó diferencias significativas entre tratamientos evaluados para un mismo sitio/ciclo o sitio. Si bien los valores de pH no estaban en el óptimo, estaban cercanos al mismo, según Picone (2015) para la mayoría de los cultivos el pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 8,3. Estos resultados también estarían indicando que estos suelos tienen un gran poder buffer producto, en la mayoría de los casos, de sus altas saturaciones de bases en el complejo de intercambio. En el análisis inicial de suelo se puede observar que en todos los casos el porcentaje de satura-



Tabla 2: valores de pH en los estratos 0-5, 5-10, y 0-20 cm al final de los experimentos en los cinco sitios. Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada sitio según test LSD de Fisher ($p < 0,05$).

SITIOS	Profundidad (cm)	TRATAMIENTOS			
		Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
M a r c o s Juárez	0-5	5,27	5,43	5,43	5,57
	5-10	5,37	5,50	5,53	5,57
	0-20	5,30	5,60	5,50	5,55
Los Surgen-tes	0-5	5,57 b	5,93 a	6,03 a	6 a
	5-10	5,87	5,83	5,90	5,83
	0-20	5,67 b	5,93 a	5,90 a	5,90 a
Corral de Bustos	0-5	5,47	5,47	5,63	
	5-10	5,57	5,47	5,63	
	0-20	5,50	5,60	5,53	
Monte Buey	0-5	5,20 b	5,53 a	5,37 ab	5,53 a
	5-10	5,50	5,70	5,67	5,67
	0-20	5,90	6,00	5,87	5,90
Justiniano Posse	0-5	5,27	5,30	5,37	5,33
	5-10	5,27 b	5,60 a	5,67 a	5,73 a
	0-20	5,43	5,57	5,40	5,77

Tabla 3: Rendimiento de los cultivos (kg/ha) en cada sitio en los tres ciclos

Sitio-Ciclo-Cultivo	TRATAMIENTOS			
	Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
MsJz - 2019/20 -Mz	14258	15138	14709	14709
LS - 2019/20 - Mz.	10638	10761	10886	10319
CB - 2019/20 - T	5295	5321	5207	
CB - 2019/20 - S2	5026	5080	5026	
MB - 2019/20 - S1	5704	5793	5729	5795
JP - 2019/20 - S1	5089	5300	5324	5114
MsJz - 2020/21 -T	5017	4421	4417	4532
MsJz - 2020/21 -S2	4623	4867	4623	4677
LS -2020/21 - Mz.	11521	11602	12524	11514
CB - 2020/21 - Mz	14089	14018	14160	
MB - 2020/21 - T	3084	3074	3278	3241
MB - 2020/21 - S2	4047	3878	3763	4013
JP - 2020/21 - T	2687	2618	2878	2653
JP - 2020/21 - S2	3169	3133	3062	3016
MsJz - 2020/21 -M	12580	13438	13326	12510
LS -2020/21 - S1	4926	4741	5269	5124
CB - 2020/21 - T	6573	6566	6687	



CB – 2020/21 - S2	3822	3782	3816	
MB – 2020/21 – M	12714	12718	12404	12522
JP – 2020/21 - M	12143	11976	12173	11898

ción de la CIC para Ca y Mg son satisfactorios excepto en Justiniano Posse donde el porcentaje de saturación con Ca estuvo en el 36,4 %. Considerando el porcentaje de saturación total de la CIC inicial en cada sitio y un porcentaje de saturación de bases deseado de 85 % la necesidad de encalado para esos lotes hubiera sido: 2148, 2112, 558, 228 y 0 kg/ha de CO₃ de Ca para Los Surgentes, Justiniano Posse, Corral de Bustos, Marcos Juárez y Monte Buey respectivamente. Eso es lo teórico, pero en la práctica no hubo respuesta en los rendimientos al encalar los suelos, lo que indicaría la capacidad buffer de estos suelos para el buen funcionamiento de los cultivos, que se refuerza más aún dados los altos rendimientos obtenidos, ya que el promedio de todos los sitios experimentales considerando todos los años de estudio fue superior en un 28, 49, 35, y 30 % para maíz, trigo, soja de segunda y soja de primera respectivamente, al compararlos con los de la media del departamento Marcos Juárez (Estimaciones Agrícolas Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca)

Tabla 4: Producción total (kg/ha) por sitio proveniente de la sumatoria de las producciones anuales en cada sitio para cada tratamiento.

SITIO	PRODUCCION TOTAL kg/ha			
	Testigo	500 kg D aplicación. anual	1500 kg D aplicación inicial 2019	1050 kg D + 450 kg A Aplicación inicial 2019
Marcos Juárez	36480	37864	37076	36428
Los Surgentes	27086	27206	28680	26958
Corral de Bustos	34806	34767	34898	
Monte Buey	25549	25463	25174	25571
Justiniano Posse	23089	23028	23437	22681

CONCLUSIONES

El encalado aumentó levemente el pH del suelo en algunos de los sitios seleccionados, pero en la mayoría no incidió. Los cambios mayormente ocurrieron en los estratos superficiales. Cuando hubo modificación en el pH por el encalado no hubo diferencias entre fuentes ni entre momentos de aplicación de la enmienda. La falta de respuesta al encalado y los altos valores de rendimientos obtenidos estarían indicando que, si bien los valores de pH están en el límite del óptimo, aún no estarían afectando el desempeño de los cultivos, insinuando que la capacidad buffer de los suelos en estudio están morigerando el problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Chien, SH; MM Gearhart & DJ Chemicals. 2009. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal. Informaciones Agronómicas del cono Sur n° 41.
- MINAGRI. 2022. Estimaciones Agrícolas Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
<https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Gambaudo, S; A Zampar; L Tomatis & O Quaino. 2001. Respuesta de la alfalfa a la aplicación de dos enmiendas calcáreas. Informaciones Agronómicas del cono Sur n° 12.
- Girón, P; A Macchiavello; M Barraco; C Ottaviano; D Ferro & M Vásquez. 2016. Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcico-magnésico en el cultivo de Soja.
- Gudelj, VJ; H Ghio; O Gudelj; C Lorenzon; MB Conde; JP Ioele; C Galarza; P Vallone; P Tamburrini & F Garcia. 2017. Evaluación de reposición de nutrientes en experimentos de larga duración del Sudeste de Córdoba: Ensayos de larga duración en Argentina: un aporte al



logro de sistemas agrícolas sustentables. Hugo Krüger ... [et al.]; compilado por Fernando Salvagiotti; Hugo Krüger; Guillermo Studert. - 1a ed. - Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF.

Gudelj, VJ; C Galarza; G Espoturno; P Vallone; O Gudelj; B Masiero; H Ghio. 2002. 16 años de Experiencias de Fertilización en Siembra Directa. Ensayos de Larga duración. Actas X Congreso Nacional de Aapresid. 13 al 16 de agosto de 2002. Rosario, Santa Fe, Argentina.

Hernández, J; M Vázquez; A Terminiello; M García. 2006. Movimiento descendente de bases en un suelo tratado con correctores de acidez y yeso. XX Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.

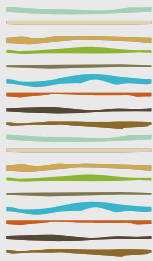
Machetti, N; AE Pellegrini; NM Gutiérrez; RA Giraud; F Tropeano; F Fernández; ME Vázquez; DJ. Cosentino. 2019. Efecto del encalado sobre propiedades químicas y físicas del suelo y sobre el rendimiento de soja (*Glycine max*). *Ciencia Suelo (Argentina)* 37 (2): 372-382.

Picone, LI. 2014. El ambiente físico-químico del suelo relacionado con la fertilidad: en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos 2ª edición. Editores Echeverría E y García F. Ed. INTA Argentina, p. 31-51 904 p

Torella, JL; R Garuzzo & EC Faita. 2007. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo y la germinación del trébol rojo (*Trifolium pratense*). *Informaciones Agronómicas del cono Sur* n° 36.

Vásquez, M y A Pagani. 2014. Calcio y magnesio. Manejo de fertilización y enmiendas: en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos 2ª edición. Editores Echeverría E y García F. Ed. INTA Argentina, p. 317-350 904.





UNA PROPUESTA PARA LA SISTEMATIZACION DE 70.000 HECTÁREAS EN LA MICROREGIÓN CRESPO Y SUS ALDEAS

Gvozdenovich, J.J.^{1,2}, M. Saluzzio², R. De Carli¹, E. Behr¹, R. Melchiori¹; L. Novelli^{1,2}, C. Pioto¹, M. Martínez¹, A. Farall³, M. Farall⁴, N. Florencio⁴, A. Mendez⁵, A. Alanis⁶, M. Gallinger⁷, M. Sonzogni⁸, G.A. Piérola², L.R. Steger², C.A. Heinze²

¹ INTA EEA Paraná;

² Facultad Ciencias Agropecuarias UNER;

³ Jefatura Gabinete MAGyP;

⁴ Rec. Nat. Gob. Entre Ríos;

⁵ CORUFA Gob. Entre Ríos;

⁶ Secretaría de Ambiente Gob. Entre Ríos; ⁷ Municipalidad de Crespo; ⁸ Dirección Provincial de Vialidad de Entre Ríos –

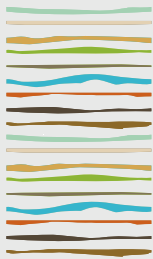
* Ruta Prov. 11, km 12.5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, gvozdenovich.jorge@inta.gob.ar

RESUMEN

Los suelos de la provincia de Entre Ríos presentan como principal limitante la degradación actual y su susceptibilidad a la erosión hídrica causada por la topografía ondulada, suelos de baja capacidad de infiltración por contar con horizontes sub superficiales de textura arcillosa y, períodos de lluvias de alta intensidad y gran potencial erosivo. Esto desencadena importantes flujos de agua de escorrentía, que generan los procesos erosivos desde el nivel de lotes a la cuenca. En efecto, los caminos secundarios de tierra y/o broza, sufren el proceso de la erosión hídrica de los escurrimientos concentrados desde los campos lindantes que arrastran el material hacia las vías de escurrimiento naturales. Esto lleva a la disminución constante del nivel de los caminos debido a la pérdida de material por erosión. Este proceso, que en primer lugar provoca una disminución de la capacidad productiva de los suelos, también genera un alto impacto económico, debido al permanente costo de mantenimiento de los caminos, que se suma a mayores costos para los productores. El objetivo de este proyecto es conservar y mejorar la capacidad productiva de los suelos de la Microrregión de la Ciudad de Crespo y sus 9 Aldeas Aledañas –(MiCrA), a partir del desarrollo de un plan de sistematización a nivel de cuenca para el control de la erosión hídrica y conservación de los caminos rurales. El territorio bajo estudio abarca un área de aproximadamente 70.000 ha en la confluencia de los Departamentos Paraná, Diamante y Nogoyá de la provincia de Entre Ríos. Así, en función de lo planteado, se propuso el desarrollo de un plan de sistematización de tierras a nivel de cuencas, con una integración de lotes, predios, caminos, red hidrográfica; entre INTA, FCA UNER, Jefatura Gabinete del MAGyP, Recursos Naturales, CORUFA (Comisión reguladora de uso de fuentes de agua), Secretaría de Ambiente del Gob. Entre Ríos, Municipalidad de Crespo, Dirección Provincial de Vialidad y productores. El uso actual de los lotes provoca erosión hídrica y daño en los caminos rurales, lo cual requiere un mantenimiento permanente de los mismos. En efecto, más del 50% de los lotes a la vera de los caminos no están sistematizados, lo que agrava esta situación. El estudio y ordenamiento de los escurrimientos a nivel de cuenca redundará en una disminución de los caudales aportados por el área sistematizadas. Se espera como resultado, un impacto directo en la economía de las Comunas y Juntas de Gobierno que integran la MiCrA. Se estima que, de reducir un 50% de los caudales escurridos y lograr un ordenamiento de las vías de escurrimiento, se podría disminuir significativamente el gasto anual de mantenimiento. Por otra parte, la mejora en la transitabilidad de los caminos, reducirá el costo adicional que genera el mal estado de los mismos, en la ecuación económico-social-productiva de quienes habitan en la zona. La propuesta contribuirá a la sustentabilidad de las actividades de la microrregión, favoreciendo la permanencia de las familias en el entorno rural y la vinculación permanente entre las comunidades que la constituyen.

Palabras clave: erosión, cuenca, sistematización





EL NAN Y EL N-POM COMO EVALUADORES DE SISTEMAS AGRONÓMICOS INTENSIVOS

Hapel L.¹, A. Herrera Tobón¹, M. Semmartín^{1,2}, B. Benedit³, A. Peper³, D. Cosentino

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

² CONICET,

³ Bayer Argentina.

Av. San Martín 4453, Ciudad de Buenos Aires, cosenti@agro.uba.ar

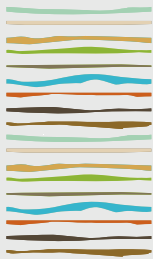
RESUMEN

Los sistemas agronómicos intensivos enfrentan el desafío de probar que a largo plazo son capaces luchar contra el cambio climático acumulando carbono, mejorando las funciones ecosistémicas del suelo siendo a su vez rentables. Una de las maneras de lograrlo es monitoreando continuamente variables que indiquen la acumulación y la liberación simultánea al suelo de nutrientes claves como el Carbono y Nitrógeno. El objetivo de este trabajo fue comparar un sistema agronómico promedio vs uno intensificado con distintas variables carbonadas y nitrogenadas que dieran cuenta de la evolución a corto y largo plazo del sistema.

Se evaluó el contenido de carbono orgánico total (COT), carbono particulado (COP), nitrógeno total (Nt), nitrógeno particulado (N-POM) y NAN en un experimento de 6 años en el campo experimental "Don Eduardo", situado en Pergamino, que puso a prueba un sistema de producción intensificado y uno del productor promedio de la zona. Cada sistema incluyó tres secuencias de cultivo: monocultivo de soja, soja-maíz y trigo/soja-maíz-soja y todos subdivididos con o sin cultivo de servicios. Se evaluó a dos profundidades: 0-5 y 5-20 cm. La intensificación consistió en el uso de genotipos superiores y mayor densidad de siembra para maíz y trigo, aumentando la fertilización para recuperar la fertilidad del suelo, así como para reemplazar los fertilizantes que reducen las pérdidas por volatilización y una tecnología de protección de cultivos más avanzada. En general, se observó que el efecto del cultivo de servicio fue el de mayor intensidad sobre el contenido de N-POM y NAN y las variables carbonadas en ambos sistemas de manejo. La respuesta a la intensificación agronómica dependió de la rotación y si de si se hizo el cultivo de servicio, siendo las rotaciones con inclusión de maíz y con cultivos de servicios las que mayor N-POM y NAN tuvieron. Analizada globalmente, la correlación entre NAN y N-POM fue baja. Sin embargo, NAN se mostró más asociado a POM y aún a variables totales como CT y Nt mostrando un desacople entre las fracciones de diferente turn-over. Los resultados parecen indicar que pese a la gran asociación entre los ciclos de N y C globales, el NAN y el N-POM no están tan relacionados como lo están con sus totales sugiriendo que el NAN podría estar leyendo fracciones activas carbonadas y nitrogenadas tanto de POM como de MAOM. *Este proyecto de investigación fue realizado en la Estación Don Eduardo, localizada en Pergamino, provincias de Buenos Aires, con el apoyo financiero de Bayer Crop Science Argentina, a través del convenio de cooperación técnica con la facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

Palabras clave: fracciones activas de C y N, cultivos de servicio, rotaciones, sustentabilidad del suelo





EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN SECUENCIAS CON DIFERENTE INTENSIFICACIÓN

Hasenauer, V.B.^{1*}, V.C. Gregorutti^{1,2}, L.E. Novelli^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER,

*Ruta Pcial. 11, km 10,5;

² INTA EEA Paraná;

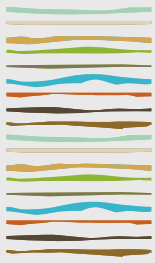
Ruta Pcial 11, km 12,5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos. vero.hasenauer@gmail.com

RESUMEN

El óxido nitroso (N_2O), un potente Gas de Efecto Invernadero (GEI) del cual la agricultura es responsable del 25% de las emisiones, es mediada por la actividad de los microorganismos del suelo. Diversos factores del ambiente y del manejo agronómico modulan su magnitud y vía de producción, entre ellos el contenido de nitratos del suelo y la humedad. En los últimos años, los sistemas productivos en Argentina se han simplificado, con alta proporción de soja en la secuencia de cultivos y pérdidas de servicios ecosistémicos claves. Secuencias de cultivos intensificadas que incluyan cereales, como el maíz, mejorarían la eficiencia del uso de los recursos favoreciendo la salud del suelo, aunque podrían generar mayores emisiones de N_2O debido a la necesidad de aportar nitrógeno (N) a través de la fertilización. Con el objetivo de conocer la emisión de N_2O del cultivo de Maíz en secuencias con diferente intensificación, se realizaron mediciones periódicas con cámaras estáticas en un experimento de larga duración en INTA EEA Paraná. Se utilizaron tres secuencias de cultivos: Arveja/Maíz-Trigo/Soja (Ar/Mz-T/S), Maíz-Trigo/Soja (Mz-T/S) y Maíz-Maíz (Mz-Mz). Simultáneamente, se realizó la determinación de N de nitratos ($N-NO_3^-$) y de humedad en el suelo, en muestras tomadas a 5 cm de profundidad mediante método colorimétrico y gravimétrico, respectivamente. Los valores medios de emisión de N_2O durante el desarrollo del cultivo de maíz fue un 60% menor en la secuencia Mz-Mz con respecto a las secuencias Ar/Mz-T/S y Mz-T/S, aunque sin mostrar diferencias significativas entre ellos ($p=0,17$). Además, no se encontraron diferencias significativas para las emisiones de N_2O entre tratamientos en los diferentes momentos de muestreo ($p=0,31$). En el mismo sentido el flujo de N_2O acumulado durante el desarrollo del maíz en cada secuencia no mostró diferencias significativas ($p=0,099$), siendo de alrededor de $400g N-N_2O ha^{-1}$ en las secuencias Ar/Mz-T/S y Mz-T/S, y de $160 g N-N_2O ha^{-1}$ para la secuencia Mz-Mz. El contenido medio de $N-NO_3^-$ del suelo fue significativamente menor ($p<0,001$) en la secuencia Ar/Mz-T/S ($11 kg N-NO_3 ha^{-1}$) respecto al resto de los tratamientos, cuyos valores fueron de 24 y $30 kg N-NO_3 ha^{-1}$ para las secuencias Mz-Mz y Mz-T/S, respectivamente. Las variaciones en la humedad del suelo se relacionaron con las precipitaciones ocurridas en el periodo de estudio, encontrándose diferencias significativas entre momentos de muestreo ($p<0,0001$). Los valores medios de humedad de suelo fueron significativamente diferentes entre tratamientos ($p<0,001$), siendo 21% en la secuencia Arv/Mz-Tr/Sj, 25% en Mz-T/S y 27,7% en Mz-Mz. Si bien se encontraron las menores emisiones en la secuencia Mz-Mz, las diferencias con el resto de las secuencias no fueron significativas, por lo cual intensificar las secuencias sería una estrategia promisoría para mejorar la eficiencia y sustentabilidad de los actuales sistemas agropecuarios. Estos resultados contribuyen a obtener datos a nivel local sobre las emisiones de N_2O en maíz con fertilización nitrogenada en diferentes secuencias y a la vez que son un punto de partida para la generación de nueva información.

Palabras clave: nitrógeno, GEI, emisiones.





IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL ARROYO DE LA ENSENADA

Heinze, C.A.¹, J.J. Gvozdenovich^{1,2}, M.F. Saluzzio¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER; Ruta Provincial. 11 Km. 10.5, E3101 Oro Verde, Entre Ríos

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA;

Ruta Provincial N11, km 12.5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, heinze.camila@inta.gob.ar

RESUMEN

El peligro de erosión es uno de los factores que más limitan la producción agrícola en el país, principalmente hídrica, ocupando más del 50% de la provincia de Entre Ríos. Para el estudio de este problema se han desarrollado modelos paramétricos y multiplicativos que asociados con herramientas de teledetección permiten estimar de forma más eficiente y real la producción de sedimentos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la cantidad de sedimentos que se movilizan por erosión hídrica en la Cuenca del arroyo de La Ensenada, que desemboca en el puerto de Diamante, con el uso y manejo actual y propuesto, mediante la utilización de Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) en conjunto con Sistemas de Información Geográfica (SIG's), para grandes superficies. Se utilizaron imágenes satelitales para corroborar la información y ver los cambios en el uso y cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Para cada uno de los factores de la USLE se digitalizaron, midieron y confeccionaron los mapas con QGIS, a su vez se utilizó la información suministrada por los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE). Los mayores valores de pérdida de suelo coinciden con suelos altamente susceptibles a erosionarse y por su ubicación en el paisaje. El 40% de la superficie presenta pérdidas mayores a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con el uso actual, mientras que para la situación propuesta este valor se reduce a un 12%. Lo propuesto, tendiente a conservar el suelo podría evitar el movimiento de sedimentos estimados en $443.492 \text{ Mg año}^{-1}$ dentro de la cuenca que desemboca al puerto de Diamante, lo que podría implicar importantes ahorros de dragado, logrando que el mismo vuelva a instituirse como un puerto de ultramar.

Palabras clave: suelos, erosión, cuenca.

INTRODUCCIÓN

El peligro de erosión es uno de los factores que más gravemente limitan la producción agrícola y las posibilidades de aprovechamiento de la tierra (FAO, 1976, 1983 y 1986).

En la Argentina se estima que un 37,5% del territorio está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica, lo cual representa unas 105 millones de hectáreas. La erosión hídrica es la que más creció en el último cuarto de siglo (PROSA, 2015).

Las intensas lluvias generan erosión hídrica debido a que remueve las capas superiores de suelo, el agua que no alcanza a infiltrar se desplaza hacia ríos y arroyos, pudiendo contener plaguicidas, fertilizantes, nutrientes, rastrojos y otros contaminantes ambientales; impactando de manera negativa en la biodiversidad (Gaitán *et al.*, 2017).

En Entre Ríos, Sasal *et al.* (2015) señala que la superficie afectada por erosión hídrica, representa el 50% del total de la provincia, y se señala que un 15% de la misma está afectada en grado moderado y severo, y un 35% con grado de erosión leve.



La magnitud del problema de degradación de suelos, y particularmente la erosión hídrica, tanto a nivel global como local, pone de manifiesto la relevancia de contar con modelos que permitan estimar en forma precisa la erosión representando la realidad de la forma más exacta posible (Scotta *et al.*, 1986). Entre los modelos disponibles se encuentra la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE - Wischmeier & Smith, 1978), y con su aplicación web para Argentina publicado por Gvozdenovich *et al.* (2015).

El presente trabajo surge como resultado de una beca del Proyecto de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PID), encontrándose en sus inicios, por tal razón los resultados presentados son preliminares. El objetivo fue evaluar la cantidad de sedimentos que se movilizan por erosión hídrica a nivel de cuenca, con el uso y manejo actual y propuesto, mediante la utilización del modelo paramétrico y multiplicativo (USLE) en conjunto con Sistemas de Información Geográfica (SIG's), para grandes superficies.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la cuenca del Arroyo de La Ensenada, en el departamento Diamante (Latitud: -32.0644, Longitud: -60.6425 32° 3' 52" Sur, 60° 38' 33" Oeste), provincia de Entre Ríos. La misma aporta al Río Paraná en puerto de la localidad de Diamante (figura 1).



Figura 1. Ubicación de la Cuenca Arroyo La Ensenada

Se realizó el trabajo utilizando herramientas de SIG's. Las imágenes satelitales de Google Earth se utilizaron para corroborar la información y ver los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. El software utilizado como base fue QGIS, es libre y la versión utilizada fue 3.16, por lo tanto todas las digitalizaciones, medidas y mapas que se presentan a continuación corresponden al mismo, utilizando una proyección de POSGAR 2007 Argentina 5. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se tomó del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar/>), con una resolución espacial de 5 m por píxel, con una distancia entre curvas de nivel de 5 m verticales.

Para delimitar la cuenca se combinaron en QGIS los MDE correspondientes a la cuenca, para obtener las curvas de nivel. El marcado de cauces y caminos se realizó utilizando capas vectoriales y lineales. Para cauces se utilizó como base la red de hidráulica de la provincia (https://www.hidraulica.gob.ar/capas_geograficas.php), actualizando los que habían aumentado su longitud en los últimos años. Y los caminos se digitalizaron por la observación en las imágenes satelitales de Google Earth y Bing Maps. Los datos de longitud de cauces y caminos se pueden obtener de manera directa, mientras que para saber cuánto es la superficie de la cuenca que ocupan los mismos se tomaron valores del ancho en 8 puntos diferentes, para cada clasificación, y se calculó un valor promedio. Con los datos de largo y ancho se obtiene la superficie ocupada por los mismos. Con las curvas de nivel cada 5m verticales, mencionadas anteriormente, se procedió a la división de la cuenca en subcuencas.

La superficie de misceláneas se clasificó en dos categorías: 1. Misceláneas a: correspondiente a poblados y zonas urbanas; 2. Misceláneas b: correspondiente a construcciones rurales, cascos, instalaciones para ganadería, tapers, arboledas, montes, área destinada a reservas para ganado (silos).



Para realizar un análisis detallado de la Cuenca se tomaron dos subcuencas, representativas, donde se determinó con alto grado de precisión la superficie de misceláneas, cauces, caminos y sistematizada. Datos que se extrapolaron al resto de la cuenca para estimar la pérdida de suelo total.

Con esta información se procedió a calcular todos los factores de la USLE. Para el factor R se realizó un promedio ponderado considerando los valores correspondientes a cada departamento (Paraná y Diamante), con la superficie participante de cada uno (Donda *et al.*, 2018). El factor K se calculó tomando el valor correspondiente a cada serie de suelo utilizando la información disponible en GeoINTA y utilizando la aplicación INTA USLE RUSLE 2.1. Para el factor LS se utilizaron los datos arrojados por SAGA GIS mediante un cálculo hecho con la herramienta de Geo-proceso, denominado análisis del terreno, en la sección hidrología, índice topográfico, con la fórmula de Desmet & Govers (1996) y Gvozdenovich & Saluzzio, 2016.

Para el Factor C se tomaron los datos publicados por Scotta & Gvozdenovich 2014. Y mediante imágenes satelitales provistas por el SIBER (comunicación personal con del director Ing. Agr. Pablo Fontanini) y de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (BCER) (comunicación personal con del director Ing. Agr. Héctor Martínez), se determinó el uso actual de la cuenca con la superficie implicada en cada cultivo, y se calculó el Factor C ponderado que afecta a toda la cuenca. Los valores de C correspondientes a cada cultivo son: Trigo/Soja: 0,0393; Soja: 0,13; Maíz: 0,1. El factor P, se calculó realizando una evaluación del estado de sistematización de la cuenca. Luego de identificar cada lote sistematizado en las dos subcuencas identificadas como representativas. Los criterios utilizados fueron los publicados por Gvozdenovich *et al.* (2020). Para este trabajo, se asignó un valor P = 0,5 para el estado Muy Bueno (MB), Bueno (B) corresponde a 0,7, Regular (R) P = 0,8 y para Malo (M) P = 1, valor que también corresponde para toda la superficie sin sistematizar. Mientras que para el cálculo de pérdida de suelo con toda la cuenca sistematizada se asignó un Factor P objetivo de 0,5, sin modificar el valor L.

El software permite la multiplicación de las capas raster de todos los factores de la USLE dándonos el valor de Mg de suelo perdidos por ha por año, a su vez nos brinda la información de la superficie representada en los pixeles que tienen valores similares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al obtener el límite de la cuenca como se observa en la figura 2, la misma tiene una superficie total de 79.192 ha. También podemos ver en la figura 2.a, que el cauce principal tiene un recorrido de 50 km, y es el que le da el nombre a la cuenca, los cauces secundarios aportantes, suman 618 km. Se hizo visible un crecimiento de los mismos respecto a las últimas publicaciones oficiales de hidráulica de la provincia lo que denota que los procesos de erosión hídrica están activos. Cabe destacar que la diferencia de cota entre el punto más alto y más bajo es de 100 m. En la figura 2.b, se muestran las digitalizaciones de rutas, caminos principales (afirmados) y caminos secundarios (tierra). La longitud expresada en km para las vías de comunicación es de 588 km, de los cuales 69 km son rutas asfaltadas, 244 km corresponden a caminos principales y 275 km a caminos secundarios.

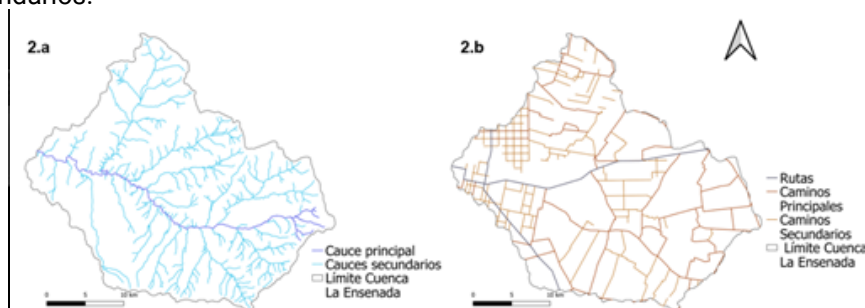


Figura 2. Límite de Cuenca La Ensenada; a. cauces principal y secundarios; b. vías de comunicación.

La superficie ocupada por los arroyos es de 3.626 ha, las vías de comunicación abarcan una superficie de 698 ha, y las misceláneas de 3.542 ha. Arrojando un valor total de superficie aprovechable de 71.326 ha, que representa un 90 %.



En la figura 3 se presentan las subcuencas correspondientes a la cuenca del Arroyo de La Ensenada, sumando un total de 51 subcuencas.

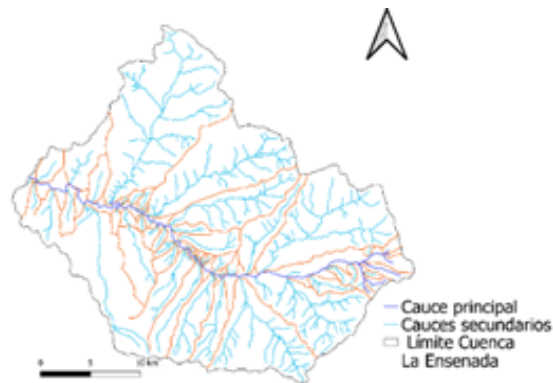


Figura 3. Subcuencas delimitadas por líneas rojas.

El Factor R que se aplicó para toda la cuenca La Ensenada, es 629.

Para el Factor K, como se observa en la figura 4, los valores oscilan entre 0,26 y 0,66. Los suelos característicos de la cuenca son: Argiudol vértico, Argiudol ácuico, Argiudol cumúlico, Peluderte árgico, entre otros suelos menores.

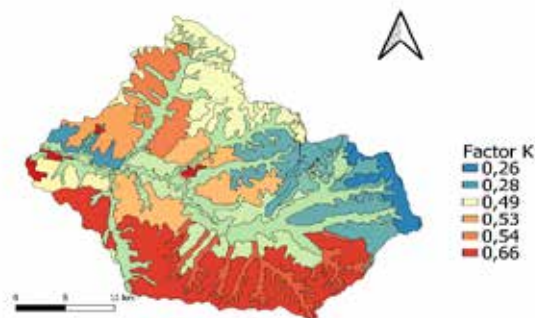


Figura 4. Factor K correspondiente a cada serie de suelo.

En la figura 5 se observa el Factor LS, cuyos valores oscilan entre 0,001 y 2,5, coincidiendo las zonas de mayor pendiente y menor longitud con los máximos valores, que corresponden a la zona de salida de la cuenca y zonas aledañas a los cauces.

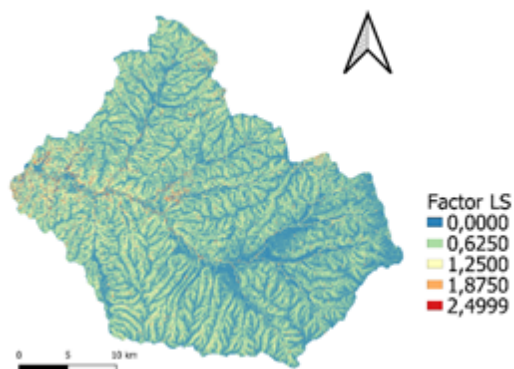


Figura 5. Factor LS

La rotación agrícola en la Cuenca es Soja de primera - Trigo / Soja de segunda - Maíz de primera. El valor para el Factor C ponderado es de 0,075, que fue el utilizado para el cálculo de pérdida de suelo en toda la cuenca. El Factor P tomó un valor final de 0,847.

Teniendo todos los factores que forman parte de la ecuación para la estimación de pérdida de suelo, se procedió al cálculo. En la figura 6 se presentan los valores de pérdida de suelo estimados en $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para el manejo actual. Los mayores valores de pérdida de suelo son representados en color rojo, coincidiendo con suelos altamente susceptibles a erosionarse y su ubicación en el paisaje, con pendientes cortas y pronunciadas.

Se puede observar que el 9% de la superficie pierde menos de $2,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, el 18% entre $2,5$ a $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, el 33% entre 5 a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y el 40% restante presenta pérdidas mayores a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (superando el límite tolerable).

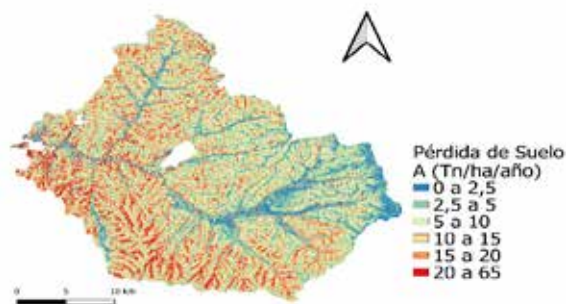


Figura 6. Pérdida de suelo actual en la cuenca ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

En la figura 7 se presenta la pérdida de suelo con la totalidad de la cuenca sistematizada, obteniendo un valor P ponderado = 0,67. Mientras que en el factor C, se incorporó cultivos de cobertura (CC), quedando una rotación CC/Soja de primera - Trigo / Soja de segunda – Cultivo de Cobertura/Maíz de primera, C ponderado = 0.052. El factor LS no fue modificado por causa de que al ser una superficie tan grande es complejo evaluar a nivel de lote cual sería el impacto al disminuir la longitud de pendiente para cada caso particular, por lo tanto los valores presentados de pérdida de suelo en toda la cuenca sistematizada pueden estar sobrestimados.

Al comparar las dos situaciones (actual vs propuesta), observamos que un 40% de la superficie de la cuenca supera los $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que, al sistematizar toda la cuenca, solo el 12% de la superficie supera ese valor. Es decir, que aproximadamente 68.000 ha se encontrarían con pérdidas de suelo por debajo de los límites tolerables.

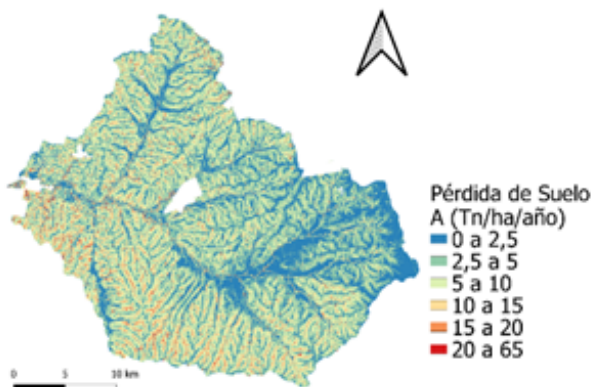


Figura 7. Pérdida de suelo con sistema propuesto ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

Con los datos presentados anteriormente se puede realizar el análisis de cuantos Mega gramos de suelo menos se aportarían a la desembocadura del Arroyo de La Ensenada, solo con intensificar la rotación y realizar prácticas de conservación de suelos. Esta disminución sería de 443.492 Mg año⁻¹, mientras que la estimación actual nos da un valor de 892.488 Mg año⁻¹, por lo tanto, disminuirían en un 50% los sedimentos que llegan al puerto de Diamante, valor que esta subestimado debido a que en el factor LS, como se explicó anteriormente, no se modificó la longitud de la pendiente.

CONCLUSIONES

Concluimos que sistematizar la Cuenca del Arroyo de La Ensenada e intensificar la rotación de cultivos, tiene alto impacto sobre la pérdida de suelo.

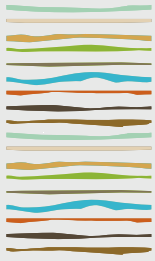
La estimación brindada por el modelo USLE en conjunto con SIG's es útil para el estudio de grandes superficies.

La aplicación del sistema propuesto reduciría en un 50% los Mega gramos de suelo perdidos por año, dejando aproximadamente un 88% de la superficie con valores de pérdida de suelo dentro del límite tolerable. La aplicación de la situación propuesta tendiente a conservar el suelo podría evitar la llegada de 443.492 Mega gramos por año de sedimentos a la salida de la Cuenca del Arroyo de la Ensenada, lo que podría implicar importantes ahorros de dragado en el puerto Diamante, logrando que el mismo vuelva a instituirse como un puerto de ultramar con posibilidades de comercio exterior y los grandes beneficios que esto trae aparejado para toda la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Desmet, P.J.J. & Govers, G. (1996). Un procedimiento GIS para calcular automáticamente el factor USLE LS en unidades de paisaje topográficamente complejas. *Revista de conservación de suelo y agua*, 51 (5), 427-433.
- Donda, M.; Gvozdenovich, J.; Saluzzio M. & Barbagelata P. (2018). Obtención del Factor R de la USLE con el Índice Modificado de Fournier para la región núcleo productiva Argentina. XXVI CACS Tucumán.
- FAO. (1976). A framework for land evaluation. Food and agriculture organization of the United Nations.
- FAO. (1983). World Food Security: a Reappraisal of the Concepts and Approaches. Director Generals Report, Rome
- FAO. (1986). Yearbook of Forest Products 1986 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1988 Forestry Series 21
FAO Statistics Series 81.
- Gaitán, J. J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L. M., Pizarro, M. J., & Carfagno, P. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Edic. INTA.
- Gvozdenovich, J.J., M.F. Saluzzio, & A.C. Pioto. (2020). Evaluación del estado de la sistematización con terrazas en Entre Ríos. XXVII CACS Corrientes.
- Gvozdenovich, J., Barbagelata, P., & López, G. (2015). Erosión Hídrica-USLE/RUSLE Argentina-INTA EEA Paraná. Software, Versión, 2.
- Gvozdenovich J. & M. Saluzzio. (2016). Propuesta de modificación en el cálculo del factor LS de la USLE. Autores: XXV CACS Río Cuarto.
- PROSA. (2015). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo 2, parte 7: Erosión y degradación de suelos. R. Casas & G. Albarracín, editores. ISBN: 9789509149403.
- Sasal M. C.; Wilson M. G.; Bedendo D. J. & Schulz G. A. (2015). Provincia de Entre Ríos. En: "El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina", tomo 2, parte 7: Erosión y degradación de suelos, pp. 111-120. R. Casas & G. Albarracín, editores. ISBN: 9789509149403.
- Scotta & Gvozdenovich. (2014). 28. Factores C para el Modelo USLE. XXIV CACS Bahía Blanca.
- Scotta, E.; Nani, L.; Conde, A.; Rojas, A.; Castañeira, H. & Papparotti, O. (1986). Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. ISSN 0325 – 8882. Serie Didáctica N° 17 - INTA EEA Paraná.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. USDA. Agricultural Research Service Handbook 537. 58 pp.





EL PASTOREO DE CULTIVOS DE COBERTURA: ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN Y CONSERVAR EL SUELO

Hortis, D.C.¹, S. B. Restovich^{2*}, J. O. Scheneiter^{1,3}, J. Mattera³, E. Pacente³, M.J. Beribe^{1,4}, L. Garro⁵

¹ UNNOBA;

^{2*} Grupo Gestión Ambiental EEA INTA Pergamino;

³ Grupo Bovinos EEA INTA Pergamino;

⁴ Departamento de Estadística, EEA INTA Pergamino, Ruta 32 km 4.5, 2700 Pergamino, Buenos Aires; ⁵ Gentos S.A. Ruta N°8 Km 208. Urquiza, Buenos Aires.

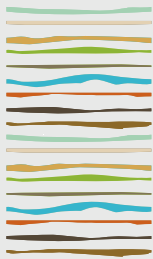
* restovich.silvina@inta.gob.ar

RESUMEN

La integración de la ganadería y la agricultura con el uso de cultivos de cobertura (CC) podría incrementar la provisión de servicios ecosistémicos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del pastoreo de una mezcla de CC (raigrás + vicia + trébol persa + nabo forrajero), durante el invierno-inicio de primavera, sobre el funcionamiento del suelo y la producción de grano y carne. Se realizó un ensayo en el INTA Pergamino (33° 52'S; 60° 33'W), en una secuencia soja-maíz con inclusión de CC bajo siembra directa. Los tratamientos fueron con y sin pastoreo del CC, dispuestos en un diseño en bloques (n=3). El pastoreo de los CC fue en franjas bajo un sistema rotativo. El maíz se fertilizó con 50 kg N ha⁻¹ en V₄₋₆. Luego de dos ciclos de la secuencia soja-maíz con y sin pastoreo del CC (2018-2020), se extrajeron muestras disturbadas de suelo para determinar estabilidad de agregados (EE), carbono orgánico del suelo (COS), nitrógeno orgánico del suelo (NOS) y carbono orgánico particulado (COP) y no disturbadas para determinar densidad aparente (DAP) a 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad. Al momento del secado del CC y a la cosecha de soja y maíz, se tomaron muestras de material vegetal para determinar biomasa aérea y rendimiento en grano, respectivamente. Los animales se pesaron al inicio y al final de cada periodo de pastoreo y se estimó la ganancia diaria de peso y la producción de carne. Luego de dos años, las concentraciones de COS, NOS y COP no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las profundidades evaluadas (0-5 cm: 24,2-2,5-0,6 g kg⁻¹; 5-10 cm: 18,6-1,9-0,2 g kg⁻¹; 10-20 cm: 15,8-1,7-0,15 g kg⁻¹; 20-30 cm: 11,7-1,2-0,08 g kg⁻¹). La EE fue mayor bajo pastoreo del CC versus sin pastoreo en la profundidad 10-20 cm (29 y 23 %, respectivamente). En la profundidad 0-5 cm, se observó mayor DAP en la secuencia soja-maíz con pastoreo versus sin pastoreo del CC (1,08 y 1,16 g cm⁻³, respectivamente). La mayor producción de biomasa aérea se observó en las parcelas de CC sin pastoreo en los dos años evaluados (2018: 9,0 vs 3,3 kg ha⁻¹; 2019: 6,5 vs 2,1 kg ha⁻¹). El rendimiento de soja fue similar entre tratamientos (5,9 Mg ha⁻¹) mientras que el rendimiento de maíz fue mayor en las parcelas con CC pastoreadas con respecto a las no pastoreadas (10,7 vs 8,7 Mg ha⁻¹). La ganancia diaria de peso fue similar entre años (1,1 kg día⁻¹ animal⁻¹) y con una producción media de 403 kg de carne ha⁻¹. La integración de la ganadería en sistemas agrícolas a través del uso de CC representa una oportunidad para diseñar sistemas de producción complementarios que favorezcan la sustentabilidad ambiental y productiva en el corto plazo. No obstante, es necesario evaluar su uso sobre el ciclado de C y N edáfico a largo plazo para identificar prácticas que mitiguen el cambio climático.

Palabras clave: cultivo de cobertura, pastoreo, producción, sustentabilidad





CULTIVO DE LECHUGA REGADA CON AGUA DE DIFERENTES CALIDADES. EFECTOS ACUMULADOS

Huespe, D.S.^{1*}, J.A. Galantini², C. Álvarez³

¹⁻³EEA INTA "Guillermo Covas" Anguil, La Pampa

* Ruta Nacional 5, km 580 (6326), huespe.daiana@inta.gob.ar;

²Comision de investigaciones científicas (CIC), CERZOS, Dpto. Agronomía (UNS), San Andrés 800,8000 Bahía Blanca, Buenos Aires.

RESUMEN

La superficie disponible para realizar cultivos intensivos está limitada a consecuencia del desarrollo urbano y del deterioro del recurso suelo, debido a procesos de salinización y alcalinización. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto acumulado del uso de agua de distinta calidad, acorde a la variabilidad encontrada en el área central de la provincia de La Pampa, sobre la producción de lechuga en dos suelos texturalmente diferentes. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 5 repeticiones. Se evaluaron suelos arenosos (A) y francos arenosos (FA). Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹. Se utilizó agua con conductividad eléctrica (CE) de 1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹ y se evaluó el efecto acumulado durante cuatro ciclos consecutivos. Los resultados mostraron que los tratamientos con 2,0 dS m⁻¹, tuvieron un efecto adverso con un 50% de reducción del rendimiento de la materia seca total, la materia seca aérea, la biomasa de raíces y el % de Canopeo, en el cultivo de lechuga en ambos suelos. El riego con agua salina mostró una tendencia a disminuir los valores de pH en el suelo FA y a aumentar la CE en ambos suelos. El suelo A presentó mayor eficiencia en el uso del agua y mayor velocidad de crecimiento respecto al suelo FA. Incrementos en la salinización de los suelos, demuestra que resulta fundamental incorporar alternativas de manejo según la clase textural para atenuar el efecto sobre los rendimientos del cultivo, evitar el deterioro de los suelos por la acumulación de sales y mejorar la eficiencia del uso del agua.

Palabras clave: Calidad de agua, textura, lechuga.

INTRODUCCION

Actualmente, más del 74% de los suelos dedicados a la agricultura a nivel mundial muestran problemas de salinidad (Argentel *et al.*, 2017). La calidad del agua se evalúa en función de los problemas que potencialmente puede causar su uso sobre los suelos (Pizarro Cabello, 1990; Prieto y Angueira, 1996; Alconada y Minghinelli, 1998). Muguero (2014) y Pla Sentis (2014), definen dos parámetros que determinan la aptitud para el desarrollo de los cultivos, el pH del suelo y la alcalinidad del agua. Al aumentar la concentración de sales en la solución del suelo, las plantas tienen que hacer un gasto extra de energía para absorber el agua, ya que las fuerzas de retención aumentan, este efecto acumulativo trae como consecuencia que la disponibilidad de agua para el cultivo disminuya (Fuentes Yague, 1995; Prieto y Angueira, 1996). En la provincia de La Pampa, el agua de los acuíferos es bicarbonatadas sódicas, con pH de 8-8,5 y CE de 1 a 1,5 dS m⁻¹, superando en algunas zonas estos valores (Lang *et al.*, 2016). El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), es uno de los vegetales de hojas que más se consumen frescos (Siliquini *et al.*, 2017), requiere de suelos ligeros, con buenos contenidos de materia orgánica, buena capacidad de retención de agua, buen drenaje y estructura, para permitir el óptimo desarrollo radicular, y el pH ideal es de 6,6 a 7,8 (Di Benedetto 2005 y Colazo, 2012).



Según Carter (1981) y Grismer *et al.* (2018), la tolerancia a las sales que tiene la lechuga es de 1,3 dS m⁻¹. El rendimiento y la calidad son los factores más afectados por el agua salina (Lang *et al.*, 2016), sin embargo, el productor pampeano, no utiliza técnicas para mejorar la calidad del agua (Ministerio de Producción LP, 2011). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto acumulado del uso de agua de distinta calidad, acorde a la variabilidad encontrada en el área central de la provincia de La Pampa, sobre la producción de lechuga en dos suelos texturalmente diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la huerta demostrativa de la Agencia de extensión rural INTA General Acha, La Pampa, Argentina (37°36'44,381" 64°56'64,995"), Km 28 RN 152, dentro de un túnel alto, en macetas de 1 litro. Se sembró el cultivo de lechuga, variedad Sicilia. La iniciación del ensayo fue a través de plantines provistos por el Centro Regional de Educación Tecnológica (CERET), General Pico. Se evaluó el cultivo durante 4 ciclos consecutivos, durante el año 2020, se realizó el primer ciclo, el cual se desarrolló durante el invierno, seguido por el ciclo 2, en primavera y en el año 2021, se realizó el ciclo 3, en invierno y el ciclo 4 en primavera. El estudio fue sobre dos suelos de texturas diferentes, un suelo arenoso (A) recolectado en el establecimiento rural "Colonia Lía" en General Acha, y un suelo franco arenoso (FA) recolectado en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA. Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹. Para el riego se usó agua proveniente de Chacharramendi, clasificada como clorada cálcica y se diluyó en tres calidades de 1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹.

Caracterización de los suelos evaluados

En los primeros 20 cm de estos suelos, se realizaron las siguientes determinaciones: textura, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica.

Cultivo de lechuga

Se cuantificó la materia seca aérea (MSA), g/m² de maceta maceta⁻¹, la biomasa de raíces (Raíz) y la materia seca total (MST) (suma de la MSA y la Raíz), el % de canopeo (% de cobertura foliar mediante la aplicación "CANOPEO"), y la Relación parte aérea/raíz en cada ciclo. La producción de lechuga, se determinó en un momento de activo crecimiento, sin llegar a un tamaño comercial, pero logrando observar el efecto del agua de riego. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MST (EUA_{MST}, mg mm⁻¹) y la tasa de crecimiento de la MST (TC, mg día⁻¹). Además, se analizó el efecto acumulado en cada ciclo de la MST, EUA y TC.

Diseño experimental

El diseño estadístico fue completamente aleatorizado, con 5 repeticiones.

Los datos se presentan como medias en cada uno de los suelos. Las diferencias en los resultados afectados por las diferentes calidades de agua, así como la interacción entre ellos, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias de tratamientos fue analizada por el test de Fisher con un nivel de significancia del $\alpha \leq 5\%$. El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSION

Suelos

En General Acha el suelo fue de textura A, con 3,2% de arcilla, 8,0% de limo y 88,8% de arena. Mientras que, en Anguil, el suelo fue de textura FA, con 11,8 % de arcilla, 31,8% de limo y 56,3% de arena.

Materia seca total

Se hizo el análisis para cada ciclo en g, en donde se vio una fuerte interacción entre ciclos, posiblemente debido a condiciones ambientales, por lo cual se realizó la corrección de los valores de g a mg mm⁻¹ y se analizó cada ciclo según su índice. Los rendimientos fueron en orden de mayor a menor del ciclo 1er, 3er, 4to y 2do. En ambos años, las estaciones fueron marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses estivales temperaturas medias de 22,8°C, en tanto que en los meses invernales las temperaturas fueron de 19,8°C. Los ciclos 1 y 3, se desarrollaron en meses fríos mientras que los ciclos 2 y 4 atravesaron meses cálidos, por



lo cual se analizó el efecto acumulado en cada ciclo y al finalizar cada ensayo. Se observó que el uso de agua de 2,0 dS m⁻¹, tuvo un efecto adverso sobre la MST, con diferencias significativas entre los tratamientos con agua buena e intermedia (1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respectivamente) respecto al agua de 2,0 dS m⁻¹ con valores de 5,92 a 2,91 g m⁻² (Tabla 1). Se obtuvieron diferencias significativas entre texturas, con valores de 5,82 g m⁻² para el suelo A y de 3,96 g m⁻² para el suelo FA. El suelo FA tuvo menor eficiencia en la producción de MST respecto al suelo A. Los resultados obtenidos coinciden con los valores umbrales reportados por Mass (1986), para la lechuga, que están en el rango de 1,0 a 1,4 dS m⁻¹, y la pendiente para la disminución del rendimiento, desde 6,2% hasta 8% por dS m⁻¹.

Tabla 1: Materia seca total acumulada en 1er, 2do, 3er y 4to ciclos, la TC, EUA_{MST}, TC acumulada y EUA acumulada, del cultivo de lechuga en dos suelos de texturas diferentes.

	Ciclos	CE1.0	CE1.5	CE2.0	A	FA	Sal xTex	Factor A	Factor B
MST g acumulado	1	1,47	ab 1,87	b 0,92	a 1,64	a 1,20	a 0,6839	0,0245	0,1086
	2	2,77	b 3,29	b 1,66	a 3,11	b 2,03	a 0,9237	0,0093	0,0126
	3	4,52	b 4,74	b 2,17	a 4,47	b 3,15	a 0,5801	0,0002	0,0090
	4	5,83	b 5,92	b 2,91	a 5,82	b 3,96	a 0,4101	0,0001	0,0011
TC	1	26,6	ab 33,9	b 16,8	a 29,7	a 21,8	a 0,6841	0,0246	0,1087
	2	42,0	b 45,8	b 23,7	a 47,6	b 26,8	a 0,8765	0,0145	0,0021
	3	42,7	b 35,5	b 12,3	a 33,2	a 27,2	a 0,1420	<0,0001	0,1498
	4	52,5	b 47,1	ab 29,9	a 53,9	b 32,5	a 0,3395	0,0420	0,0063
EUA	1	3,12	ab 3,97	b 1,97	a 3,48	a 2,55	a 0,6861	0,0245	0,1090
	2	2,10	b 2,29	b 1,19	a 2,38	b 1,34	a 0,8762	0,0141	0,0021
	3	4,27	b 3,55	b 1,24	a 3,32	a 2,72	a 0,1433	<0,0001	0,1506
	4	2,34	b 2,10	ab 1,34	a 2,40	b 1,45	a 0,3385	0,0422	0,0064
TC acumulado	1	26,6	ab 33,9	b 16,8	a 29,7	a 21,8	a 0,6841	0,0246	0,1087
	2	15,86	b 17,32	b 8,98	a 17,98	b 10,12	a 0,8766	0,0145	0,0021
	3	14,22	b 11,85	b 4,11	a 11,05	a 9,07	a 0,1421	<0,0001	0,1501
	4	8,86	b 7,96	b 5,05	a 9,10	b 5,49	a 0,3391	0,0420	0,0063
EUA acumulado	1	3,12	ab 3,97	b 1,97	a 3,48	a 2,55	a 0,6861	0,0245	0,1090
	2	1,14	b 1,24	b 0,59	a 1,31	b 0,67	a 0,9340	0,0041	0,0003
	3	1,19	b 0,99	b 0,35	a 0,91	a 0,77	a 0,1197	<0,0001	0,2323
	4	0,73	a 0,66	a 0,49	a 0,72	a 0,53	a 0,4069	0,2101	0,0982

MST, materia seca total (g maceta⁻¹), TC, tasa de crecimiento, EUA, eficiencia del uso del agua. CE1.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1.5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. A, arenoso, FA, franco arenoso. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). Factor A: Salinidad. Factor B: Textura.

Eficiencia del uso del agua y Tasas de crecimiento

Los valores obtenidos para el suelo A fue de 3,48 a 2,40 mg mm⁻¹, mientras que para el suelo FA fue inferior, en un rango de 2,55 a 1,45 mg mm⁻¹. En los tratamientos regados con agua con CE de 2,0 dS m⁻¹, en el 4to ciclo presentó menor producción que xx, con diferencias significativas (p<0,05) respecto a los demás tratamientos. La lechuga en el suelo A presentó una EUA mayor que en el suelo FA, con diferencias significativas entre sí (p<0,05) (Tabla 1). La lechuga en el suelo FA presentó una menor velocidad de crecimiento respecto al suelo A. Se encontraron diferencias significativas (p<0,05), entre los tratamientos que fueron regados con agua de 1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respecto a los tratamientos con agua de 2,0 dS m⁻¹ calidad (Tabla 1). En concordancia a lo hallado por Carranza *et al.* (2009), quienes determinaron que la salinidad presente en los suelos de Marango ocasiona una reducción en los parámetros de crecimiento en lechuga.

Materia seca aérea, Biomasa de raíces y Relación parte aérea/raíz

Se analizó el efecto acumulado de la MSA en la lechuga y se obtuvieron diferencias significativas (p<0,05) entre los tratamientos con agua de diferente calidad, siendo menor la MSA en los tratamientos regados con agua de 2,0 dS m⁻¹. Se registraron valores promedios en ambos suelos de 3,22 g (1,5 dS m⁻¹) y 1,62 g (2,0 dS



m⁻¹). Los valores obtenidos fueron de 3,31 g y 2,02 g para los suelos A y FA respectivamente, la calidad del agua tuvo mayor efecto adverso en el suelo FA en comparación con el suelo A. Además, se obtuvo un porcentaje de pérdida de la MSA en los tratamientos con agua de 2,0 dS m⁻¹ calidad del 51% respecto al testigo. Al igual que Carassay *et al.* (2013), quienes han observado disminución de hasta 60% de los rendimientos en lechuga a causa del riego con agua salina en La Pampa. Se obtuvieron valores de Raíz de 2,50 g en el suelo A y de 1,94 g en el suelo FA con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos que recibieron agua de mala calidad respecto a los demás tratamientos, tanto en el suelo A como en el suelo FA. La TC de la Raíz, no mostró diferencias estadísticas debido a las texturas. Para la relación entre la parte aérea y la biomasa de raíces, no se observaron diferencias significativas por efecto del uso de agua salina.

Porcentaje de canopeo

En el suelo A, el valor máximo se obtuvo con los tratamientos con agua de intermedia calidad (51,8%), mientras que el mínimo fue (29,2%) con los tratamientos con (2 dSm⁻¹). En cambio, en el suelo FA el valor máximo se obtuvo con el agua de mejor calidad (32,6%) y el valor mínimo (10,3%) para el agua de 2,0 dS m⁻¹. En ambos suelos se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos con agua de 1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respecto a los tratamientos regados con 2,0 dS m⁻¹.

Efecto acumulado en el suelo

Al finalizar los 4 ciclos, se observó una disminución del pH en el suelo A con valores de 7,71 a 6,94 con agua de 1 y 2 dS m⁻¹ respectivamente, sin diferencias entre tratamientos. En el suelo FA se encontró un aumento del pH por el uso de agua salina, con valores de 5,82 a 6,12 m⁻¹ con agua de 1 y 2 dS m⁻¹ respectivamente, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. La CE del suelo A y FA se incrementó a causa del riego con agua de mala calidad. En cuanto a la CE del agua lixiviada, en el suelo A se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos de 1,0 y 1,5 dS m⁻¹ respecto al agua salina, con valores de 5,17 y 8,17 para el agua de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. En el suelo FA, los valores fueron de 4,37 y 8,16 para el agua de 1,0 dS m⁻¹ y 2,0 dS m⁻¹ respectivamente. Muguero (2014), comprobó que al incrementarse la CEa y CE se reduce el potencial de rendimiento del cultivo de lechuga. Según Balcaza (2000), en los cultivos bajo cubierta es común que aparezcan altos niveles de sales a causa del riego que, aunque originalmente no sean salinas, con la falta de lavado, generan acumulación de sales en el suelo, y el problema se agrava cuando las aguas son de 2,0 dS m⁻¹. Andriulo *et al.*, (1998) estudió el riego durante 11 años con aguas bicarbonatadas sódicas (CE 1 dS m⁻¹ y RAS 10,6) y determinó en un Argiudol típico de Pergamino que se duplicó la CE, el PSI se sextuplicó y el pH del suelo aumentó en una unidad.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con agua de 2,0 dS m⁻¹ tuvieron una reducción del 50% sobre los parámetros en los 4 ciclos y en ambos suelos evaluados. La calidad del agua tuvo mayor efecto adverso sobre el suelo FA respecto al A, con diferencias significativas en todas las variables. El suelo A presentó mayor EUA y mayor velocidad de crecimiento que el suelo FA. Se registraron tendencias a la salinización de los suelos. Es fundamental incorporar alternativas de manejo que consideren la clase textural, que permitan atenuar el efecto adverso del uso de agua salina para mejorar los rendimientos del cultivo, evitar el deterioro de los suelos por la acumulación de sales y mejorar la EUA.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Servicios Analíticos de suelos, plantas y ambiente, LABSPA, al laboratorio de suelo y agua de la EEA INTA Anguil por su colaboración en el ensayo y al CERET por el aporte de plantines para el desarrollo del estudio.

BIBLIOGRAFIA

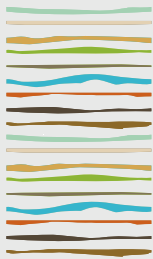
- Alconada, M., y Minghinelli, F. 1998. Calidad de agua de riego según diferentes criterios: influencia sobre la salinización-alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el gran La Plata. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 229-230.
- Andriulo, A., Galetto, M.L., Ferreyra, C., Cordone, G., Sasal, C., Abrego, F., Galina, J., y Rimatori, F. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: propiedades físico-químicas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.



Villa Carlos Paz 247-258.

- Argentel, M.L., Fonseca, R.I., Garatuza, P.J., Yépez, G.E., González, A.J. 2017. Efecto de la salinidad en callos de variedades de trigo durante el cultivo in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 477-488.
- Balcaza, L. 2000. Importancia de la calidad del agua de riego en los cultivos bajo cubierta. *Boletín electrónico, EEA INTA San Pedro*.
- Carassay, L.R., Siliquini, O.A., Bartel, A., Rebollo, A., Ponce, J.P., Collazo, M., y Baudino, E. 2013. Efecto de la salinidad sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero en la provincia de La Pampa. XXXVI Congreso Argentino de Horticultura y II Congreso Internacional de Plásticos Agrícolas. Tucumán. ISSN 1851-9342.R 53.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., y Chaves, B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana* 27(1), 41-48.
- Carter, D. L. 1981. Salinity and plant productivity, en: *Handbook Series in Nutrition and Food*. Chemical Rubber Co. Pp. 146-151.
- Colazo, M.J. 2012. Efecto de dos abonos orgánicos sobre propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. crispa var. Brisa), en un haplustol éntico, Santa Rosa, La Pampa". Tesis de grado Universidad Nacional de La Pampa.
- Di Benedetto, A. 2005. "Manejo de Cultivos Hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas". Cap. 2. Orientación Gráfica Editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fuentes Yagüe, J.L. 1995. Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura. España.
- Grismer, M. E., y Bali, K.M. 2018. Agua salina drenada para la producción de cultivos. ANR Publicación 8410. Universidad de California, Agricultura y Recursos Naturales.
- Lang, M. 2016. Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego en suelos de la región semiárida pampeana sobre el rendimiento de lechuga bajo invernadero. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Cuyo.
- Lang, M., Lipinski, V., y Balcaza, L. 2013. Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. *Horticultura Argentina* 32-42.
- Maas, E. 1986. Salt tolerance of plant. *Applied Agricultural Research* 1: 12-26.
- Ministerio de Producción del Gobierno de La Pampa. 2011. Encuesta hortícola provincial. Pp. 5.
- Muguero, F. A. 2014. Rehabilitación de suelos con impedimentos físicos de uso hortícola degradados por riego con aguas bicarbonatadas sódicas. Tesis Magister en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral.
- Pla Sentis, I. 2014. Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4):50-63. WASWAC.
- Pizarro Cabello, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2da edición. Madrid. Ediciones. MundiPrensa. 471 p.
- Prieto, D., y Angueira, C. 1996. Calidad de agua para riego. Módulo II. Curso a distancia de "Métodos de riego". INTA-Procadis. Programa clima y agua. 94 p.
- Siliquini, O.A., Pereyra Cardozo, M., Lobartini, J.C., Orioli, G.A., Quiriban, A.E., Ponce, J.P., y Riestra, D.R. 2017. Tolerancia de plantines de distintos genotipos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) al riego con agua de alto contenido en sales. 2017. SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 27(2): 59:66 ISSN 23624337. 6300. Santa Rosa Argentina. ISSN 24084077. DOI: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2017\(02\).5966](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2017(02).5966).





LECHUGA REGADA CON AGUA DE DIFERENTE CALIDAD. EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO

Huespe, D.S.^{1*}, J.A. Galantini², C. Alvarez¹

¹EAA INTA "Guillermo Covas" Anguil, La Pampa, Ruta Nacional 5, km 580 (6326),

²Comisión de investigaciones científicas (CIC), CERZOS, Dpto. Agronomía (UNS), Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

huespe.daiana@inta.gob.ar

RESUMEN

En la provincia de La Pampa, la demanda de productos hortícolas ha provocado que la producción de hortalizas tenga un amplio crecimiento, tanto bajo cubierta como al aire libre. El agua es bicarbonatada sódica, con pH de 8-8,5 y conductividades eléctricas de 1 a 1,5 dS m⁻¹, superando en algunas zonas estos valores. El objetivo de este estudio, fue evaluar el crecimiento de lechuga en dos suelos texturalmente distintos regados con agua de diferente calidad y evaluar el efecto de la estación del año, en la región central de La Pampa. Se hizo un ensayo con un diseño completamente aleatorizado, y se evaluaron dos suelos, uno arenoso (A) y otro franco arenoso (FA). Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹, durante dos estaciones del año, primavera e invierno. El agua de riego fue de 1,0, 1,5 y 2,0 dS m⁻¹. En ambos suelos, se vio un efecto adverso por el uso de agua salina con disminución en los valores de materia seca total (MST), materia seca aérea (MSA) y biomasa de raíces con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al riego con agua de buena e intermedia calidad. En el suelo A, se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año en la MSA, Parte aérea/Raíz y la eficiencia de uso del agua (EUA) en donde hubo diferencias significativas entre estaciones, y se obtuvieron mayores valores en invierno respecto a la primavera. En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas en la MST, la MSA, la EUA y la tasa de crecimiento, con valores superiores en invierno respecto a la primavera. Los ciclos desarrollados en invierno fueron de menor duración y mayor rendimiento respecto a los ciclos desarrollados en primavera.

Palabras clave: estación del año, lechuga, calidad agua.

INTRODUCCION

Los invernaderos nacionales se han desarrollado aprovechando estructuras locales existentes o copiando modelos de otras zonas de producción, pero en ningún caso sobre bases científicas para lograr el mejor aprovechamiento climático de cada región en particular (Lenschak *et al.*, 2019). En la Provincia de La Pampa, la producción hortícola representó históricamente una actividad de escasa importancia, pero en los últimos años se ha incrementado el cultivo en forma sostenida, tanto bajo cubierta como al aire libre (Siliquini *et al.*, 2001 y Muguero *et al.*, 2014). El agua utilizada para riego en los emprendimientos productivos es mayormente de origen subterráneo (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011), en general, la calidad no es buena, son aguas salinas, bicarbonatadas-sódicas, con pH que rondan valores de 8-8,5 y conductividades eléctricas que van desde 1 a 1,5 dS m⁻¹ (Lang *et al.*, 2013 y Lang *et al.*, 2016). La lechuga (*Lactuca sativa* L.), es una de las hortalizas de hoja más cultivadas y es muy sensible al déficit hídrico debido a que su sistema radical es poco profundo, efecto que se hace evidente sobre la producción de materia verde, exigiendo niveles hídricos en el suelo cercanos a capacidad de campo (Adrover *et al.*, 2001). Esta restricción implica que el productor riegue con alta frecuencia lo que resulta, en aplicaciones superiores a las necesarias. Además, los productores, no utilizan ninguna técnica para mejorar la calidad del agua (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011). El



objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de lechuga en suelos texturalmente distintos regados con agua de diferente calidad y evaluar el efecto de la estación del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la huerta demostrativa de la Agencia de extensión rural INTA General Acha, La Pampa, Argentina (37°36'44,381" 64°56'64,995"), Km 28 RN 152, bajo condiciones protegidas dentro de un túnel alto, en macetas de 1 litro. Se evaluó el cultivo de lechuga variedad Sicilia. La iniciación del cultivo se realizó a través de plantines provistos del Centro Regional de Educación Tecnológica (CERET), General Pico. Se evaluaron 4 ciclos consecutivos durante dos años, y dos muestras de suelos del horizonte A extraídas de los establecimientos "Colonia Lía", situado a 20 km hacia el Oeste de la localidad de General Acha y de la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA, que presentan una textura arenosa (A) (88,8% arena, 8,0% limo y 3,2% arcilla) y una textura franco arenoso (FA) (11,8% arena, 31,8% limo y 56,3% arcilla) respectivamente. Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹. Se usó agua proveniente de la localidad de Chacharramendi clasificada como clorada cálcica (S1C4) según el diagrama de Piper y se diluyó en 1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹. Durante el año 2020, se realizaron dos ciclos consecutivos del cultivo, el primero se desarrolló durante la estación de invierno, seguido por el ciclo 2, en la primavera. Durante el año 2021, se realizó el ciclo 3, en invierno y el ciclo 4 en primavera. En invierno, se cubrieron los plantines con malla anti helada, mientras que, en primavera, se colocó media sombra negra al 35% por encima de la cobertura plástica, para disminuir las altas temperaturas alcanzadas en el interior del túnel y disminuir los efectos de estrés por calor a los plantines, además, se ventiló de manera permanente a través de las puertas del frente y fondo, con el fin de asegurar la ventilación en el interior del túnel.

Diseño experimental

El diseño estadístico fue completamente aleatorizado, con 5 repeticiones. Los datos se presentan como medias en cada uno de los suelos, A y FA. Las diferencias en los resultados obtenidos afectados por las diferentes calidades de agua, así como la interacción entre ellos, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias de tratamientos fue analizada por el test de Fisher utilizando un nivel de significancia del $\alpha \leq 5\%$. El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2013).

Mediciones meteorológicas

Las variables meteorológicas que se midieron fueron la temperatura media mensual (T°M), la temperatura media máxima (T°MMáx), la temperatura máxima (T°Máx), la temperatura media mínima (T°MMín) y la temperatura mínima (T°Mín), a través de un termómetro colocado en el interior del túnel alto. Además, se utilizó los datos de evapotranspiración de referencia (ET_o), a partir de la estación meteorología situada en la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA, ubicada a 100 km del sitio bajo estudio. Allen et al., (2006) presentan valores de K_c inicial y medio para condiciones al aire libre de 0,70 y 1,00 respectivamente y Gallardo et al., (1996), determinaron valores para el cultivo a campo que variaron entre 0,70 y 0,89. En este estudio, se utilizó el coeficiente K_c de 0,72 empleado por Muguero (2014), en la zona de General Pico, La Pampa.

Cultivo de lechuga

Se evaluó el efecto de la época del año en cada ciclo de lechuga sobre las variables, materia seca aérea (MSA), la cual representa la parte aérea de la planta (hoja y tallo) expresada en g maceta⁻¹, la biomasa de raíces (Raíz), la materia seca total (MST), la cual es la suma de la MSA y la Raíz, el % de canopeo, el cual consistió en la medición del porcentaje de cobertura foliar mediante la aplicación "CANOPEO", y la Relación Parte aérea/Raíz en cada ciclo del cultivo. Se consideró la producción de lechuga sin buscar el tamaño comercial, ya que se cosechó en un momento de activo crecimiento, pero logrando observar el efecto del agua de riego. Se hizo el análisis estadístico para cada ciclo expresado en g, se realizó la corrección de los valores de g a mg mm⁻¹, y se analizó cada ciclo según su índice, debido a una fuerte interacción entre ciclos. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MST (EUA_{MST} mg mm⁻¹) y la tasa de crecimiento de la MST (TC, mg día⁻¹).



RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la estación del año

En ambos años de estudio, las estaciones fueron bien marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses primaverales temperaturas medias de 22,8°C, en tanto que en los meses invernales las temperaturas medias fueron de 19,8°C (Tabla 1).

Tabla 1: Características climáticas registradas durante los ciclos ensayados en los años 2020 y 2021.

Ciclo	Año	Ciclo días	T° M	T°MMáx	T° Máx, T°MMín, T°Mín		
					T° Máx	T°MMín	T°Mín
1	2020	55	22,7	46,0	38,2	0,0	7,3
2	2020	31	22,7	50,0	38,1	0,0	7,3
3	2021	41	17,0	49,0	32,8	-5,0	1,9
4	2021	25	23,0	48,0	37,0	3,0	9,3

T°M, temperatura media. T°MMáx, temperatura media máxima, T°Máx, temperatura máxima, T°MMín, temperatura media mínima, T°Mín, temperatura mínima.

Tanto en el suelo A, como en el suelo FA, se vio un efecto adverso por el uso de agua salina (2,0 dS m⁻¹), con una disminución en los valores de MST, MSA y Raíz, con diferencias significativas (p<0,05) respecto al riego con agua de buena (1,0 dS m⁻¹) e intermedia (1,5 dS m⁻¹) calidad. En el suelo A, no se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año, por lo cual, el comportamiento fue similar en invierno y en primavera, excepto en las variables MSA, Parte aérea/Raíz y EUA, en las cuales hubo diferencias significativas entre estaciones, con valores superiores en el invierno respecto a la primavera (Tabla 2). En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas al comparar las estaciones del año en las variables MST, MSA, EUA y TC, con valores superiores en los meses de invierno respecto a los meses de primavera (Tabla 3). Tales resultados ponen en evidencia menores rendimientos obtenidos en la estación primavera respecto al invierno, posiblemente como resultado de la temperatura, ya que es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Lenschak et al., 2019). Según Lang et al., (2013), la temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga, es de 18°C, con un rango que oscila entre 7 y 24°C, mientras que según Lenscak et al., (2019), el valor óptimo de la temperatura nocturna es de 10-15 °C y el de la temperatura diurna es de 15-20°C. Si bien el sombreado favorece el cultivo de lechuga en invernadero en las épocas cálidas, debido a que permite una rápida implantación con menores requerimientos de reposición y una mayor producción a través de pesos por planta más elevados y menores porcentajes de descarte, según las autoras Francescangeli y Mitidieri (2006), las altas temperaturas en la primavera y el verano dificultan la producción de lechuga en invernadero en toda la región litoral Norte de la Provincia de Buenos Aires.

Tabla 2. Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura A, en cada estación del año y sobre la MST, MSA, EUA, TC, % de Canopeo y Relación Parte aérea/Raíz.

	A								Probabilidad		Interacción
	CE1.0	CE1.5	CE2.0	PRI	INV	Factor A	Factor B				
MST (g)	1,59 _b	1,82 _b	0,96 _a	1,41 _a	1,50 _a	<0,0001	0,4740	0,3524			
MSA (g)	0,90 _b	1,02 _b	0,56 _a	0,72 _a	0,94 _b	0,0015	0,0389	0,2738			
Raíz (g)	0,68 _b	0,80 _b	0,40 _a	0,69 _a	0,56 _a	0,0001	0,0766	0,5477			
Canopeo (%)	44,6 _b	51,1 _b	29,2 _a	45,7 _a	37,6 _a	0,0002	0,0572	0,5006			
EUA	3,16 _b	3,65 _b	1,88 _a	2,39 _a	3,40 _b	<0,0001	0,0001	0,0826			
TC	28,8 _b	33,1 _b	17,4 _a	25,7 _a	27,2 _a	<0,0001	0,4741	0,3524			
Parte aérea/Raíz	1,87 _a	1,64 _a	1,99 _a	1,28 _a	2,39 _b	0,7947	0,0122	0,5895			

MST, materia seca total (g maceta⁻¹), MSA, materia seca aérea (g maceta⁻¹), TC, tasa de crecimiento, EAU, eficiencia del uso del agua. CE1.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1.5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. A, arenoso. PRI, primavera, INV, invierno. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). Factor A: Salinidad. Factor B: Estación.



Tabla 3: Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura FA, en cada estación del año y sobre la MST, MSA, EUA, TC, % de Canopeo y Relación Parte aérea/Raíz.

	FA						Probabilidad		Interacción
	CE1.0	CE1.5	CE2.0	PRI	INV	Factor A	Factor B		
MST (g)	1,33 _b	1,14 _b	0,50 _a	0,82 _a	1,16 _b	0,0002	0,0397	0,3924	
MSA (g)	0,68 _b	0,59 _b	0,25 _a	0,39 _a	0,62 _b	0,0031	0,0323	0,5387	
Raíz (g)	0,65 _b	0,55 _b	0,25 _a	0,43 _a	0,54 _a	0,0024	0,2405	0,3730	
Canopeo (%)	32,6 _b	27,7 _b	10,3 _a	25,2 _a	21,9 _a	0,0005	0,4621	0,8595	
EUA	2,75 _b	2,31 _b	0,99 _a	1,39 _a	2,64 _b	0,0002	0,0004	0,1321	
TC	24,1 _b	20,8 _b	9,1 _a	14,9 _a	21,1 _b	0,0002	0,0397	0,3925	
Parte aérea/Raíz	1,28 _a	1,39 _a	1,02 _a	1,01 _a	1,45 _a	0,5510	0,1252	0,4513	

MST, materia seca total (g maceta⁻¹), MSA, materia seca aérea (g maceta⁻¹), TC, tasa de crecimiento, EUA, eficiencia del uso del agua. CE1.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1.5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. FA, franco arenoso. PRI, primavera, INV, invierno. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). Factor A: Salinidad. Factor B: Estación.

Según Maroto (2000), la duración media del ciclo de lechuga es de 150 días para ciclos invernales y de 120 días para el resto de los ciclos, mientras que según Jackson *et al.*, (1999), el cultivo tiene un ciclo de 70 a 130 días. Para cultivos a campo en Argentina, se han registrado ensayos con variedades de hoja suelta donde la duración media es de 67 días para un ciclo primaveral y de 112 días para un ciclo invernal (de Grazia *et al.*, 2001). En este estudio, los ciclos desarrollados en meses fríos fueron de menor duración respecto a los ciclos desarrollados en los meses cálidos. Tales resultados, coinciden con lo reportado por Francescangeli y Mitidieri (2006), quienes determinaron que en otoño-invierno, la cosecha se realiza a los 45 días en variedades de hoja con rendimientos de 3000-4000 g m⁻¹ y a los 70-80 días en las de cabezas, con rendimientos de 5000-6000 g m⁻¹; mientras que en primavera y verano los ciclos tienen entre 10 y 15 días menos y los rendimientos son menores.

Evapotranspiración

Los diferentes consumos de agua según el ciclo analizado se explicarían por la influencia de la demanda evaporante de la atmósfera, siendo ésta superior en condiciones de mayores temperaturas y radiación (ciclo primaveral). En el ciclo invernal, la evapotranspiración decayó, con valores de 0,0 y 1,4 junto con las temperaturas y la radiación, ocurriendo lo contrario en el ciclo primaveral, en donde los valores fueron de 6,6 y 6,4. Numerosos autores citan consumos de agua entre 52 mm y 125 mm dependiendo de la época del año en que se produzca (Adrover *et al.*, 2001; Ortega *et al.*, 1999; Gallardo *et al.*, 1996). Estos mismos autores establecieron que al variar el suministro de agua no se modifica significativamente la EUA.

CONCLUSION

Hubo un efecto adverso por el uso de agua salina con disminución en los valores de MST, MSA y Raíz, tanto en el suelo A como en el suelo FA.

En el suelo A, hubo diferencias significativas entre estaciones, con valores superiores en invierno en comparación a la primavera, en las variables MSA, Parte aérea/Raíz y EUA. En los demás parámetros no se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año, por lo cual, el comportamiento fue similar en invierno y en primavera. En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas en la MST, la MSA, la EUA y la TC, con valores superiores en los meses de invierno respecto a los meses de primavera.

Se obtuvieron diferentes consumos de agua según el ciclo analizado, siendo superior en la estación primaveral. Los ciclos desarrollados en invierno presentaron menor duración respecto a los ciclos en primavera, y los rendimientos en primavera fueron menores en comparación con los obtenidos en invierno, posiblemente



por la temperatura, ya que es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y desarrollo de las plantas.

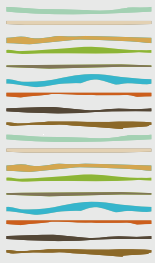
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CERET por el aporte de plantines para el desarrollo de la experiencia. Al Laboratorio de Servicios Analíticos de suelos, plantas y ambiente (LABSPA) y al laboratorio de suelo y agua de la EEA INTA Anguil por la colaboración brindada en algunos análisis realizados.

BIBLIOGRAFIA

- Adrover, M., Miralles, P., Farrús, E., Lladó, G., y Vadell, J. 2001. Aprovechamiento del agua de riego mediante el uso de distintos tipos de acolchado. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. V Jornadas Técnicas. Mallorca, España.
- Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Yrisarry, J.B., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., y Elliott, R. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81: 1-22
- De Grazia, J., Tittonell, P.A., Chiesa, A. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), INIA, España. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, Vol. 16 (3): 355 – 365
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Francescangeli, N., y Mitidieri, M. 2006. El invernadero hortícola estructura y manejo de cultivos. 2da ed. INTA 2006. Pp 46
- Gallardo, M., Jackson, L.E., Schullback, K., Snyder, R., Thompson, R., y Wyland, L. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrig. Sci.* 16:125–137.
- Jackson, L., Mayberry, K., Laemmlein, F., Koike, S., Schulbach, K., Chaney, W. 1999. La producción de lechuga de hoja en California, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 7216 Spanish, Oakland, California, USA. Disponible en <http://vric.ucdavis.edu/selectnewcrop.lettuce.ht>
- Lang, M. 2016. Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego en suelos de la región semiárida pampeana sobre el rendimiento de lechuga bajo invernadero. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Cuyo.
- Lang, M., Lipinski, V., y Balcaza, L. 2013. Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. *Horticultura Argentina* 32 (79) 32-42.
- Lenscak, M.P., e Iglesias, N. 2019. Invernaderos: Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54). INTA Ed. IPAF Región Pampeana.
- Maroto Borrego, J. V. 2000. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi - Prensa, Madrid, España. pp. 208-214.
- Ministerio de la Producción del Gobierno de La Pampa. 2011. Encuesta hortícola provincial. Pp. 5.
- Muguiro, F. A. 2014. Rehabilitación de suelos con impedimentos físicos de uso hortícola degradados por riego con aguas bicarbonatadas sódicas. Tesis Magister en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral.
- Ortega, J.F., De Juan, J.A., Tarjuelo, J.M., Merino, R., Valiente, M. 1999. Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. INIA, España. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, Vol. 14 (3): 325 – 354.
- Siliquini, O., Gregoire, H., y Scarone, J. 2001. Evolución de la producción hortícola en la provincia de La Pampa. XXIV Congreso Argentino de Horticultura. Jujuy Resúmenes. *Horticultura Argentina* 20 (48).





CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO POR INTRODUCCIÓN DE *MISCANTHUS X GIGANTEUS*

Irizar, A.^{1*}, L. Milesi¹, A. Andriulo¹, F. Villalba¹, D. Colombini¹, F. Rimatori¹

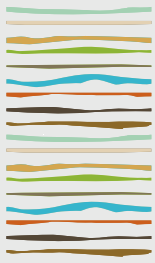
¹ Estación Experimental Agropecuaria de Pergamino, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta 32, km 4,5 (2700) Pergamino, Prov. de Buenos Aires, irizar.alicia@inta.gob.ar.

RESUMEN

Actualmente, la degradación de los suelos constituye una amenaza para más del 40% de la superficie terrestre y los suelos de la Pampa Ondulada no escapan a esta realidad, luego de 120 años de agricultura continua han perdido ~40% de sus reservas originales de COS, con la consecuente disminución de servicios ecosistémicos. Asimismo, la necesidad de desarrollar alternativas energéticas se ha acelerado debido a la crisis energética mundial. En la búsqueda de nuevos sistemas de producción que estimulen los servicios ecosistémicos y colaboren con el desarrollo de una matriz bioenergética regional, la incorporación de *Miscanthus x giganteus* (MxG) se vislumbró como una alternativa promisoría. Esta gramínea C4, originaria de Asia, presenta una alta productividad, requiere pocos insumos, presenta alta eficiencia en el uso de agua y nutrientes y tiene gran capacidad para secuestrar carbono en el suelo (COS) y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de corto plazo de la introducción MxG en un suelo de la serie Pergamino, degradado por monocultivo de soja, sobre las reservas de COS y su abundancia natural del isótopo ¹³C. El tamaño de la parcela fue de 900 m² y el cultivo se implantó con una densidad de 20.000 plantas ha⁻¹. Para estimar las reservas de C y su abundancia natural en ¹³C, se realizaron dos muestreos de suelo, al inicio (2016) y al tercer año del experimento. Se tomaron nueve muestras compuestas a cuatro profundidades (0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm). Los contenidos totales de C y de ¹³C se determinaron en un espectrómetro de masa (VG SIRA9) acoplado con un analizador de C (Carlo Erba NA 1500). La densidad aparente del suelo (dap) se determinó por el método de la arena, adaptado para grandes volúmenes de suelo en los espesores que presentaban rizomas y por el método del cilindro en los que no había rizomas y al inicio. Como existieron diferencias significativas en dap, las reservas de COS se expresaron a una masa de suelo equivalente de 3.360 Mg suelo ha⁻¹. Además, se midió la cantidad de biomasa aérea producida y se muestreó la planta entera para determinar su contenido de carbono (C) y la abundancia natural en ¹³C. Los resultados se contrastaron mediante la prueba t de Student. La producción de biomasa aérea anual fue de 9,7 Mg MS ha⁻¹ y la planta entera presentó 44% de C y una abundancia natural de ¹³C de -13,08‰. El MxG aumentó las reservas de COS en un 7% (55,4 vs. 59,3 Mg ha⁻¹). Este aumento podría deberse al elevado aporte de C que realizan los rizomas, las raíces y las hojas senescentes que caen al suelo antes de la cosecha. El ¹³C mostró que el efecto sobre el COS fue en los primeros 10 cm, pasando de -21,05 a -19,84‰, sin diferencias en las demás profundidades. Si bien estos resultados son de muy corto plazo, muestran el potencial del cultivo de MxG para secuestrar COS y recuperar suelos degradados en nuestra región.

Palabras clave: gramínea perenne, secuestro de carbono, suelos degradados





COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA DETERMINACIÓN DE BIOMASA DE RAÍCES

Kehoe, E¹, F. Salvagiotti¹

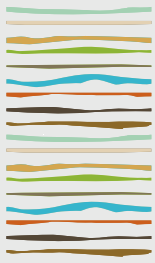
¹CONICET, EEA INTA Oliveros, Grupo manejo de cultivos, suelo y agua.
Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Santa Fe. kehoe.esteban@inta.gob.ar

RESUMEN

La biomasa y composición sub-superficial de los cultivos afectan significativamente al stock de carbono y balances de nutrientes del suelo, por lo tanto, es importante realizar una cuantificación precisa de estas variables. Numerosos estudios han cuantificado la biomasa radical en sistemas experimentales que no reproducen lo que sucede con la biomasa de raíces en los suelos (i.e. maceta, invernaderos), y no reflejan las complejas interacciones suelo-planta. Normalmente las estimaciones para cuantificar la biomasa sub-superficial en condiciones de campo, se basan en muestras de pequeña superficie y volumen de suelo, que permiten una rápida extracción y lavado, pero generan grandes variaciones en los resultados. El objetivo del trabajo fue comparar tres métodos de muestreo a campo para cuantificar la biomasa sub-superficial, bajo la hipótesis que habrá mayor sobre-estimación de biomasa sub-superficial cuando menor es el volumen muestreado. El experimento se realizó en la EEA INTA Oliveros durante la campaña 2019/20 en suelo Argiudol típico. Se evaluó la biomasa aérea y sub-superficial de *Vicia villosa* en floración y madurez fisiológica en dos fechas de siembra (intermedia y tardía), con tres repeticiones, en BCA. La materia seca sub-superficial (raíces y nódulos) se cuantificó en monolitos sin disturbar de 0,52 x 0,35 x 0,3 m (ancho, largo y profundidad), y en cada bloque se tomaron cuatro muestras de raíces con barreno de 16.7 mm de diámetro y cuatro con cilindro de 49.5 mm de diámetro hasta 0.3 m de profundidad (dos en surco y dos en entresurco), definiendo 3 volúmenes de muestreo (barreno 5,77x10⁻⁴m³, cilindro 6,55x10⁻⁵m³, monolito 0,055 m³). Se separaron mediante lavado y filtrado las raíces del suelo, y se secaron. La biomasa aérea se cuantificó sobre la superficie del bloque. En floración, la biomasa aérea alcanzó 9977 kg ha⁻¹ en fecha de siembra intermedia y 6670 kg ha⁻¹ en tardías, mientras la biomasa sub-superficial del monolito fue 1122 y 960 kg ha⁻¹ respectivamente. En fecha de siembra intermedia, la biomasa sub-superficial cuantificada por método del cilindro y barreno fue 84 y 164% mayor respecto la biomasa sub-superficial del monolito, mientras que, en siembra tardía la sobre-estimación fue 47 y 129% mayor respecto al monolito. Independientemente del método de muestreo, las diferencias de biomasa sub-superficial entre fechas de siembras no fueron significativas. En madurez fisiológica no se observaron diferencias en la biomasa aérea (12230 kg ha⁻¹) y sub-superficial (461 kg ha⁻¹) entre fechas de siembra, sin embargo, la medición con cilindro y barreno sobreestimaron la biomasa sub-superficial en 74 y 490% respectivamente en la fecha de siembra intermedia y 66 y 287% en la fecha tardía. El coeficiente de variación de la biomasa sub-superficial fue menor en el muestreo de monolitos (17 y 40% floración y madurez, respectivamente) respecto cilindro (46 y 72%) y barreno (56 y 97%). Por lo tanto, la cuantificación de biomasa sub-superficial debería realizarse por métodos que consideren la mayor superficie posible de muestreo (incluyendo la proporción correcta de raíces sobre la línea y en entresurco), que permiten confirmar una estimación de mayor precisión.

Palabras clave: raíces, monolito, cilindros.





CAMBIOS EN EL CARBONO ORGANICO DEL SUELO POR INTENSIFICACION DE ROTACIONES

Kehoe, E.^{1,2}, S. Bacigaluppo², J.M Enrico², F. Salvagiotti^{1,2*}

¹CONICET, CCT Santa Fe. kehoe.esteban@inta.gob.ar

²EEA INTA Oliveros, Grupo manejo de cultivos, suelo y agua.

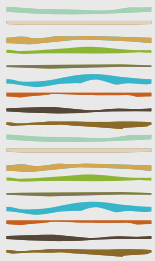
Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Santa Fe.

RESUMEN

Los suelos de la región pampeana Argentina son uno de los más fértiles del mundo, y en las últimas décadas ha aumentado de su progresiva degradación, reflejado por la disminución del contenido de C y N del suelo, reduciendo el aporte, provisión y soporte de muchos servicios ecosistémicos. Estos cambios son resultados de procesos naturalmente lentos que sólo pueden evaluarse en secuencias de cultivo a largo plazo. Por lo tanto, este trabajo propone cuantificar y determinar el efecto de los aportes de biomasa sobre el COS a largo plazo, mediante estudio y mediciones en ensayos de larga duración (ELD). La hipótesis planteada es que: i) la intensificación de rotaciones generará un mayor aporte de carbono de biomasa y en consecuencia mayor contribución al aporte de COS. EL objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivos con distinta participación de gramíneas y leguminosas, incluyendo cultivos de invierno sobre los contenidos de C en diferentes profundidades del suelo a escala de sistema. El trabajo se realizó en un ELD ubicado en la EEA INTA Oliveros, iniciado en 2006, donde se analizaron 6 rotaciones; Soja-Soja, CC/Soja-CC/Soja, Soja-Trigo/Soja-Maíz, CC-Soja-Trigo/Soja-Maíz, Maíz-Trigo/Soja y CC-Maíz-Trigo/Soja. En madurez fisiológica se determinó la producción de biomasa (kg ha^{-1}), de estructuras aéreas vegetativas y granos, para cuantificar los aportes netos de C de residuos. En 2016, 2018 y 2019 se cuantificó el carbono orgánico total del suelo hasta 30 cm de profundidad. Luego de 12 años de las secuencias de rotación, los aportes acumulados de C-vegetativo y las extracciones de C- granos, fueron significativamente diferentes entre rotaciones, siendo el C-vegetativo superior (9 a 121%) a la extracción de C-granos. Los aportes de C-vegetativo variaron de $26,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en monocultivo de soja, hasta $50,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en la secuencia CC-Soja-Trigo/Soja-Maíz. A su vez, las rotaciones intensificadas con CC aportaron 12-53% más C-vegetativo al sistema respecto las no intensificadas, mientras que, las extracciones por cosecha fueron 4-8% inferiores, por menores rendimientos. El análisis estadístico de COT en 2016 no demostró diferencias estadísticas entre rotaciones., y no se observaron diferencias ente años al comparar el COT luego de completarse un nuevo ciclo de cada secuencia (2016-2018 y 2016-2019). Sin embargo, las diferencias entre años demostraron una leve caída en el COT respecto 2016, debido a reducciones en los niveles de COT como consecuencia de la agricultura continua. Las diferencias acumuladas a largo plazo entre los sistemas de rotación demostraron una variación máxima de $3,93 \text{ Mg COP}$. Los contenidos de COT acumulados hasta fueron de $35\text{-}39 \text{ Mg COT ha}^{-1}$. El monocultivo de soja condujo a los menores stocks de COT, que fueron 2-4 % inferior respecto las demás rotaciones, debido a los menores aportes y niveles de productividad de esta rotación, mientras que CC/S-CC/S presento los mayores valores, siendo la rotación con menor diferencia entre C-vegetativo aportado y exportado en grano. La intensificación de las rotaciones, por inclusión de CC produjo aumentos de 5% en los contenidos de COT en la mayoría de las rotaciones.

Palabras clave: carbono, rotación, larga duración.





ACIDEZ ATIVADA E POTENCIAL DO SOLO COMO INDICADOR DE SUA QUALIDADE COMO DIFERENTES MANEJOS EM UMA PLANÍCIE ALUVIAL NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE (SUL DO BRASIL)

Kroner Bresciani Teixeira, A.^{1*}, E. Ribeiro², A.P. Martins³, P.C. Nascimento⁴

¹ Graduanda em Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, aline.kbteixeira@gmail.com;

² Doutora Engenheira Agrônoma;

³ Professora do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

⁴ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

RESUMO

As práticas agrícolas de manejo do solo empregadas no sistema para o crescimento e desenvolvimento das plantas e seus sistemas radiculares, desempenham papel fundamental, podendo alterar as propriedades químicas do solo, como a sua acidez ativa e potencial. Objetivou-se com este estudo a avaliação e comparação de diferentes manejos na planície aluvial do Arroio Dilúvio, localizada na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no município de Porto Alegre (Sul do Brasil). Para a comparação, foram coletadas amostras deformadas de solo em quatro áreas (Mata, Sistema Agroflorestal, Pastagem e Lavoura) nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, para análise do pH em água (relação 1:1, acidez ativa) e do índice SMP (para obtenção da acidez potencial, mensurada pelo H+Al). Observou-se maior modificação na composição vegetal e do solo nas áreas de plantas de lavoura e pastagem, devido ao uso intensivo. Portanto, conclui-se que os diferentes manejos podem proporcionar alterações no solo como degradação, diminuição da qualidade, bem como mudanças significativas no pH e acidez potencial na área.

Palavras chave: manejo do solo, agrofloresta, qualidade do solo.

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas, habitat de organismos, reciclagem de resíduos orgânicos e nutrientes, funcionando como papel ecológico vital na preservação de recursos naturais. As práticas de manejo do solo estão relacionadas aos efeitos diretos e indiretos da qualidade do solo, a qual é definida por propriedades qualitativas ou quantitativas em cada ecossistema caracterizado.

Segundo RHEINHEIMER et al. (2007), em decorrência da remoção da cobertura vegetal e do uso excessivo de mecanização, a capacidade produtiva do solo pode ser comprometida. Conforme o uso agrícola escolhido, os atributos químicos do solo podem alterar, bem como a sua capacidade de assegurar uma produção sustentável, além de um pH do solo mais adequado de acordo com as variáveis analisadas.

Alternativas para reduzir os impactos da mobilização do solo vêm sendo desenvolvidas, devido às avaliações de qualidade do solo referente aos diferentes sistemas produtivos e interação com o ecossistema. Solos com diferentes práticas de manejo podem afetar a disponibilidade de nutrientes como exemplo o estudo feito em solos amazônicos com diferentes preparos RODRIGUES et al. (2017). O objetivo, com a execução deste projeto, foi a avaliação química de atributos ligados à acidez do solo sob diferentes práticas de manejo e comparação de possíveis alterações dos solos da planície aluvial do Arroio Dilúvio no município de Porto Alegre.



MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo estão situadas no município de Porto Alegre, nas imediações da Faculdade de Agronomia (FAGRO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizadas na planície aluvial do Arroio Dilúvio, segundo Silva (2017) os solos presentes apresentam predominância de água durante o ano e foram classificados em áreas de Cambissolo e Gleissolo. Para realização dos objetivos propostos, efetuou-se coletas de solo em quatro áreas (Mata, Sistema Agroflorestal, Pastagem e Plantas de Lavoura), as quais estão estabelecidas atividades cerca de 20 anos, em diferentes profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm para análises químicas e contextualização dos diferentes manejos das áreas de estudo. Análises e levantamentos baseados em materiais de pesquisa relacionados à vegetação natural da região, bem como relatos, revelaram a diversidade da mata ciliar e como ela foi modificada ao longo do tempo.

No município, devido a urbanização, áreas ocupadas próximas ao Arroio Dilúvio, como o campus da Faculdade de Agronomia da UFRGS, proporcionaram mudanças ambientais, sendo utilizadas para atividades de pesquisa com diferentes sistemas e usos do solo. Foram analisados, seguindo o estudo elaborado na dissertação de mestrado de Silva (2017), compreendendo uma Mata Nativa, um Sistema Agroflorestal (SAF), uma área conhecida como Potreiro dos Cavalos (Pastagem) e uma unidade demonstrativa de Plantas de Lavoura. As unidades de paisagem, ou tipos de uso do solo, são empregadas como auxiliares nas atividades de ensino, pesquisa e extensão, e cada uma possui um histórico diferente de uso do solo e cobertura vegetal (Silva et al., 2021).

A Mata é uma área sem uso agropecuário, após o desmatamento teve sua vegetação natural recuperada. O Sistema Agroflorestal foi implantado há mais de 17 anos com o intuito de extensão e pesquisa dos estudantes universitários do Grupo Uma Visão Agronômica com Ideal Agroecológico (UVAIA), contendo vegetação heterogênea de diferentes alturas e com o uso de resíduos vegetais como cobertura do solo. A Pastagem é uma área com gramíneas, com enfoque na pastagem de animais não ruminantes. A área de Plantas de Lavoura é utilizada como espaço de pesquisa, o cultivo de culturas agrícolas é intenso, tal qual a aplicação de herbicidas e mobilização do solo.

O planejamento e a realização consistiram em coletas aleatórias nas quatro unidades com amostras deformadas, com quatro repetições em profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. A área do Sistema Agroflorestal, que foi dividida em nove glebas, efetuado em cada gleba repetições, devido a diversidade de espécies arbóreas obteve 108 amostras coletadas. Após as amostras deformadas de solo serem coletadas e devidamente identificadas, foram secas a 45°-50°C em estufa de ar forçada, moídas e peneiradas em malha de 2 mm. Conforme Tedesco et al. (1995), foi realizada a análise da acidez ativa (pH, com leitura obtida com peagâmetro e relação 1:1 de solo e água) e estimada a acidez potencial [(H+Al, com leitura do índice SMP) e ajuste conforme equação proposta por Kaminski J, Rheinheimer DS, Bartz HR, Gatiboni LC, Bissani CA, Escosteguy PAV. Proposta de nova equação para determinação do valor de H+Al pelo uso do índice SMP em solos do RS e de SC. In: Reunião Anual da ROLAS dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, 33. Frederico Westphalen: 2001. p. 21-26. (Boletim técnico)]. Os resultados obtidos na área da agrofloresta foram analisados através da estatística descritiva com elaboração de gráficos do tipo *box-plot*. Os *outliers* foram desconsiderados e a representação do *box-plot* consistiu em máximo, terceiro quartil, média, mediana (ou segundo quartil), primeiro quartil e mínimo Os resultados obtidos nas áreas de mata lavoura e pastagem foram apresentados somente com a sua média, para fins de comparação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química do solo nas diferentes camadas e manejos de solo estão apresentados em gráficos de acidez ativa (Figura 1) e acidez potencial (Figura 2). As variáveis analisadas apresentam valores de pH, que representam os tipos de manejo realizados. A agrofloresta apresentou uma faixa média de 5,73; 5,84 e 6,00 de pH no solo nas respectivas camadas de 0-10; 10-20; 20-30 cm, estabilizando em uma faixa ideal para a maioria das plantas, provavelmente devido à maior disponibilidade e ciclagem de nutrientes se comparado com as outras áreas. Uma hipótese da agrofloresta apresentar pH maior conforme maior a camada de solo coletada pode ser devido ao uso da área como um aterro de caliças (resíduos de obras, com fragmentos de cal), sofrendo modificações antrópicas. Os resíduos de cal atuaram na correção da acidez



natural do solo, ou seja, aconteceu a redução e liberação de hidrogênio. Assim, como apresenta Silva (2017) o pH passou a ficar mais alto se comparado com as outras áreas.

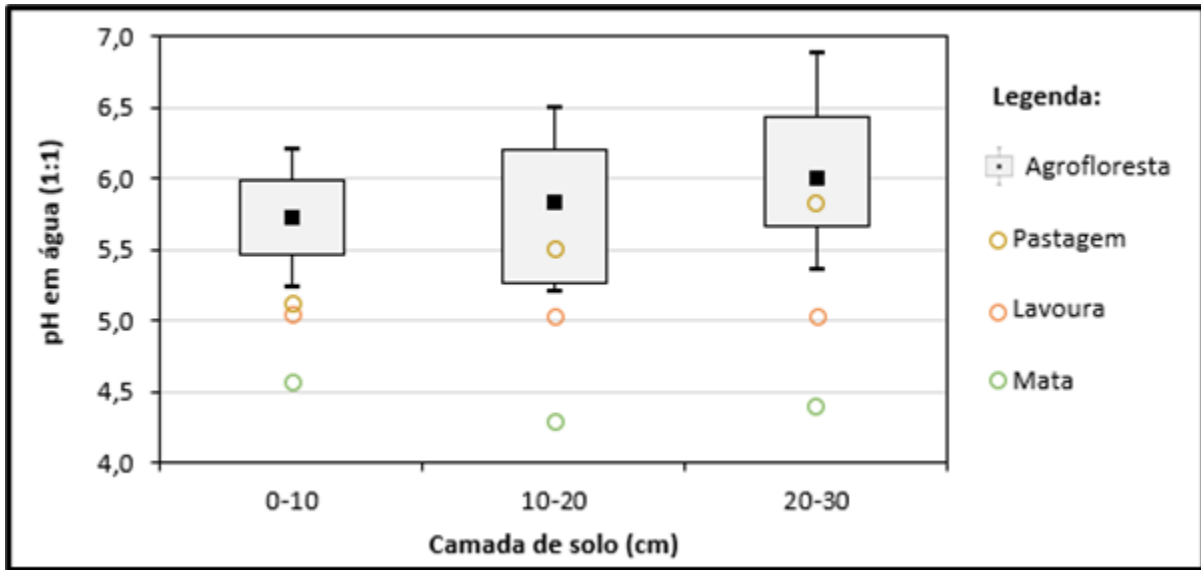


Figura 1. Acidez ativa do solo (pH em água, relação 1:1) em diferentes camadas sob influência do uso da terra em uma planície aluvial de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

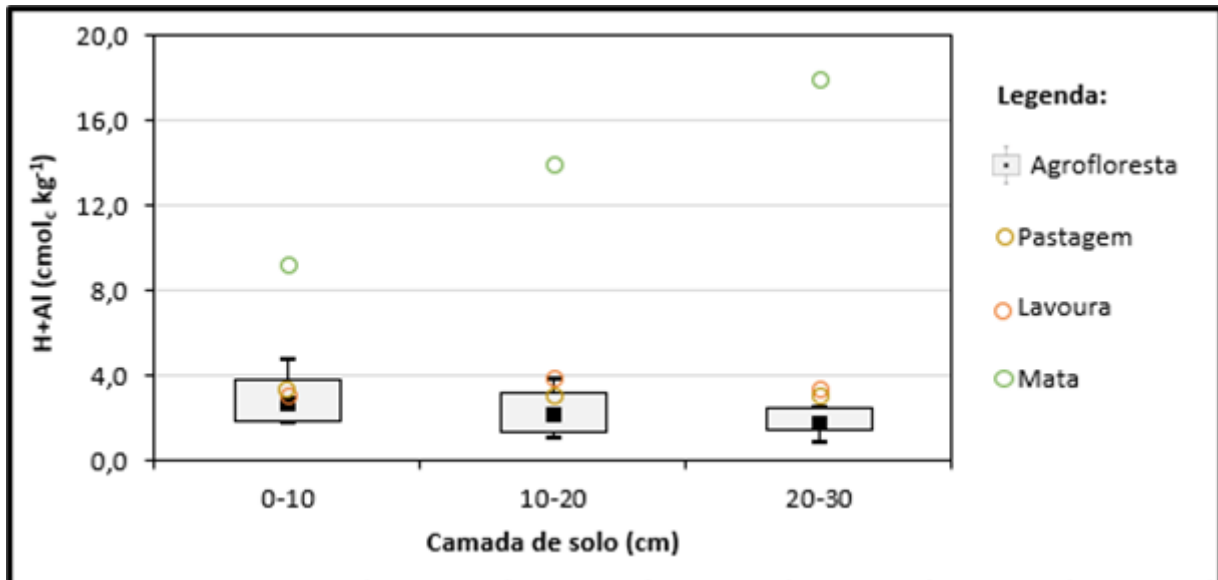


Figura 2. Acidez potencial do solo (H+Al, obtido pelo método do índice SMP) em diferentes camadas sob influência do uso da terra em uma planície aluvial de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Segundo Silva et al. (2021), a área de pastagem tem uma maior densidade do solo devido à falta de manejo das pastagens e compactação causada pelo peso dos animais, gerando um aumento da resistência à penetração na camada superficial. A maior acidez encontrada no solo foi na mata nativa, a qual confirma os dados da dissertação de mestrado de Silva (2017), explicada pela ocorrência natural de resíduos vegetais sem o revolvimento da superfície.

Os solos coletados apresentam variações conforme a profundidade aumenta, indicando que a partir dos depósitos aluviais o solo das áreas é formado. O aumento linear da acidez potencial da mata é devido ao



acúmulo de matéria orgânica (MO), nesse caso a MO é a principal contribuinte para aumentar a acidez potencial. As unidades com intensidade de manejo e uso mobilização do solo obtiveram resultados parecidos nas camadas superficiais. O projeto de pesquisa não foi concluído, devido à pandemia, mas são previstas análises químicas complementares, bem como as análises físicas e biológicas de cada profundidade.

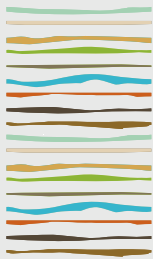
CONCLUSÃO

Os diferentes tipos de solos analisados apresentaram alterações significativas nas variáveis avaliadas relativas ao pH e ao H+Al, indicando que cada unidade está sob quatro manejos e usos diferentes. Os atributos são influenciados pelo sistema de manejo conduzido, tendo as áreas de plantas de lavoura e pastagem apresentando alterações quando comparadas às áreas com vegetação nativa ou com alta diversidade de espécies implementadas no sistema. A partir da comparação das mudanças de manejo utilizadas na planície aluvial do Arroio Dilúvio, apresentam resultados que a degradação pode ocasionar impactos nos atributos da qualidade do solo, acidez ativa e potencial do solo, do mesmo modo que a restauração da vegetação e o manejo sustentável tendem a recuperar os atributos químicos e físicos.

BIBLIOGRAFIA

- Rheinheimer, D. dos S., Rasche, J. W. A., Osorio Filho, B. D. & Silva, L. S. da. (2007). Resposta a aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. *Ciência Rural*. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000200011>
- Ribeiro, E.; Ramos, P. V.; Fruett, T.; Nascimento, P. C.; Chaves, E. (2021). Changes by use and management in alluvial plain soils in southern Brazil. *Research, Society and Development*. [file:///C:/Users/odete/Downloads/23317-Article-282510-1-10-20211207%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/odete/Downloads/23317-Article-282510-1-10-20211207%20(1).pdf)
- Rodrigues, M., Rabêlo, F. H. S., Castro, H. A., Roboredo, D., Carvalho, M. A. C. de & Roque, C. G. (2017). Changes in Chemical properties by use and management of na oxisol in the Amazon Biome. *Revista Caatinga*. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n202rc>
- Silva, E. R. (2017). Caracterização e Classificação de Solos e Alterações por uso e manejo em uma Planície Aluvial do município de Porto Alegre - RS. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/203216/0011107329.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, L. B., Dick, D. P. & Inda Junior, A. V. (2008). Solos subtropicais de altitude: Atributos químicos, teor de matéria orgânica e sua resistência à oxidação química. *Ciência Rural*. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400044>
- Tedesco, M. J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais. (2a ed.), Departamento de Solos UFRGS.





EFFECTOS DE RIEGO COMPLEMENTARIO SOBRE PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE ARGIUDOS DEL SUDESTE BONAERENSE

López de Sabando, M.J.¹, J.M. Gutierrez², C. R. Alvarez³, H Rimski-Korsakov³, M. Díaz-Zorita⁴

¹ INTA Tandil, Rodríguez 370, (7000) Tandil. sabando.marcelo@inta.gob.ar

² CropSoil, (7000) Tandil. gutierrez.juanmartin@gmail.com

³ Facultad de agronomía, FAUBA, Av. San Martín 4453, (C1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires. alvarezc@agro.uba.ar
rimski@agro.uba.ar

⁴ Facultad de agronomía, UNLPam, Ruta Nacional 35 km 334, (6300) Santa Rosa (La Pampa), mdzorita@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

El riego complementario en la región Pampeana permitió incrementar y estabilizar rendimientos de diversos cultivos. Sin embargo, son dispersos y escasos los estudios sobre cambios inducidos por esta práctica sobre algunas propiedades de los suelos y relaciones entre los cambios en las propiedades químicas y los cambios en las propiedades físicas edáficas. Se evaluaron las características edáficas de 23 sitios ubicados en la región sudeste bonaerense con áreas agrícolas de secano y con riego dispuestas apareadas y bajo prácticas similares de manejo productivo. En todos los casos la calidad del agua aplicada fue bicarbonatada sódica clasificada como apta para su uso para riego complementario. En promedio, en las áreas con riego se incrementó la concentración superficial del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en un 174% sobre las áreas no regadas, 0,5 las unidades de pH y 35% en los niveles de conductividad eléctrica. En los sitios bajo riego complementario, la infiltración básica se redujo 62% y la densidad aparente (Dap) fue 6% superior que en condiciones de producción de secano. El aumento en la Dap y consecuente reducción en la infiltración se correlacionó directamente con aumentos en el PSI. Estos resultados validan el deterioro potencial de propiedades físicas en planteos agrícolas intensivos del sudeste bonaerense ante los aportes y acumulación de sodio bajo condiciones de riego complementario.

Palabras clave: Agua bicarbonatada sódica, infiltración, siembra directa, sodio intercambiable, agricultura intensiva.

INTRODUCCION

El riego complementario ha permitido incrementar y estabilizar los rendimientos de los cultivos (Pilatti *et al.*, 2005; Mon *et al.*, 2007). En la región pampeana (Argentina) el riego ha cubierto deficiencias de los cultivos en momentos donde las precipitaciones y el agua acumulada en los suelos son menores a los requerimientos de los cultivos. En general se ha reportado un uso de entre 50 a 200 mm de agua de riego por cultivo (Lavado, 2009).

Los efectos del riego sobre propiedades químicas y físicas de los suelos han mostrado asociación con la cantidad y la calidad de agua utilizada para regar y las características de los sitios donde se realiza. En Pergamino (BA) se han reportado incrementos de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), conductividad eléctrica y pH en los primeros estratos de los suelos luego de 11 años de riego con aguas bicarbonatadas sódicas con relación de absorción de sodio (RAS) de 10,6. Los incrementos de entre cuatro y seis veces en los valores iniciales de PSI correspondieron a 4 y 11 años con riego complementario, respectivamente (Andriulo *et al.*, 1998). Similares resultados fueron observados por Peinemann *et al.* (1998) bajo condiciones experimentales, por Torres Duggan *et al.* (2012) y por Costa y Aparicio (2015) en evaluaciones en lotes de



producción. En estos experimentos, además, se observó que los sitios bajo riego se asociaron con reducción en los niveles de infiltración.

En la región pampeana también se observó relación directa entre la calidad del agua de riego, determinada por la RAS, con los niveles de PSI en los suelos. En condiciones simuladas en laboratorio Aparicio *et al.* (2013) observaron mayores cambios en PSI en los suelos según fueron mayores los niveles de RAS de las aguas utilizadas para riego (RAS 9 y RAS 12,5). Estos autores también observaron efectos de la dilución del agua de riego asociado a niveles de precipitaciones. La mayor inclusión de agua desionizada con efecto de dilución sobre el agua de riego produjo menores incrementos de PSI en los suelos. Integrando estos resultados con nuevos estudios de campo, Costa y Aparicio (2015) mostraron asociaciones estrechas entre los niveles de RAS de las aguas de riego y las precipitaciones y los efectos sobre la disminución de la infiltración de los suelos según tipo de poros. Además, establecieron valores umbrales de RAS para identificar efectos en la disminución de conductividad hidráulica de los suelos.

Si bien se dispone de información de los efectos de riego complementario con aguas bicarbonatadas sódicas sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, resulta necesario establecer relaciones entre los cambios en las propiedades químicas de los suelos y los cambios en las propiedades físicas de los suelos. Para lograr sustentabilidad de la producción con uso de riego complementario es necesario identificar y cuantificar niveles críticos en algunas propiedades químicas de los suelos que permitan predecir cambios en propiedades físicas de los mismos. Los objetivos de este trabajo fueron (i) Cuantificar los cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos por efecto del uso de riego complementario con agua bicarbonatada sódica y (ii) establecer relaciones entre los cambios en las propiedades químicas de los suelos y los cambios en las propiedades físicas de los mismos bajo condiciones de producción del sudeste de la región pampeana en suelos manejados en siembra directa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general y diseño de experimento

Los sitios experimentales fueron 23 lotes ubicados en el sudeste de la región pampeana (Argentina) con variabilidad en la cantidad y calidad de agua utilizada para riego complementario. La lámina de riego acumulada en los últimos 25 años en los sitios tuvo un rango de 180 a 2485 mm. La RAS promedio de las aguas utilizadas en los sitios tuvo un rango de 1,0 a 18,9. Mientras que las precipitaciones promedio anuales presentaron un rango en los sitios de 850 a 1045 mm. En todos los casos el riego complementario se realizó por aspersión con sistema de pivote central (Tabla 1).

El tratamiento seco correspondió a las esquinas del lote que no recibieron riegos (manteniendo las mismas condiciones de cultivo y manejo de éste). El tratamiento riego correspondió al círculo de riego aledaña a las esquinas seleccionadas para las mediciones.

Evaluaciones de las propiedades químicas y físicas de los suelos

Se evaluaron las propiedades químicas en los estratos: 0-10 y 0-20 cm, tomando muestras compuestas de 20 submuestras. Se determinó: materia orgánica (Nelson y Sommers, 1996), contenido de cationes intercambiables por absorción atómica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH y conductividad eléctrica (CE). Se determinó la tasa de infiltración (TI; Soil Quality Institute, 1999; n=4), densidad aparente de 0 a 5 cm (Dap 0-5) y de 10 a 15 cm (Dap 10-15 cm) por método del cilindro (n=3), y estado de la estructura del suelo mediante adaptación de prueba de estallido por Peralta (2008). Las muestras de agua se analizaron utilizando las metodologías propuestas por SAMLA (2004).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de componentes principales, análisis de correlaciones y prueba de t para un diseño apareado. Se evaluó la condición de seco y de riego considerando a cada uno de los sitios como repeticiones. Cuando la variable fue evaluada en distintas profundidades la comparación se realizó dentro de cada profundidad.



Tabla 1: Características principales de la textura, precipitaciones y cantidad y calidad de agua de riego utilizada en cada sitio evaluado. Niveles de arcilla y de limo en los primeros 0,2 m de suelos. Lámina de riego acumulada en áreas bajo riego en los últimos 4 años y en los últimos 25 años y precipitaciones promedio anuales. Calidad de agua de riego: conductividad eléctrica (CE), niveles de calcio (Ca), de magnesio (Mg), de sodio (Na) y de bicarbonatos, y relación de adsorción de sodio.

Sitio	Textura		Riego acumulado			CE dS m ⁻¹	Ca	Mg	Na	Bicarbonatos	Relación adsorción de sodio (RAS)
	Arcilla %	Limo %	4 años	25 años	Precipitaciones anuales mm						
1	27,0	39,0	0	710	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
2	27,0	39,0	307	1489	878	1,12	0,70	0,58	9,35	7,36	11,7
3	34,0	29,0	117	885	878	1,12	0,70	0,58	9,35	7,36	11,7
4	29,0	29,0	194	488	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
5	31,0	37,0	350	1594	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
6	27,0	37,0	0	302	878	1,18	0,45	0,33	10,61	7,97	17,0
7	27,0	31,0	0	431	878	1,21	0,44	0,40	6,96	3,77	10,8
8	29,0	39,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
9	26,0	35,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
10	27,0	37,0	0	500	900	1,17	0,53	0,43	8,97	6,37	12,9
11	29,6	24,5	800	1200	850	0,46	0,69	1,31	4,57	7,54	4,6
12	32,2	24,8	400	600	850	0,46	0,69	1,31	4,57	7,54	4,6
13	24,7	32,4	400	600	850	0,71	0,84	0,64	6,11	7,54	7,1
14	33,4	27,5	390	2485	850	0,75	1,40	1,16	5,35	7,54	4,7
15	22,0	42,0	618	1198	1045	0,83	1,66	1,30	5,85	7,04	4,8
16	27,0	40,0	727	1307	1045	0,72	2,70	2,79	1,61	5,92	1,0
17	24,0	41,0	398	828	1045	0,84	1,50	1,15	5,96	6,10	5,2
18	26,0	41,0	430	430	1045	1,00	1,05	0,74	8,61	7,39	9,1
19	30,3	34,7	340	680	915	2,38	0,96	1,65	21,61	9,16	18,9
20	30,3	34,7	0	140	915	2,38	0,96	1,65	21,61	9,16	18,9
21	39,5	22,0	150	600	850	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
22	27,3	30,3	150	600	850	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
23	25,7	31,5	180	180	980	1,50	1,40	0,85	14,78	9,67	13,9
Promedio	28,5	33,8	259	793	910	1,16	0,95	0,89	9,79	7,54	11,4
Desvío estandar	3,7	5,7	237	528	68	0,47	0,54	0,58	4,91	1,37	5,2

RESULTADOS Y DISCUSION

Calidad del agua de riego

El agua de riego utilizada fue clasificada según Riverside y según FAO (Ayers y Westcot, 1987) como de moderado a alto riesgo de salinización y moderado alto y muy alto riesgo de sodificación. La clasificación desarrollada por INTA para la región de estudio consideró el agua utilizada en la categoría de segura por su conductividad eléctrica y riesgosa por su nivel de RAS. La mayor proporción de los sitios evaluados utilizó aguas clasificadas como de moderado riesgo de sodificación y definidas para uso con precaución (Tabla 1).

Efecto sobre las propiedades químicas de suelos

Los niveles de CE de los suelos fueron bajos (rango 0,09 a 0,35 dS m⁻¹). El riego complementario incrementó los niveles de CE en el estrato de 0 a 20 cm del suelo en promedio 35%. Los incrementos son coincidentes a levemente inferiores a los observados por otros autores en la región pampeana húmeda (Andriulo *et al.*, 1998; Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio 2015). Los valores de CE en áreas bajo riego fueron menores a 2 dS m⁻¹, para la clasificación de Riverside no se observó salinización (Tabla 2).

El PSI se incrementó un 84% en el estrato de 0 a 10 cm y un 174% en el estrato de 0 a 20 cm con riego complementario (Tabla 2). Los valores máximos de PSI observados bajo riego fueron de 5,79 % en el estrato de 0 a 10 cm y de 5,53 % en el estrato de 0 a 20 cm. Los mínimos y máximos incrementos (mínimo -30%, máximo 576%) se observaron en el estrato de 0 a 10 cm del suelo y se asociaron a sitios con riegos de menor lámina acumulada y riegos con mayor lámina acumulada, respectivamente. En coincidencia con la CE, los incrementos observados en el PSI son similares a levemente inferiores a los reportados por otros autores (Andriulo *et al.*, 1998; Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio 2015). Los niveles de PSI máximos alcanzados fueron



menores a los observado por Torres Duggan *et al.* (2012) y por Costa y Aparicio (2015). Los valores de PSI observados fueron menores al límite de 15%. Para los lineamientos de Riverside no se observó sodificación. Sin embargo, según Pilatti *et al.* (2006) y Costa y Aparicio (2015) en suelos con características de la región pampeana los niveles de sodio observados en este trabajo producen efectos la estructura de los suelos y una reducción de la porosidad.

El pH se incrementó significativamente en áreas bajo riego en alrededor 0,5 unidades tanto para el estrato de 0 a 10 cm como para el estrato de 0 a 20 cm. Estos incrementos también fueron observados por otros autores en la región (Torres Duggan *et al.* 2012; Costa y Aparicio, 2015) (Tabla 2).

Tabla 2: Propiedades de suelos en áreas de secano y de riego en estrato de 0 a 10 cm y de 0 a 20 cm del suelo. CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Ca: calcio intercambiable, Mg: magnesio intercambiable, K: potasio intercambiable, Na: sodio intercambiable, CIC: capacidad de intercambio catiónico, PSI: porcentaje de sodio intercambiable.

Propiedades	0-10 cm			0-20 cm		
	Secano	Riego	valor P	Secano	Riego	valor P
pH	5,72	6,11	0,0053	5,63	6,16	0,0002
CE (dS m ⁻¹)	0,17	0,20	0,1195	0,14	0,19	0,0344
MO (%)	5,87	5,33	0,0412	5,50	5,05	0,0739
Ca (meq 100g ⁻¹)	11,68	11,02	0,1667	11,26	11,72	0,4904
Mg (meq 100g ⁻¹)	4,22	3,86	0,5272	3,85	3,66	0,7331
K (meq 100g ⁻¹)	2,82	2,28	0,0516	2,08	1,89	0,2601
Na (meq 100g ⁻¹)	0,37	0,67	0,0008	0,24	0,73	0,0001
CIC (meq 100g ⁻¹)	21,27	21,52	0,8199	19,77	21,62	0,0550
PSI (%)	1,68	3,09	0,0001	1,22	3,34	0,0001

Efecto sobre las propiedades físicas de los suelos

Los principales efectos del riego complementario sobre las propiedades físicas de los suelos se observaron en el aumento de la densidad aparente en el estrato superficial y subsuperficial, en la reducción de la infiltración básica y en la degradación de la estructura del suelo evidenciada por mayor proporción de terrones grandes según el test de estallido. El riego complementario incrementó la densidad aparente superficial y subsuperficial en 6 y 5%, respectivamente (Figura 1a). La infiltración básica se redujo en áreas bajo riego en un 62%. En áreas de secano en promedio la infiltración fue de 114 mm h⁻¹ y en áreas con riego complementario fue de 54 mm h⁻¹ (Figura 1b). Los incrementos de densidad aparente y la reducción por infiltración observados son mayores a los reportados por Torres Duggan *et al.* (2012) donde no se observaron diferencias entre áreas de secano y riego y los rangos de Dap superficial fueron 1,25 a 1,28 Mg m⁻³ y la infiltración fue de 145 a 215 mm h⁻¹.

Las áreas con riego tuvieron mayor proporción de terrones de tamaño grande (mayores a 0,1 m) y medianos (entre 0,1 y 0,05m) que las áreas de secano. Mientras que la proporción de terrones de menor tamaño, menores a 0,05 m, fue menor en las áreas con riego en relación a las áreas de secano. Donde se observó a campo un predominio de tipos estructurales granulares o en bloques subangulares pequeños al momento de la evaluación, coincidieron con una mayor proporción de terrones con diámetros menores a 0,05 m luego de realizado el test del estallido. Los terrones de más de 0,1 m luego de la evaluación presentaron características similares a las estructuras descriptas como tipo masivo por De Battista *et al.* (1994). Los resultados observados, con mayor proporción de terrones de mayor tamaño en áreas con riego, se asocian a condiciones con degradación de estructura de suelos en relación a las áreas sin riego complementario (Peralta, 2008). Similares diagnósticos de degradación de estructura por incorporación de riego complementario fueron observados por Pilatti *et al.* (2006) mediante la evaluación de la estabilidad de agregados en seco y en húmedo en sitios con niveles de materia orgánica menores a los correspondientes a este experimento. Por el contrario, en condiciones de evaluación con niveles de materia orgánica cercanos a los observados en este experimento, Torres Duggan *et al.* (2012) en sitios con incrementos de PSI por riego complementario, no observaron efectos de degradación significativa de estructura de los suelos mediante la evaluación de la estabilidad estructural.



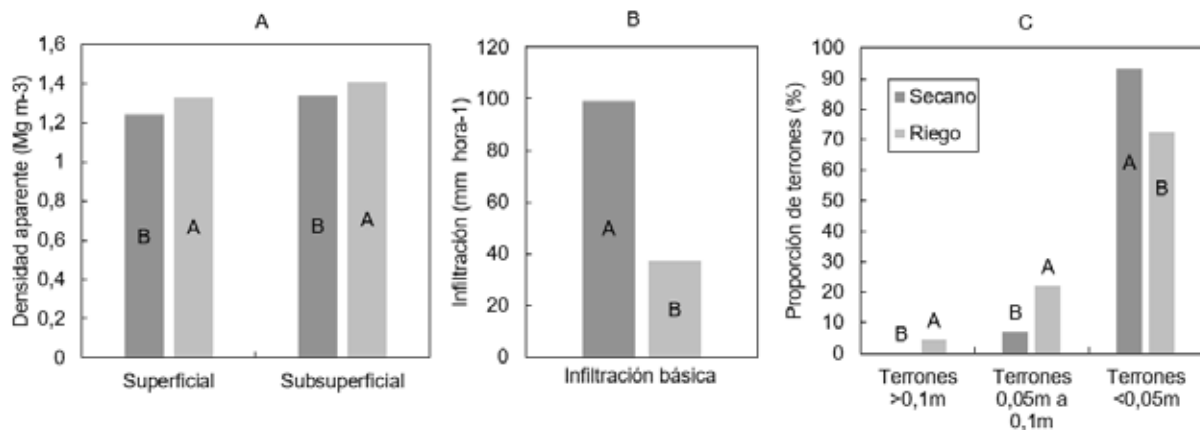


Figura 1: Densidad aparente superficial (estrato de 0 a 5 cm de suelos) y subsuperficial (estrato de 10 a 15 cm de suelos) (A), tasa de infiltración (B) y proporción de terrones según tamaño correspondientes a test de estallido (C) en áreas de secano y áreas bajo riego complementario. Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$.

Relación entre las propiedades químicas y físicas de los suelos

En las condiciones evaluadas el PSI de 0-20 cm del suelo mostró correlación negativa con la infiltración básica, positiva con densidad aparente superficial y negativa con la proporción de terrones de menor tamaño en test de estallido. O sea, los incrementos de PSI se asociaron con la degradación de la fertilidad física de los suelos (Figura 2). Los resultados muestran coincidencia con lo reportado por Peinemann *et al.* (1998), Costa y Aparicio (2015) y Pilatti *et al.* (2006). En todos los casos, los cambios en propiedades químicas de los suelos se asocian a cambios en las propiedades físicas de los suelos.

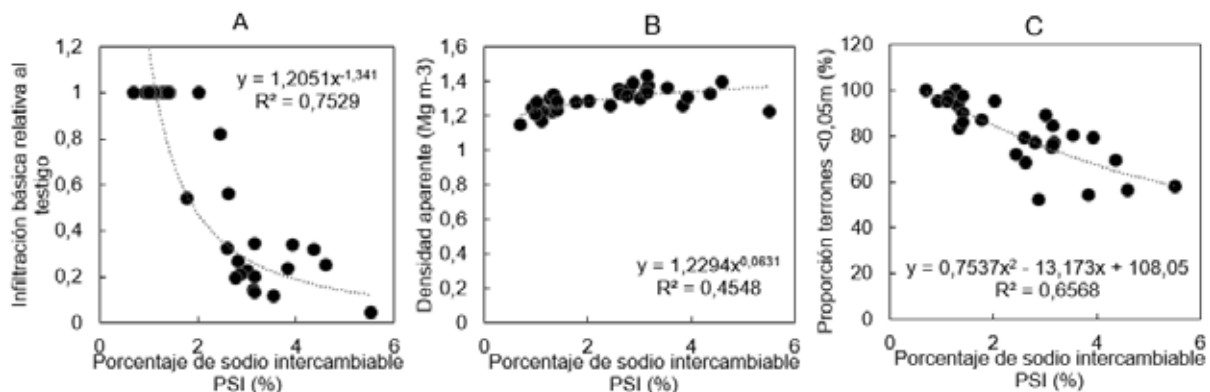


Figura 2: Relación entre la infiltración básica relativa al testigo (A), la densidad aparente superficial en estrato de 0 a 5 cm de suelos (B) y la proporción de terrones menores a 0,05 m en test de estallido (C) según los niveles de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en estrato de 0 a 20 cm de suelos.

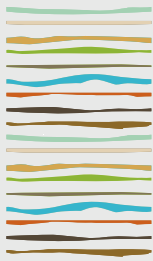
CONCLUSIONES

En las condiciones de este estudio se validaron las observaciones provenientes de otras áreas de la región pampeana en las que se describió que al regar con agua bicarbonatada sódica aumentó el PSI de la capa superficial de los suelos con moderadas modificaciones en los niveles de pH y de la salinidad superficial. Los indicadores de fertilidad física de los suelos desmejoraron frente a la aplicación del riego complementario mostrando aumentos en la densidad aparente y reducción en la infiltración con respecto a la condición de secano. Estos resultados sustentan la relevancia de la evaluación intensiva de la evolución de indicadores de calidad fisicoquímica de los suelos en planteos bajo riego para preservar su calidad productiva.

BIBLIOGRAFIA

- Andriulo, A; ML Galetto; C Ferreira; G Cordone & C Sasal. 1998. Efecto de 11 Años de riego complementario sobre un Argiudol típico Pampeano. *Ciencia del Suelo* 16: 125-127.
- Aparicio, V.C.; A. Barbacone & J.L. Costa. (2014). Efecto de la calidad de agua para riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas. *Ciencia del suelo* 32(1): 95-104.
- Ayers, RS & DW Westcot. 1987. Calidad del agua para la agricultura. Cuadernos de riego y drenaje 29. FAO. Roma.
- Costa, J.L. & V. C. Aparicio. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. *Agric. Water Management* 159:299-306.
- Costa, J.L.; V.C. Aparicio; L.F. Salleses & F.D. Frolla. (2016). Effect of tillage and application of gypsum In a No-Till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. *Agricultural Water Management* 177: 291-297.
- Costa, JL & V Aparicio. 2008. Evaluación de propiedades químicas y físicas en lotes con pivote central en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- De Battista, J.J., Andriulo A. & C. Pecorari. 1993. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo*, 10: 89-93.
- INTA. 1999. Recomendaciones para la utilización de aguas para riego en función de su calidad, síntesis de los trabajos realizados en las unidades del INTA-IPG. Seminario de capacitación. Impacto ambiental del riego complementario. Pergamino, Argentina. 87 p.
- Lavado, RS. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. En: *Alteraciones de la fertilidad de los suelos*. Taboada, MA & Lavado, RS (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Mon, R.; C Irurtia; FG Botta; O Pozzolo; F Bellora Melcón; D Rivero David & M Bomben. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the Rolling Pampa region of Argentina. *Ciencia e Investigación Agraria* 34: 143-150.
- Nelson, DE & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, organic matter. 961-1010 p. In: JM Bigham (eds). *Methods of Soil Analysis* (part 3). ASA and SSA, Madison. WI. USA.
- Peinemann, N.; M. Díaz-Zorita; M.B. Villamil; H. Lusarreta & D. Grunewald. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. *Ciencia del suelo* 16(1): 39-42.
- Peralta, G.E. 2008. Estructura de suelos manejados en siembra directa: efectos sobre la extracción y conversión de agua en el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill). Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 291 pp.
- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & R Marano. 2005 Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133: 431-443.
- SAMLA, 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelo, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas: análisis de aguas. 1° edición. SAGyP. Dirección de Agricultura. CD Rom.
- Soil Quality Institute. 1999. Soil Quality test kit guide. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.
- Torres Duggan, M., C.R. Álvarez, M.A. Taboada, T. Celesti, F. Vignarolli & D. D'Ámbrosio. 2012. Riego complementario en un Argiudol Típico de la Pampa Ondulada Argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Ciencias del suelo*:30(2):201-207.





APLICACION DE INDICADORES DE SUELOS Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LA GESTION DEL RIEGO COMPLEMENTARIO

López de Sabando, M.J.¹, J.M. Gutierrez², M. Díaz-Zorita³

¹ INTA Tandil, Rodríguez 370, (7000) Tandil. sabando.marcelo@inta.gob.ar

² CropSoil, (7000) Tandil. gutierrez.juanmartin@gmail.com

³ Facultad de agronomía, UNLPam, Ruta Nacional 35 km 334, (6300) Santa Rosa (La Pampa), mdzorita@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

La expansión e intensificación de la aplicación de riego complementario en sistemas agropecuarios extensivos en la región pampeana condujo al aumento en la frecuencia de casos con evidente deterioro en propiedades físicas de los suelos afectando su capacidad de producción. En la gestión del riego se requiere de la aplicación de decisiones sustentadas, entre otros, en indicadores edáficos e hídricos que permitan prevenir el deterioro en la calidad de los suelos. Entre estos indicadores, la utilización de la relación de adsorción de sodio ajustada por el factor de dilución que considera los aportes de agua de riego y las precipitaciones durante el periodo bajo proyección (RASfd) sería una herramienta sensible a considerar. Los objetivos del trabajo fueron, a partir de estudios en condiciones extensivas de producción agropecuaria en el sudeste bonaerense: (i) validar el uso de RASfd como herramienta para ayudar a gestionar el riego complementario, e (ii) identificar propiedades de suelo y sus valores umbrales a considerar para el seguimiento y análisis de la evolución de propiedades edáficas en áreas bajo riego complementario. Se evaluaron 23 sitios con áreas de secano y áreas con riego. Al aumentar el RASfd también aumentó la densidad aparente, la conductividad eléctrica, el pH y el PSI medidos en las capas hasta 10 y hasta 20cm de profundidad. La infiltración básica disminuyó 70% en condiciones de RASfd de 3,4, validando su aplicación para la gestión del riego. La evaluación del uso de PSI en 0 a 20cm fue un indicador sensible de los efectos del riego sobre propiedades fisicoquímicas de los suelos. En condiciones predominantes en el sudeste bonaerense, el valor umbral reportado de 3,5 de RASfd puede ser considerado excesivo. El valor umbral de 3,5 de RASfd se asoció con niveles de PSI de 3 y con reducción de la infiltración básica >60%.

Palabras clave: RAS factor de dilución, PSI, infiltración, agricultura extensiva.

INTRODUCCION

En los sistemas con riego complementario de la región pampeana, los aportes de agua varían entre el 10 y el 30 % del total de agua recibida por el cultivo. Esta práctica permite incrementar y estabilizar los rendimientos de diferentes cultivos (Lavado, 2009). En el sudeste de la región pampeana se ha descrito un incremento en la superficie con riego superando las 80 000 ha en campaña 2019. La calidad del agua de riego utilizada presento rangos de conductividad eléctrica de <1 a 1,3 y rangos de relación de adsorción de sodio (RAS) promedio según zona de 7 a 13 (Angelini *et al.*, 2022). Según Riverside y según FAO las aguas descritas son clasificadas como de moderado a alto riesgo de salinización y de moderado alto y muy alto riesgo de sodificación (Ayers y Westcot, 1987).

Se han reportado degradación de propiedades químicas y físicas de los suelos por efecto de riego. En un lote de centro de la región pampeana Torres Duggan *et al.* (2012) han observado en áreas con riego incrementos en los niveles de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), en los niveles de pH y de conductividad



eléctrica (CE) en relación a las áreas en secano. También en el centro de la región pampeana se observaron incrementos de PSI, de CE y de pH en los primeros estratos de los suelos según 11 años de riego con aguas bicarbonatadas sódicas con RAS de 10,6. En este experimento también se observó incrementos de 400% y 600% de los valores iniciales de PSI según los años con riego complementario fueron 4 y 11, respectivamente (Andriulo *et al.*, 1998). En el sudeste de la región pampeana, Costa y Aparicio (2015) observaron incrementos de los niveles de PSI, de pH y de CE y también disminución de los niveles de infiltración.

Con objetivo de ajustar la gestión del riego se han propuesto metodologías que dan lugar a utilización de láminas de riego según la región, la calidad del agua utilizada y la frecuencia de riego. La clasificación de Riverside y de FAO estableció riesgos de salinización y de sodificación según los niveles de conductividad eléctrica y de relación de adsorción de sodio (Ayers y Westcot, 1987). La clasificación de aguas para riego complementario desarrollada por INTA para la región pampeana consideró, además de la CE y de la RAS del agua, algunas propiedades de suelos e incorporó límite de lámina media anual de agua. Otra propuesta desarrollada también en la región pampeana por Costa y Aparicio (2015) consideró RAS ajustado por factor de dilución. Establecieron el factor de dilución relacionando la lámina de agua de riego en relación a la lámina de agua total. La lámina de agua total contempló tanto las precipitaciones como el riego complementario. Además, estos autores lograron determinar un umbral de RAS ajustado por factor de dilución (RASfd) por debajo del cual no observaron diferencias de infiltración significativas en relación a las áreas de secano. El umbral de RASfd establecido fue de 3,5, y lo validaron en condiciones de campo y con datos de experimentos en macetas. Las calidades de las aguas de los sitios en condiciones de campo utilizados para la validación fueron de 0,8 a 2,0 de conductividad eléctrica y de 10,0 a 15,1 de RAS. La utilización de RASfd puede ayudar a decisiones de gestión de riego. Sin embargo, resulta necesario validar en un mayor rango de situaciones de calidad de agua y de láminas de riego los resultados observados.

Por otro lado, los efectos de riego complementario sobre las propiedades físicas han sido evaluados considerando la infiltración y la densidad aparente como variables de diagnóstico (Costa y Aparicio, 2015; Torres Duggan *et al.*, 2012). Estas evaluaciones requieren de personas con experiencia y formación para lograr datos de calidad. La utilización de propiedades químicas de suelos, que puedan ser incorporadas en los muestreos de suelos correspondientes a los diagnósticos para la nutrición de los cultivos, que muestren asociación con la densidad aparente y la infiltración resultan necesarias para el monitoreo de las áreas bajo riego.

Los objetivos de este trabajo fueron: (i) validar el uso de RASfd como herramienta para ayudar a gestionar el riego complementario, e (ii) identificar propiedades de suelo y valores umbrales que puedan utilizarse para el monitoreo de las áreas con riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general y diseño de experimento

Los sitios experimentales fueron 23 lotes ubicados en sudeste de la región pampeana (Argentina). La lámina de riego acumulada en los últimos 25 años en los sitios tuvo un rango de 180 a 2485 mm. El rango de Ras promedio de las aguas de riego fue de 1,0 a 18,9. Mientras que las precipitaciones promedio anuales presentaron un rango en los sitios de 850 a 1045 mm. En todos los casos el riego complementario se realizó por aspersión (pivote central).

Se evaluó la condición de secano y de riego considerando a los sitios como repeticiones. El tratamiento secano correspondió a los *corners* o esquinas del lote que no reciben riego. El tratamiento riego correspondió al área correspondiente al círculo de riego. Se calculó para cada sitio de riego el RAS factor de dilución (Costa y Aparicio, 2015). Los valores de RAS factor de dilución (RASfd) fueron calculados integrando la totalidad de años de historia de riego, y además fraccionado los cálculos en forma anual. Se utilizó el valor máximo de RASfd para caracterizar el sitio de riego. Esto se realizó para contemplar el efecto de dilución de las sales aportadas por el riego con las precipitaciones origen de la propuesta del factor de dilución (Costa y Aparicio, 2015).

Evaluaciones de propiedades químicas y físicas de los suelos

Se evaluaron las propiedades químicas en los estratos: 0-10 y 0-20 cm, tomando muestras compuestas de 20 submuestras. Se determinó: materia orgánica (Nelson y Sommers, 1996), contenido de cationes intercambia-



bles por absorción atómica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH y conductividad eléctrica (CE). Se determinó la tasa de infiltración (TI; Soil Quality Institute, 1999; n=4), densidad aparente de 0 a 5 cm (Dap 0-5) y de 10 a 15 cm (Dap 10-15 cm) por método del cilindro (n=3), resistencia a la penetración con penetrómetro hidráulico con punta de 60° (n=10), y estado de la estructura del suelo mediante adaptación de prueba de estallido por Peralta (2008). Las muestras de agua se analizaron utilizando las metodologías propuestos por SAMLA (2004).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de correlaciones (Pearson, $p < 0,10$) y prueba de T para un diseño apareado. Cuando la variable fue evaluada en distintas profundidades la comparación se realizó dentro de cada profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

El riego complementario incrementó los niveles de CE, PSI y pH tanto en los primeros 10 cm de suelos como en los primeros 20 cm de suelos en relación a las áreas de secano (Datos no presentados). Además, las áreas de riego también mostraron mayores niveles de densidad aparente de 0 a 5 cm ($p < 0,0001$) y de 10 a 15 ($p = 0,0003$) y menores niveles de infiltración básica ($p = 0,0015$) en comparación con las áreas de secano (Figura 1).

El PSI en estrato de 0 a 20cm de suelos se destacó entre las propiedades estudiadas por su correlación con propiedades químicas y físicas de los suelos. Las principales propiedades de suelos que han sido descritas en la región pampeana con cambios asociados al riego complementario son CE, pH, infiltración y densidad aparente (Torres Duggan *et al.* 2012, Costa y Aparicio 2015, Andriulo *et al.*, 1998, Pilatti *et al.*, 2006). En estas condiciones de evaluación, el PSI mostro adecuada correlación con propiedades químicas como la CE y el pH. Además, el PSI en estrato de 0 a 20cm mostró correlación con propiedades físicas de los suelos. Se observó correlación positiva con la densidad aparente y los terrones de mayor tamaño obtenidos del test de estallido y correlación negativa con la infiltración básica y con los terrones de menor tamaño obtenidos en el test del estallido (Tabla 1). Para las condiciones evaluadas, el PSI de 0 a 20cm puede ser considerado como la variable para el monitoreo de los efectos del riego sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos.

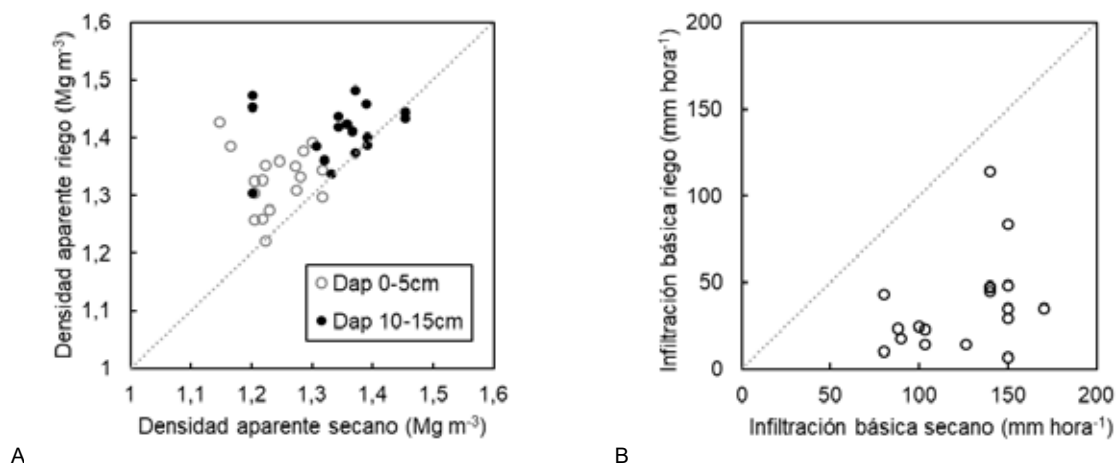


Figura 1: Relación entre observaciones en área de secano y área bajo riego complementario para densidad aparente (A) e infiltración básica (B). Los datos de densidad aparente (Dap) corresponden a dos profundidades de 0 a 5 cm de suelo y de 10 a 15 cm de suelos. Sitio de la región pampeana (Argentina).

La propuesta de Costa y Aparicio (2015) que ajusta los valores de RAS del agua según el uso de riego y las precipitaciones mostró, en general, mejores correlaciones con propiedades químicas y físicas de suelos en comparación con la RAS sin ajuste por factor de dilución y en comparación con los niveles de riego acumulado. El RASfd se correlacionó positivamente con la densidad aparente, con los terrones de mayor tamaño en test de estallido, con la CE, con los niveles de pH y de PSI en estrato de 0 a 10cm y en estrato 0 a 20cm.



Mientras que se correlacionó negativamente con la infiltración y con los terrones de menor tamaño en test de estallido (Tabla 1). Además, el RASfd mostró mejor asociación con PSI que lo observado con RAS sin ajuste por factor de dilución (Figura 2).

El valor umbral de 3,5 de RASfd propuesto por Costa y Aparicio (2015) puede ser considerado excesivo para las condiciones evaluadas en este experimento. Considerando la relación observada entre RASfd y PSI para los datos disponibles, el valor de 3,5 de RASfd determina un valor de 3 de PSI. Con niveles de PSI de 3 se observaron reducciones de infiltración básica mayores a 70% (Figura 2). Los valores umbrales de RASfd a determinar dependieron del deterioro aceptable de propiedades como infiltración y densidad aparente. Por otro lado, resulta necesario ajustar la relación entre los aportes de sodio por uso de riego y los incrementos de los niveles de PSI de los suelos y su posterior correlato con deterioro de propiedades físicas. Ha sido reportado una diferencia en la afinidad del sodio de dos tipos de suelos (Balcarce y Tres Arroyos) para condiciones de la región (Aparicio *et al.*, 2014). A su vez, sería esperable que distintas prácticas de manejo confieran una diferencia de resiliencia de parámetros físicos ante cambios del PSI.

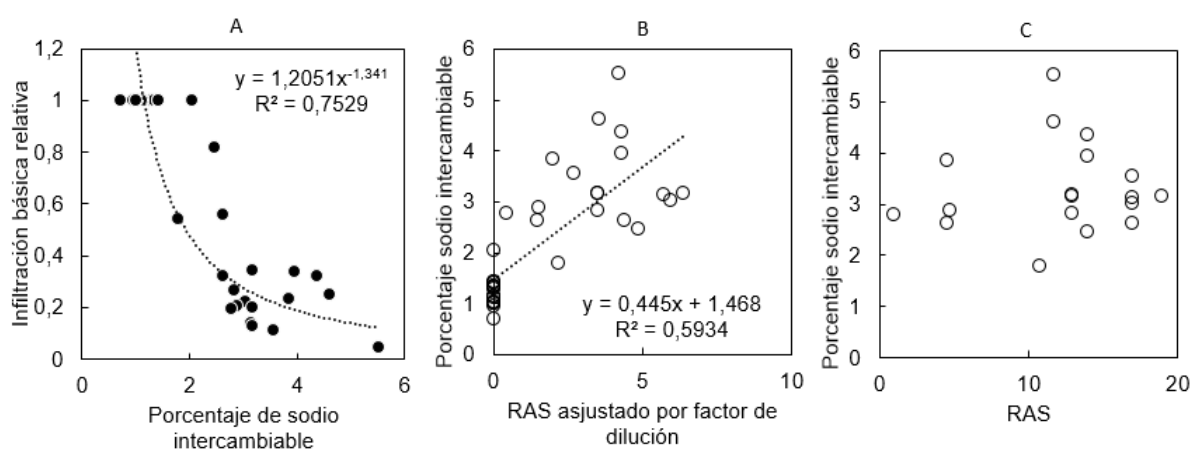


Figura 2: Infiltración básica promedio relativa al testigo según el porcentaje de sodio intercambiable en los primeros 20 cm de suelos (A), niveles de porcentaje de sodio intercambiable de 0 a 20 cm de suelos según la relación de adsorción de sodio del agua de riego ajustado por el factor de dilución (RASfd; Costa y Aparicio, 2015) (B) y los niveles de porcentaje de sodio intercambiable de 0 a 20 cm de suelos según la relación de adsorción de sodio del agua de riego. Ras= Relación de adsorción de sodio del agua de riego. Sitio de la región pampeana (Argentina).

CONCLUSIONES

El PSI de 0 a 20cm mostro correlación con propiedades químicas y físicas que han sido descritas con cambios por uso de riego. El PSI de 0 a 20cm resultó la variable destacada para el monitoreo de los efectos del uso del riego complementario sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.

El RASfd mostro adecuada correlación con las propiedades de suelos que mostraron cambios con el uso de riego. El RASfd resultó conveniente para apoyar decisiones de gestión del riego. El valor umbral propuesto de 3,5 RASfd fue excesivo para las condiciones evaluadas.



Coeficientes/ Probabilidades	Densidad aparente		Resistencia a la penetración					Infiltración		Test de estallido			Propiedades de suelos en 0-10cm					Propiedades de suelos en 0-20cm					Riego									
	Dap 0-5cm	Dap 10-15cm	RP 0-5cm	RP 5-10cm	RP 10-15cm	RP 15-20cm	RPmax 5-40cm	Infiltración básica	Infiltración básica relativa testigo	Terrones >10cm	Terrones 5-10cm	Terrones <5cm	MO	CE	pH	CIC	PSI	MO	CE	pH	CIC	PSI	Arena	Arcilla	Limo	MO	CE	pH	RAS	Riego acumulado 25 años	RASfd	
Dap 0-5cm	1,00	0,002	0,890	0,180	0,060	0,030	0,570	0,000	0,000	0,340	0,000	0,002	0,230	0,530	0,010	0,900	0,040	0,100	0,710	0,010	0,030	0,000	0,870	0,210	0,280	0,190	0,200	0,080	0,310	0,005	0,000	
Dap 10-15cm	0,49	1,00	0,780	1,000	0,780	0,730	0,930	0,001	0,000	0,140	0,050	0,060	0,004	0,330	0,010	0,470	0,010	0,010	0,900	0,010	0,010	0,000	0,180	0,140	0,040	0,160	0,470	0,990	0,050	0,040	0,002	
RP 0-5cm			1,00	0,000	0,000	0,001	0,10	0,450	0,930	0,850	0,280	0,630	0,760	0,060	0,310	0,180	0,250	1,000	0,220	0,890	0,220	0,480	0,080	0,530	0,060	0,380	0,850	0,540	0,890	0,880	0,810	
RP 5-10cm			0,88	1,00	0,000	0,000	0,001	0,090	0,480	0,380	0,640	0,350	0,280	0,070	0,190	0,030	0,030	0,400	0,290	0,430	0,040	0,640	0,020	0,830	0,030	0,850	0,910	0,890	0,770	0,300	0,860	
RP 10-15cm	-0,31		0,74	0,94	1,00	0,000	0,001	0,030	0,250	0,160	0,150	0,090	0,180	0,130	0,100	0,020	0,010	0,210	0,380	0,300	0,010	0,210	0,040	0,860	0,040	0,980	0,980	0,720	0,400	0,350	0,230	
RP 15-20cm	-0,35		0,55	0,82	0,55	1,00	0,001	0,004	0,060	0,100	0,020	0,010	0,150	0,210	0,070	0,010	0,003	0,180	0,370	0,220	0,002	0,580	0,050	0,840	0,040	0,930	0,900	0,920	0,350	0,200	0,080	
RPmax 5-40cm			0,43	0,54	0,51	0,54	1,00	0,490	0,990	0,350	0,540	0,890	0,003	0,000	0,140	0,001	0,340	0,002	0,000	0,010	0,010	0,870	0,180	0,830	0,190	0,080	0,003	0,080	0,330	0,820	0,090	
Infiltración básica	-0,73	-0,53		0,28	0,37	0,47		1,00	0,000	0,030	0,000	0,000	0,090	0,830	0,002	0,200	0,000	0,070	0,710	0,001	0,002	0,000	0,510	0,900	0,520	0,190	0,710	0,690	0,850	0,000	0,000	
Infiltración básica relativa testigo	-0,66	-0,56				0,32		0,92	1,00	0,010	0,000	0,000	0,070	0,400	0,020	0,490	0,002	0,080	0,180	0,002	0,010	0,000	0,190	0,860	0,170	0,380	0,510	0,720	0,890	0,000	0,000	
Terrones >10cm									1,00	0,060	0,000		0,720	0,150	0,800	0,690	0,320	0,980	0,120	0,320	0,210	0,000	0,100	0,260	0,040	0,380	0,060	1,000	0,090	0,002	0,230	
Terrones 5-10cm	0,83	0,36							0,34	1,00	0,000		0,500	0,070	0,020	0,760	0,020	0,580	0,030	0,010	0,100	0,000	0,180	0,340	0,080	0,880	0,700	0,700	0,870	0,002	0,000	
Terrones <5cm	-0,54	-0,34			0,31	0,43				0,85	0,73		0,740	0,020	0,120	0,730	0,080	0,810	0,020	0,030	0,180	0,000	0,090	0,190	0,020	0,510	0,100	0,700	0,010	0,000	0,002	
MO							-0,48	0,29	0,31				1,00	0,350	0,010	0,004	0,080	0,000	0,050	0,000	0,270	0,080	0,510	0,990	0,580	0,000	0,080	0,120	0,900	0,320	0,090	
CE			0,33	0,30						0,33	-0,41			1,00	0,520	0,070	0,350	0,330	0,000	0,030	0,020	0,250	0,030	0,820	0,030	0,780	0,350	0,490	0,740	0,060	0,070	
pH	0,43	0,43			-0,28	-0,31		-0,49	-0,38		0,43			-0,44	-0,31	1,00	0,450	0,010	0,100	0,000	0,004	0,005	0,210	0,160	0,780	0,001	0,001	0,010	0,940	0,060	0,000	
CIC					-0,38	-0,39	-0,44	-0,52					0,47	-0,31		0,60	0,550	0,010	0,010	0,800	0,000	0,530	0,060	0,280	0,020	0,180	0,380	0,130	0,730	0,700	0,980	
PSI	0,34	0,44			-0,38	-0,44	-0,49	-0,61	-0,48		0,41	-0,32		-0,29	0,39	1,00		0,130	0,880	0,010	0,060	0,000	0,710	0,460	0,460	0,110	0,440	0,570	0,840	0,020	0,010	
MO	-0,28	-0,41						0,31	0,29				0,97	-0,44	0,46		1,00	0,050	0,000	0,190	0,200	0,530	0,940	0,810	0,000	0,080	0,100	0,870	0,270	0,130		
CE							0,72						0,38	-0,42	-0,33	0,31	0,28	-0,42	-0,33	1,00	0,001	0,040	0,080	0,080	0,120	0,010	0,420	0,110	0,030	0,920	0,040	0,010
pH	0,44	0,43					0,45	-0,55	-0,51				0,46	-0,39	-0,58	0,37	0,84	0,43	-0,58	0,54	1,00	0,070	0,000	0,900	0,370	0,540	0,001	0,001	0,050	0,130	0,010	0,000
CIC	0,36	0,41			-0,34	-0,42	-0,49	-0,44	-0,51	-0,42			0,30			0,38	0,47	0,68	0,32	-0,34	0,31	1,00	0,005	0,260	0,490	0,550	0,810	0,880	0,220	0,160	0,090	0,010
PSI	0,57	0,61					-0,35	-0,84	-0,88				0,57	0,79	-0,81	-0,30	0,46	0,81	0,30	0,58	0,46	1,00	0,180	0,340	0,070	0,850	0,820	0,740	0,750	0,000	0,000	
Arena			0,29	0,38	0,34	0,33				0,28		-0,31		0,37		-0,32			0,30				1,00	0,640	0,000	0,010	0,340	0,150	0,270	0,370	0,200	
Arcilla																							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
Limo	-0,34		-0,32	-0,35	-0,34	-0,34				-0,35	-0,32	0,42				0,39							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
IMO							-0,31									0,81	-0,51						1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
CE							0,66						-0,44	0,41	-0,42	0,70							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
pH	0,92						0,92									0,88							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
RAS		0,47														0,88							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
Riego acumulado 25 años	0,46	0,34														0,49							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		
RASfd	0,59	0,50					-0,30	0,29								0,58							1,00	0,002	0,870	0,960	0,980	0,880	0,220	0,680		

Tabla 1: Análisis de correlación entre variables. Probabilidad con fondo de celda indicando significancia a niveles de <0,05 en gris oscuro, de 0,05 a 0,10 en gris claro y de >0,10 en fondo blanco. Correlación entre variables con fondo según nivel de significancia: Fondo verde correlación positiva significativa, fondo rojo correlación negativa significativa. Dap= Densidad aparente. RP= Resistencia a la penetración promedio. RPmax= Resistencia a la penetración máxima. MO= Materia orgánica. CE= Conductividad eléctrica. CIC= Capacidad de intercambio catiónico. PSI= Porcentaje de sodio intercambiable. IMO= Relación entre la materia orgánica y la suma de arcilla más limo (Pieri, 1995). RAS: Relación de adsorción de sodio. RASfd: Relación de adsorción de sodio máxima ajustado por factor de dilución (Costa y Aparicio, 2015).

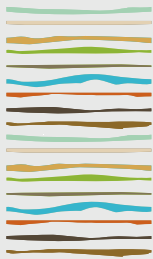
BIBLIOGRAFIA

- Andriulo, A; ML Galetto; C Ferreira; G Cordone & C Sasal. 1998. Efecto de 11 Años de riego complementario sobre un Argiudol típico Pampeano. Ciencia del Suelo 16: 125-127.
- Angelini, H.P., J.L. Costa & V.C. Aparicio. 2022. Expansión del riego: Tipo de suelo, pendiente y calidad de agua en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata:121(1): 1-14.
- Aparicio, C.V., A. Barbacone & J.L. Costa. 2014. Efecto de la calidad de agua para riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas. Ciencias del Suelo 32(1): 95-104.
- Ayers, RS & DW Westcot. 1987. Calidad del agua para la agricultura. Cuadernos de riego y drenaje 29. FAO. Roma.
- Costa, J.L. & V. C. Aparicio. 2015. Quality assessment of irrigation water under a combination of rain and irrigation. Agric. Water Management 159:299-306.
- Costa, J.L.; V.C. Aparicio; L.F. Salleses & F.D. Frolla. 2016. Effect of tillage and application of gypsum In a No-Till field under supplementary irrigation with sodium bicarbonate waters. Agricultural Water Management 177: 291-297.
- De Battista, J.J., Andriulo A. & C. Pecorari. 1993. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. Cia. Suelo, 10: 89-93.
- INTA. 1999. Recomendaciones para la utilización de aguas para riego en función de su calidad, síntesis de los trabajos realizados en las unidades del INTA-IPG. Seminario de capacitación. Impacto ambiental del riego complementario. Pergamino, Argentina. 87 p.
- Lavado, RS. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. En: Alteraciones de la fertilidad de los suelos. Taboada, MA y Lavado, RS (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Mon, R; C Iurtia; FG Botta; O Pozzolo; F Bellora Melcón; D Rivero David & M Bomben. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the Rolling Pampa region of Argentina. Ciencia e Investigación Agraria 34: 143-150.
- Nelson, DE & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, organic matter. 961-1010 p. In: JM Bigham (eds). Methods of Soil Analysis (part 3). ASA and SSA, Madison. WI. USA.



- Peinemann, N.; M. Díaz Zorita; M.B. Villamil; H. Lusarreta & D. Grunewald. (1998). Consecuencias del riego complementario sobre propiedades edáficas en la llanura pampeana. *Ciencia del suelo* 16(1): 39-42.
- Peralta, G.E. 2008. Estructura de suelos manejados en siembra directa: efectos sobre la extracción y conversión de agua en el cultivo de soja (*Glycine max* L. Merrill). Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 291 pp.
- Pilatti, MA; S Imhoff; P Ghiberto & R Marano. 2005 Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133: 431-443.
- SAMLA, 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelo, Aguas, Vegetales y Enmiendas Orgánicas: análisis de aguas. 1° edición. SAGyP. Dirección de Agricultura. CD Rom.
- Soil Quality Institute. 1999. Soil Quality test kit guide. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.
- Torres Duggan, M., C.R. Álvarez, M.A. Taboada, T. Celesti, F. Vignarolli & D. D'Ámbrosio. 2012. Riego complementario en un Argiudol Típico de la Pampa Ondulada Argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Ciencias del suelo*:30(2):201-207.
- Pieri, C. (1995). Long-term soil management experiments in semiarid Francophone Africa. *Adv. Soil Sci.* 225-264 pp.





PRODUCTIVIDAD DE ALFALFARES EN GRADIENTES DE PROFUNDIDAD Y DIFERENTES CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS NAPAS EN UN PAISAJE SEMIÁRIDO DE SAN LUIS

Lorenzo S.^{4*}, J.C. Colazo^{1,2}, J.M. de Dios Herrero^{3,6}, C. Saenz¹; E.G. Jobbagy⁵, J. Houspanossian⁵, P. Peralta⁴

¹EEA San Luis, INTA;

²UNSL;

³UNLPam;

⁴CONICET-INTA;

⁵CONICET,

⁶EEA Anguil, INTA.

*Ruta Nacional 7 y 8, (5730) Villa Mercedes, Prov. de San Luis, lorenzo.santiago@inta.gob.ar

RESUMEN

Los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos en la cuenca de El Morro (centro de la provincia de San Luis) siguen su avance y representan una amenaza para la región. Este fenómeno se encuentra asociado al ascenso freático el cual puede ser regulado por la vegetación. Es por ello que nuestro objetivo fue evaluar la respuesta de productividad de las pasturas de Medicago Sativa (Alfalfa), en un gradiente de profundidad de niveles freáticos y calidad del agua subterránea, a través de teledetección con imágenes de NDVI en la cuenca de El Morro. Para ello, en 37 sitios de alfalfares se relevó información de napa (Profundidad y calidad), % cobertura de corona de las plantas, y NDVI con imágenes Sentinel 2 resolución espacial de 10m y temporal de 5 días aprox. correlacionándose ambas variables muy significativamente. Teniendo en cuenta lo anterior se decidió evaluar los diferentes sitios con esta herramienta satelital durante 3 campañas (18/19-19/20-20/21). Se usó un modelo estadístico general lineal multivariado. Diseño: Interceptación + NF + Cl + Edad + Grupo + Campaña + NF*Cl. Las alfalfas se ven afectadas por la profundidad del nivel freático, siendo recomendable napas superficiales o intermedias (1.3-5m) con un óptimo entre 1.3 y 2,5m. Incluso si estas son muy salobres, siempre y cuando estén en rangos óptimos de profundidad. Pero si presentan respuestas a la presencia de cloruros en napa, siendo perjudiciales para la pastura. Estos resultados muestran que es oportuno el uso de imágenes satelitales para inferir la productividad de los alfalfares. Y que el Nivel Freático y los cloruros afectan su productividad. Permite de esta manera conocer qué condiciones de napas resultarían ser favorables para su cultivo y cuales adversas. Siendo una estrategia clave el uso de esta pastura para regular los excesos hídricos que se generan en la zona de estudio.

Palabras clave: Alfalfa, Napa, Nivel Freático

INTRODUCCIÓN

Los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos en la cuenca de El Morro (centro de la provincia de San Luis) siguen su avance y representan una amenaza para la infraestructura de transporte, para la producción agropecuaria y para los asentamientos urbanos (Jobbagy et al., 2015). Estos procesos están desencadenados por un desequilibrio en el balance de agua en el sistema. Los cambios en la vegetación pueden regular este balance. Las pasturas de alfalfa generan tasas de evapotranspiración que pueden ser un 30% mayor que la de cultivos anuales (Ridley et al., 2001, Keating et al., 2002). Los antecedentes sobre esta dinámica son escasos en regiones con problemas similares (Nosetto et al., 2015).



La vegetación no solo da forma a las tasas de recarga (drenaje profundo por debajo de la zona de las raíces) sino también a la intensidad y profundidad a la que se consume el agua subterránea. Esto genera un fuerte impacto en estos recursos hídricos, afectando tanto la cantidad como la calidad del agua (Seyfried et al. 2005). Los pastos perennes en la pampa crecen todo el año y tienen un sistema radicular más profundo que los cultivos anuales. Pueden consumir casi el doble de agua que los cultivos anuales (Nosetto et. al., 2012).

Se ha documentado una estrecha asociación entre los índices de vegetación derivados de satélites y la transpiración de las plantas en diferentes regiones secas a subhúmedas del mundo (Running y Nemani 1988; Contreras et. al., 2011; Nosetto et al., 2015). El NDVI promedio anual puede ser considerado como un sustituto de la productividad de la vegetación (Nosetto et al. 2015).

En este trabajo validamos el uso del NDVI para inferir la productividad en *Medicago sativa* (Alfalfa), y evaluar su respuesta, en un gradiente de profundidades del Nivel Freático, y distintas calidades de agua subterránea en 37 sitios de la zona de estudio, con suelos arenosos y clima semiárido del centro de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio denominada cuenca de El Morro (Figura 1), se ubica en el borde occidental y seco de las planicies sedimentarias planas del centro de Argentina sobre el bosque seco conocido como espinal. Esta al Norte de la ciudad de Villa Mercedes y al sur del cerro que le da su nombre. La zona tiene un clima templado semiárido. La precipitación media anual para el período 1903-2021 fue de 620.5 mm año⁻¹ (INTA). Las lluvias se concentran en la estación cálida con un 70% entre noviembre y marzo, a menudo en forma de tormentas convectivas con alta variabilidad espacial. Seleccionamos 37 sitios de 9 alfalfares, 13 de ellos en cuenca media (700msnm) y 26 en cuenca baja (500msnm) buscando gradientes de profundidad de Nivel Freático y calidad del agua subterránea.

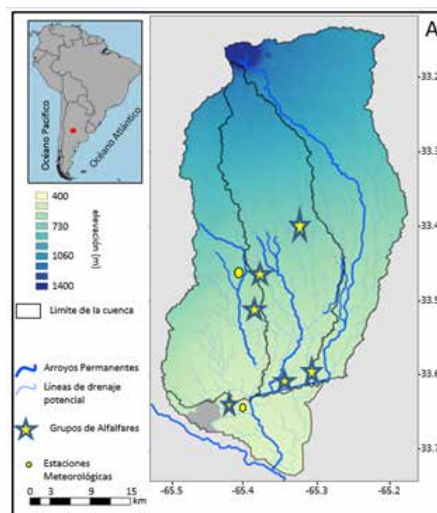


Figura 1: ubicación geográfica de la zona de estudio señalizando los grupos de sitio (estrellas amarillas) y estaciones meteorológicas (puntos amarillos)

Con el objetivo de correlacionar el NDVI, con el estado a campo de los alfalfares, se midió por única vez en la campaña 2020/2021 el porcentaje de la cobertura de las coronas de las plantas de alfalfa (% Cob. Corona), expresado en relación a la superficie no ocupada por las misma. Por cada sitio se muestrearon 5 subparcelas y se promediaron. Todos dentro del área de la resolución espacial del satélite. Allí se cortó a una altura de 10cm aprox. quedando expuestas las coronas de las plantas de alfalfa vs suelo desnudo. Posteriormente se capturaron imágenes, las cuales se procesaron con un programa diseñado para calcular la cobertura vegetal, que una vez entrenado designando la cubierta de corona y el suelo desnudo, estima la superficie ocupada por las coronas de las plantas.

Se usaron los datos de NDVI (índice de vegetación diferencial normalizado) del satélite Sentinel 2 que tiene una resolución espacial de 10m, para caracterizar el verdor de las alfalfas en los 37 sitios. Estos satélites tienen una adquisición de imágenes o resolución temporal de 5 días aproximadamente, a las cuales se le calcularon el promedio (NDVI Prom), el percentil 50 (NDVI P50), y el percentil 90 o máximo desarrollo de canopeo (NDVI P90) de cada campaña, las cuales se tomaron de julio a junio de 2018/2019 - 2019/2020 - 2020/2021.

En cada sitio en la campaña 2020/2021, se perforo en el centro de la parcela (punto georreferenciado) con barrenos de 110mm hasta la napa, y colocando una camisa (caño PVC ranurado en la base), que permitió obtener agua libre y así poder realizar la medición del nivel freático (NF) expresada en cm (distancia desde la superficie del suelo hasta el pelo de agua ya estabilizada), junto con el muestreo de agua para su posterior análisis.

Las variables dependientes se calcularon para las 3 campañas, siendo (NDVI Prom, NDVI P50, NDVI P90). Y factores (NF-CE-Cl-pH-Grupo-Cuenca-Edad-Campaña). Si bien los datos de los factores fueron relevados durante el 2020/2021, se utilizaron para analizar las 3 campañas. Como el objetivo es hacer una caracterización de cada sitio y para englobar las fluctuaciones que pueden haber ocurrido en dicho periodo, se discretizaron estableciendo rangos de valores que se detallan a continuación.

- Nivel Freático (NF): 0 a 129 muy superficial; 130 a 250 superficial; de 251 a 500 intermedia; y >501 profunda.
- pH: de 6.5 a 7.5 neutro y de 7.6 a 8.4 medianamente alcalino.
- Conductividad eléctrica (CE): 0-2ds/m no salobre; 2.1-6 ds/m Salobre y >6 ds/m Muy Salobre
- Cloruros (Cl): de 0-500 ppm bajo; 501-1100 ppm moderado; y >1100 ppm alto
- Grupo de latencia o dormancia (Grupo): Grupo 6 – Grupo 8
- Edad de la pastura para la respectiva campaña (Edad): 1-2-3-4-5
- Campaña: regido por las condiciones agroclimáticas de la zona de estudio

Se realizó un análisis de correlación paramétrico de las variables cobertura de corona promedio, NDVI Prom, NDVI P50 y NDVI P90. Para el primero, previo al análisis se ajustó directamente con la proporción de las coberturas de malezas observadas. Y a las variables obtenidas por teledetección (NDVI) se les aplicó dos índices de ajuste: i) índice de enmalezamiento (Fi) y ii) índice de intensidad de uso (Fii). El motivo por el cual se implementó i) es para contrarrestar el enmalezamiento de los alfalfares que: podía ser bajo (<10% Fi= 1), moderado (>10% y <25% Fi= 0.75) o alto (>25% Fi= 0.5). Y en ii) se tuvo en cuenta la frecuencia de la defoliación mecánica o número de cortes implementados en la campaña, que repercute en el NDVI. Quedando de la siguiente manera (5 cortes Fii= 1; 4 cortes Fii= 0.8; 3 cortes Fii= 0.6; 2 cortes Fii= 0.4; y 1 corte Fii= 0.2). $NDVI_{ajustado} = NDVI * Fi * Fii$

Para analizar los factores que repercuten en el cultivo de alfalfa, se realizó un análisis paramétrico general lineal multivariado, corroborándose los supuestos estadísticos. En el modelo solo se dejaron los factores e interacciones que fuesen significativas para simplificarlo, quedando de la siguiente forma:

Diseño del Modelo Estadístico: Interceptación + NF + Cl + Edad + Grupo + Campaña + NF*Cl

En dicho análisis se tomó como variables: NDVI Prom, NDVI P50, y NDVI P90, de 3 campañas, contempladas cada una desde julio a junio, 2018/2019-2019/2020 y 2020/2021 excepto la última que fue hasta marzo. Como factores (NF - Cl - Grupo y campaña), considerando a Edad como covariable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran una correlación muy significativa entre el NDVI y la cobertura de corona de las alfalfas, con un ajuste modesto que manifiesta la heterogeneidad de condiciones en las que se pueden desarrollar dicho cultivo y que abarca diferentes formas de manejos agronómicos, diferencias en la fertilidad de los suelos e incluso variabilidad espacial de las precipitaciones (Figura 2A) y discriminada por edades de las alfalfas en la Figura 2B. Noretto et. al., 2015 propone al NDVI Promedio anual, como un sustituto de la



productividad asociado a la transpiración de la vegetación.

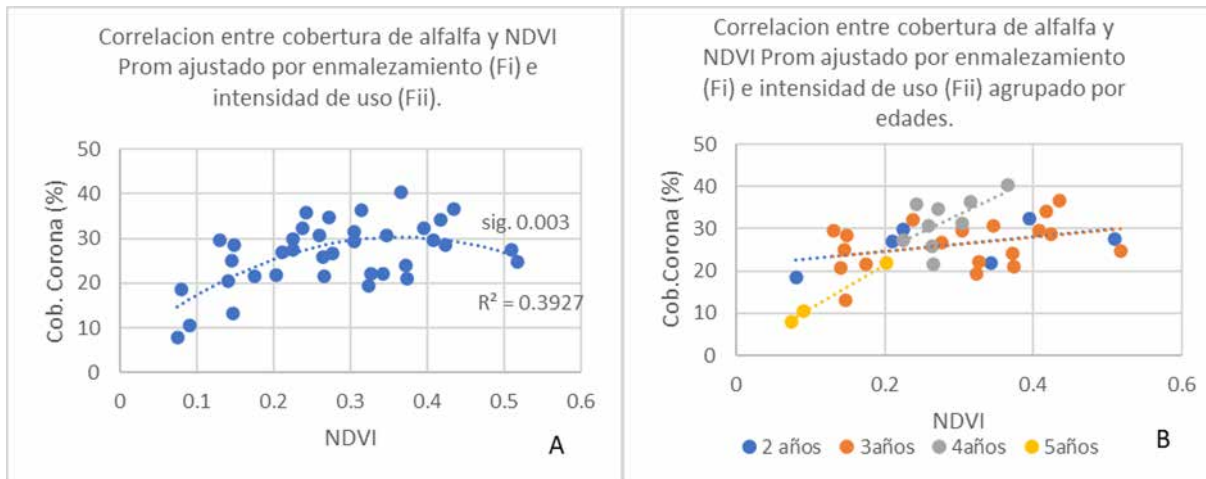


Figura 2: En A la correlación de la cobertura de corona de alfalfa y NDVI promedio, ajustado por índice de enmalezamiento (Fi) e índice de intensidad de uso (Fii). Se muestra la significancia de la correlación de Pearson= 0.003 y el ajuste $R^2 = 0.3927$. Y en B la misma correlación anterior pero agrupada por edad de las alfalfas en la última campaña.

Los resultados obtenidos en nuestra zona de estudio también señalarían que podría ser utilizado como un análogo de la productividad encontrando similitudes y respuestas a factores que la afectan. En la figura 3 se muestra el patrón típico de una serie de NDVI de un cultivo de alfalfa. En esta los cortes mecánicos se ven como abruptas caídas del verdor dentro del periodo de crecimiento, con una posterior y progresiva recuperación hasta alcanzar nuevamente un máximo y así sucesivamente para cada evento de corte, asociado a una recuperación del área foliar de la pastura hasta un nuevo máximo desarrollo del canopeo dentro de la campaña. También se observan disminuciones progresivas en el periodo otoñal con mínimos en el invierno coincidente con lo reportado por Brown et. al., 2006, donde establecen que el crecimiento es insignificante con temperaturas inferiores a 5°C.



Figura 3: Serie de NDVI de satélite Sentinel 2 de uno de los 37 sitios con cultivo de Alfalfa de la zona de estudio, comenzando la serie en julio de 2018 hasta marzo de 2021.

En la tabla 1 se muestra el diseño estadístico utilizado, las tres variables asociadas a la productividad y máximos desarrollos de canopeo, y los factores a los que se encontraron respuesta. Algunos están asociados a la napa, caracterizada por la profundidad del nivel freático y contenido de cloruros; pero también se tuvo en cuenta otros que sin ser el foco de nuestros estudios demostraron afectar la productividad como es la Edad, Grupo y Campaña.

En cuanto a las características de la napa, el rango de profundidades óptimo observado esta entre (1.3-5m), napas superficiales e intermedias, siendo más beneficiosas las primeras. Estudios realizados por Benz et.



al. 1982 señalan que el nivel freático óptimo en suelos arenosos fue de 1.5m en Dakota del Norte. La profundidad y calidad del agua afecta la persistencia y productividad de las alfalfas (Berhongaray et. al., 2019; Noretto et.al., 2009), pudiendo ser tanto una oportunidad como una amenaza para los cultivos (Mercaru et. al., 2016). Borg y Grimes 1986 informaron que la exploración radicular en el primer año de crecimiento puede alcanzar los 2.4m y hasta 6m desde el segundo año. Pudiendo la napa aportar hasta un 25% de los requerimientos hídricos del cultivo (Dardanelli et. al., 2002). La Alfalfa es susceptible al anegamiento y es tolerante a niveles relativamente altos de sales siempre que la zona superior de las raíces esté libre de estas (FAO, 2012). Nuestros resultados indican que la salinidad de la napa no afecta la productividad significativamente. Sin embargo los cloruros lo hacen negativamente, generando una interacción para los máximos desarrollo del conopeo con la profundidad, siendo beneficioso que las napas sean profundas cuando estas tienen elevado contenido de Cl.

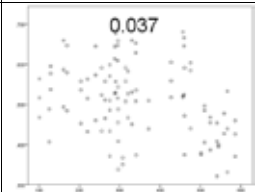
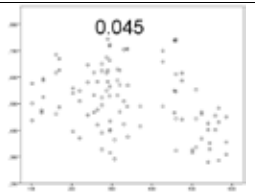
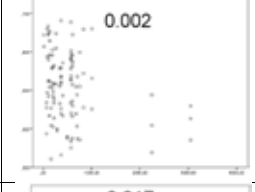
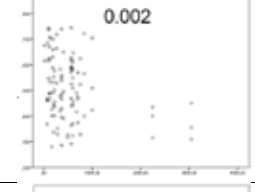
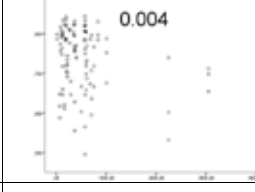
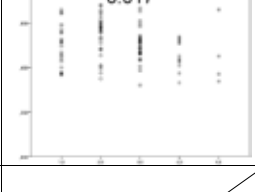
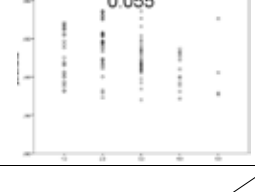
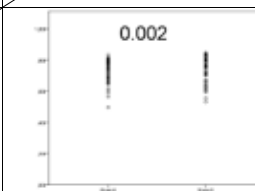
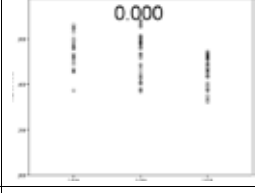
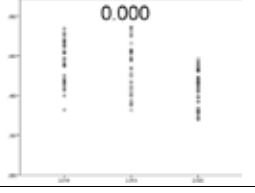
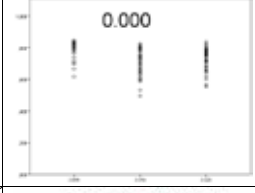
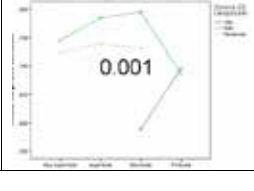
Diseño del Modelo Estadístico: Interceptación + NF + CI + Edad + Grupo + Campaña + NF*CI			
	NDVI Prom	NDVI P50	NDVI P90
NF			
CI			
Edad			
Grupo			
Campaña			
NF*CI			

Tabla 1: Resultados obtenidos del análisis estadístico multivariado.

Sin ser el foco de este estudio, también se tuvo en cuenta otros factores que afectaron la productividad como es la edad de las pasturas, donde observamos que el máximo está en el 2° año para luego decaer consecu-



tivamente hasta el 5°. En el Grupo, se encontraron únicamente diferencias en los máximos desarrollos de canopeo con valores mayores para las alfalfas Grupo 8. Berhongaray et al., 2019 no encontraron diferencias en la productividad ni en la persistencia para genotipos semidormidos y dormidos. Por último, un muy significativo efecto de la campaña, esta incluye las condiciones agroclimáticas, con una disminución consecutiva de la productividad, con precipitaciones acumuladas de julio a junio (687-531-653mm para 18/19 - 19/20 - 20/21 respectivamente), teniendo en todas ellas una condición muy deficitaria en relación a la capacidad evapotranspiratoria potencial de dicho cultivo que supera los 1000mm anuales (FAO 2012).

CONCLUSIONES

- Se encontraron correlaciones muy significativas entre el NDVI y la cobertura de corona en alfalfa, permitiendo inferir de forma remota su productividad con esta herramienta de teledetección.
- Los alfalfares se benefician por la presencia de napas superficiales e intermedias entre 1.3 y 5 metros de profundidad. Niveles freáticos muy superficiales o profundos, restringen su productividad, asociado en ocasiones a moderados o elevados niveles de enmalezamiento.
- Los alfalfares muestran una sensibilidad menor a las variaciones de salinidad desplegadas por las napas en el área de estudio y parecen beneficiarse por la presencia de las mismas aun siendo muy salobres (>6ds/m) cuando se encuentran en el rango óptimo de profundidad.
- Cuando las sales que predominan en las napas son cloradas (>1100ppm Cl), surgen inconvenientes provocando caídas en la productividad. Siendo preferible en estos casos que sean profundas (>5m) para no provocar perjuicios a la pastura.
- Las alfalfas Grupo 8 solo presentaron desarrollos de canopeo más elevados que las Grupo 6, no encontrándose diferencias para la productividad.
- La máxima Productividad observada se encontró para el 2° año de edad de las pasturas decayendo consecutivamente hasta el 5° año.
- Y el efecto campaña tuvo una significativa influencia en la productividad.

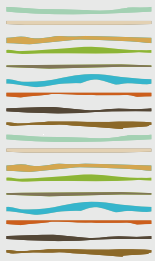
AGRADECIMIENTOS

A J Mercau (proyecto I044) y M. M Puricelli (proyecto I041) por financiar parte de las actividades de campo. G Aguilera por la colaboración en la medición de cobertura de corona

BIBLIOGRAFÍA

- Berhongaray G, Basanta M., Jauregui J. M., Water table depth affects persistence and productivity of alfalfa in Central Argentina, Field Crops Research, Volume 235,2019, Pages 54-58, ISSN 0378-4290,
- Dardanelli, J., Collino, DJ, 2002. Contribución del nivel freático al uso del agua de alfalfa en diferentes ambientes de la pampa argentina. Agrociencia 19, 11–18. Dardanelli, JL
- FAO 2012. Estudio FAO: Riego y Drenaje (Respuesta de rendimiento de los cultivos al agua. ISSN 0254-5284 pág. 222 y 223.
- Nosetto, M., Jobbágy, E., Brizuela, A., Jackson, R., 2012.El hidrológico Consecuencias del cambio de cobertura del suelo en el centro de Argentina. Agrícola ecosistema Reinar. 154, 2–11.
- Nosetto MD, RA Páez, SI Ballesteros & EG Jobbágy. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. Agric. Eco. & Environ. 206: 60-70.
- Mercau JL et al., 2016. Dinámica de las aguas subterráneas poco profundas en la Pampa: efectos sobre el clima, el paisaje y la elección de cultivos. Gestión del agua agrícola 163, 159-168.





EFECTO A LARGO PLAZO DE DIFERENTES LABRANZAS SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS DE UN PALEUDOL PETROCALCICO

Manso, M.L.^{1,*}

¹ Chacra Experimental Integrada Barrow (INTA-MDA);

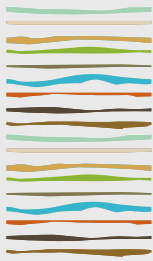
* Ruta Nacional 3, km 487, (7500) Tres Arroyos, Prov. de Buenos Aires, manso.lucrecia@inta.gob.ar

RESUMEN

El uso agrícola intensivo origina alteraciones de las propiedades físico-químicas del suelo, disminución de los contenidos de carbono orgánico (CO), alteración de los ciclos de los nutrientes, entre otras consecuencias. Las labranzas ejercen una marcada influencia sobre el funcionamiento del suelo y el comportamiento de los cultivos, condicionando las relaciones suelo-planta. Determinaciones edáficas como contenido de CO y nitrógeno potencialmente mineralizable (Nan) son considerados indicadores sensibles a los cambios producidos por los sistemas de labranza y prácticas de manejo, por lo cual permiten conocer el estado de calidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la rotación de cultivos en sistemas conservacionistas (siembra directa, SD) en comparación con el sistema bajo labranzas, sobre algunas propiedades químicas del suelo, luego de 25 años de agricultura. El ensayo se inició en 1997 en la Chacra Experimental Integrada Barrow (-38°18'5.53"S 60°14'24.80"W), en un suelo limitado por tosca (*Paleudol petrocalcico*), en el que se evaluaron dos sistemas de labranza: convencional (LC) y SD, y tres dosis de fertilización nitrogenada (testigo, dosis de suficiencia y dosis de mantenimiento). Presentó un diseño en bloques divididos con 3 repeticiones. La secuencia implementada fue maíz/soja/trigo/girasol/trigo. Las determinaciones se realizaron durante el otoño 2022, luego del cultivo de trigo. Se evaluó carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP, > 53 µm), nitrógeno de nitratos (N-NO₃), fósforo (Pe), y Nan. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa InfoStat, considerando un nivel de significancia del 5%. El COT presentó interacción significativa "labranza x profundidad", con mayor contenido en los primeros 5 cm en SD (2,54%), y los menores, de 20 a 40 cm con ambos sistemas de labranza. En el COP también se observó interacción "labranza x profundidad", siendo el valor superior en SD de 0-5 cm de profundidad (0,27%). El contenido de N-NO₃ no registró diferencias estadísticas entre labranzas, fertilización ni profundidades (0-20 y 20-40 cm). En cambio, Nan fue afectado por la interacción "labranza x fertilización", registrándose valores superiores bajo SD con las dos dosis de fertilizante nitrogenado (61 mg kg⁻¹). El Pe varió con el sistema de labranza y la dosis de nitrógeno, con contenidos mayores en SD (47,3 mg kg⁻¹) y en el caso de las parcelas sin fertilizar (47,7 mg kg⁻¹), respecto a las fertilizadas con N (38,4 y 37,2 mg kg⁻¹) con la dosis menor y mayor de N, respectivamente). Luego de 25 años de agricultura continua se observó efecto de los sistemas de labranza empleados en la mayoría de las propiedades químicas evaluadas. Si bien COP es más sensible que el COT para identificar cambios producidos por manejo, ambos mostraron diferencias entre labranzas y la estratificación bajo SD con la profundidad, asociado a la disposición de residuos en la superficie del suelo y la falta de remoción de este sistema. El Nan, indicador del aporte de nitrógeno por mineralización, también resultó ser sensible a las prácticas de manejo evaluadas, evidenciando la mayor sensibilidad de este parámetro en el diagnóstico de fertilidad que el contenido de N-NO₃.

Palabras clave: siembra directa, labranza convencional, carbono.





EFFECTO DE AGRICULTURA CONTINUA Y CULTIVO DE COBERTURA EN UN SUELO DEL CENTRO-SUR BONAERENSE. I-PROPIEDADES FÍSICAS

Zamora, M.S.^{1*}, M.L. Manso¹; R. Caro², D. Croce²

¹Chacra Experimental Integrada Barrow (INTA-MDA),

²Cooperativa Rural Ltda. Alfa;

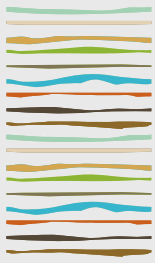
* Ruta Nacional 3, km 487, (7500) Tres Arroyos, Prov. de Buenos Aires,
zamora.martin@inta.gob.ar

RESUMEN

En la región se ha observado un notable avance de la soja respecto al resto de los cultivos de verano, descuidando las rotaciones planificadas, y determinando la simplificación de las secuencias, en su mayoría con escaso aporte de rastrojos y pobre cobertura del suelo. Esto plantea interrogantes sobre la existencia de procesos de degradación física, química y biológica, que generan cambios en la calidad del suelo y en la sustentabilidad del sistema. La inclusión de cultivos de servicio en estos sistemas podría aportar cobertura al suelo, incrementar la eficiencia de uso del agua, mejorar la condición física del suelo y aportar nitrógeno a través de la fijación biológica. El objetivo de este trabajo fue conocer el estado actual de la calidad física del suelo en función de dos manejos productivos diferentes y comparar estos resultados en relación a las condiciones originales del suelo. En un establecimiento de Copetonas, partido de Tres Arroyos (suelo serie Tres Arroyos (80%), Pillahuinco (10%) y Copetonas (10%)), se seleccionaron tres lotes con agricultura continua, con una secuencia trigo-girasol ó soja bajo siembra directa, tres lotes donde se incluyen cultivos de cobertura (CC) de avena-vicia en esa rotación y áreas que no han sido cultivadas (suelos prístinos). Se determinó densidad aparente (DAP) por el método del cilindro, resistencia mecánica a la penetración (RMP, penétrometro de cono Soil test) e infiltración (anillo simple). La DAP fue mayor en los lotes agrícolas (1,44 Mg m⁻³), seguido por CC (1,29 Mg m⁻³) y prístino (1,19 Mg m⁻³), y mayor de 10 a 20 cm de profundidad (1,36 Mg m⁻³) respecto a los 10 cm superiores (1,25 Mg m⁻³). La RMP medida hasta 30 cm de profundidad presentó diferencias entre tratamientos y entre profundidades. Fue superior en suelos prístinos (2 MPa), respecto a los suelos agrícolas (1,03 y 0,93 MPa en la secuencia con CC y sin CC, respectivamente) y desde los 10 a 17,5 cm (1,83 MPa) respecto a los estratos superiores e inferiores. La infiltración fue variable (CV: 26,6%) y no presentó diferencias estadísticas entre manejos (prístino: 377mm h⁻¹; agrícola: 270 mm h⁻¹; CC: 256 mm h⁻¹). Los lotes con inclusión de CC así como aquellos sin agricultura, presentaron menor densificación que los suelos agrícolas. Sin embargo, se observó mayor dureza en la situación prístina respecto a los agrícolas, lo que estaría asociado a la ausencia de remoción por prolongado lapso de tiempo. El valor registrado (2 MPa), es el considerado como umbral crítico para el crecimiento en longitud de las raíces. La infiltración tendió a ser mayor en los sitios sin disturbar, lo que a su vez reflejaría la mayor porosidad respecto a los suelos bajo agricultura, que aun con incorporación de CC no se logró obtener valores similares a la situación prístina.

Palabras clave: infiltración, densidad aparente, resistencia mecánica.





EVALUACIÓN DE LA DURACIÓN DEL BARBECHO COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD EN LA AGRICULTURA PAMPEANA

Marconato, U.^{1,2,*}, G. Posse¹

¹ Instituto de Clima y Agua, INTA, Buenos Aires, Argentina;

² Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina;

* Nicolas Repetto y de los Reseros S/N, (1686) Hurlingham, Prov. De Buenos Aires,
marconato.ulises@inta.gob.ar

RESUMEN

La agricultura sustentable propone utilizar los bienes y servicios ecosistémicos sin comprometer el capital natural. Este objetivo parece plantearse dentro de un compromiso entre aumentar la productividad actual y proteger el capital natural. Utilizar más eficientemente los recursos junto con mejores prácticas de manejo podría permitir eludir este compromiso. El objetivo de este trabajo fue evaluar la duración del período sin cultivo en la campaña agrícola como indicador de eficiencia y sustentabilidad, estudiando su relación con el balance de carbono y agua, el rendimiento y el retorno económico, para un lote bajo agricultura extensiva en siembra directa de la región pampeana entre 2013 y 2020. En las campañas agrícolas durante los cuales el suelo estuvo sin cultivo más de 138 días, el lote mostró pérdidas de carbono, se usó en promedio poco más de la mitad del agua disponible y tanto la producción de alimento como el margen bruto del productor fueron menores y más variables que en campañas agrícolas en las que el suelo estuvo menos de 138 días sin cultivo. Este estudio sugiere que si un lote agrícola es mantenido cubierto por vegetación viva más de la mitad del año, sus resultados económicos y ambientales mencionados anteriormente “persistirán” en el tiempo debido, por lo menos en parte, a que los recursos son usados más eficientemente. El número de días sin cultivo puede ser un indicador robusto y de fácil adopción, que mostró sensibilidad frente a cambios en variables biofísicas y económicas del lote en estudio.

Palabras clave: doble cultivo, balance de carbono, eficiencia en el uso del agua

INTRODUCCIÓN

La agricultura sustentable propone utilizar los bienes y servicios ecosistémicos para producir y satisfacer la demanda social sin comprometer capital natural, integrando procesos ecológicos, manteniendo los ingresos de los productores y sustituyendo insumos externos y costosos por capital humano (Pretty, 2008; Deytieux et al., 2016). Este objetivo parece plantearse dentro de un compromiso entre aumentar la productividad actual y proteger el capital natural. Usar los recursos más eficientemente en conjunto con mejores prácticas de manejo podría permitir eludir este compromiso (Keating et al., 2010).

Un indicador de sustentabilidad debe permitir resumir procesos, eventos o tendencias y comunicarlos de manera sencilla. En el caso de indicadores relacionados a la actividad agropecuaria y sus consecuencias ambientales, productores, científicos y otros actores sociales relacionados al sector parecen sostener una mirada escéptica entre ellos respecto de los indicadores que cada grupo utiliza (Freebairn & King, 2003).

Si una práctica de manejo mejora la producción agrícola y no genera daños ambientales, es probable que tenga beneficios relacionados con la sustentabilidad (Pretty, 2008). El barbecho es una práctica muy difundida



que consiste en mantener el suelo sin vegetación viva durante el invierno con el objetivo de acumular agua para el cultivo de verano. Sin embargo, su eficiencia está cuestionada debido a sus consecuencias negativas relacionadas con la erosión y el balance de carbono del suelo (Novelli et al., 2017; Posse et al., 2018). Complejizar las rotaciones incluyendo cultivos en invierno puede ayudar a compensar estas consecuencias sin comprometer sensiblemente el contenido hídrico para el cultivo siguiente (Piñeiro et al., 2014; Pinto et al., 2017).

La agricultura de granos en la región pampeana es una de las más productivas de la Argentina (Viglizzo et al., 2011) pero presenta varios rasgos de mezquindad (Jobbagy et al., 2021). Su estrategia de minimización de costos y estabilización de una rentabilidad media está basada en el uso de herbicidas, cultivos resistentes y extracción de nutrientes del suelo (Jobbagy et al., 2021). En los últimos 60 años, los suelos cultivados de la región perdieron carbono (Berhongaray et al., 2013) disminuyó la eficiencia en el uso del agua y aumentó el uso de pesticidas (Viglizzo et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la duración del período sin cultivo como indicador de eficiencia y sustentabilidad, estudiando su relación con el balance de carbono y agua, el rendimiento y el retorno económico, para un lote agrícola de la región pampeana entre 2013 y 2020. La hipótesis fue que la duración estimada como número de días en el año sin cultivo es un indicador robusto de estos parámetros y de fácil adopción, ya que es una característica que los productores conocen bien de su explotación agropecuaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo con una base de datos de un lote agrícola de la localidad de Carlos Casares, Prov. de Buenos Aires, Argentina, dentro de la Pampa Interior plana. El clima de la región es templado sub-húmedo, con una precipitación media anual de 1022 mm. El sitio de estudio tiene una rotación continua de 3 años que incluye soja, doble cultivo de trigo-soja y maíz, representativo de la región (de Abelleyra & Verón, 2020). La base de datos (Marconato et al., 2022) South American ecosystems (and croplands in particular incluye información sobre intercambio neto de carbono, evapotranspiración (ET), rendimiento de cosechas, insumos, lluvias, identidad y duración de cultivos. El margen bruto (U\$S/ha) se estimó a partir de las ediciones de la revista Márgenes Agropecuarios (2013-2020) correspondiente al mes de la cosecha e incluye costos directos (labores, insumos y aplicaciones), gastos de cosecha y comercialización.

El balance de carbono ecosistémico completo en tnC/ha se evaluó a través del Intercambio Neto de Carbono, obtenido de una torre micrometeorológica, incorporando las salidas de carbono por cosecha (Net Biome Productivity o **NBP**). Por convención, los valores negativos de NBP indican que el sistema gana carbono y los valores positivos indican que lo está perdiendo hacia la atmósfera. El uso del agua (%) se estimó como la diferencia entre la precipitación (P) obtenida de pluviómetros instalados en el lote y la evapotranspiración (ET) estimada desde una torre micrometeorológica, asumiendo que no hay escorrentía. La eficiencia en el uso del agua (EUA) se estimó como la relación entre el rendimiento (Kg/ha) y la ET (mm/ha) durante cada campaña agrícola. Todos los parámetros antes mencionados se estimaron para cada campaña agrícola de junio a mayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de días sin cultivo presenta una relación positiva con el intercambio neto de carbono estimado a través del NBP, mostrando valores más positivos (mayor pérdida de C) durante las campañas agrícolas en las cuales el suelo estuvo sin cultivo por más tiempo (Fig.1a). La función ajustada ($NBP \text{ (tnC/ha)} = 0,006525 * (\text{días}) - 0,8967$; $r^2:0,37$) sugiere que el sistema podría empezar a perder carbono a partir del día 138 sin cultivo (línea vertical, Fig. 1a). El sistema perdió en promedio 0,49 tnC/ha en las campañas agrícolas en las que se cosechó un solo cultivo (maíz o soja), con una pérdida mínima de 0,05 tnC/ha en 2014/2015 (Maíz) y una pérdida máxima de 0,82 tnC/ha en 2018/2019 (Soja) (Fig. 1b). Las campañas agrícolas en las que hubo doble cultivo, y por lo tanto menos de 138 días sin cultivo, muestran en promedio una ganancia de carbono de 0,66 tnC/ha pero con mayor variabilidad, con un secuestro de carbono máximo de 2,8 tnC/ha en 2016/2017 y una pérdida de 1 tnC/ha en 2013/2014 (punto rojo en Fig. 1a). Durante la campaña 2013/2014



(punto rojo en Fig. 1a), más precisamente en diciembre 2013 y enero 2014, se registraron precipitaciones equivalentes a la mitad del promedio histórico para esos meses (137 mm vs 258 mm) y la temperatura fue 2°C más alta que el promedio (~25,5 °C vs ~23,4 °C). Esto generó que se registren las pérdidas de carbono más grandes de toda la serie 2013-2020.

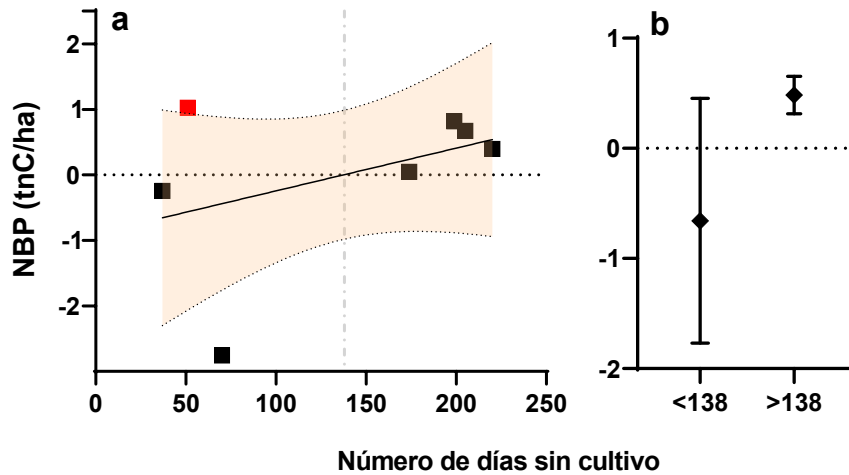


Figura 1. Relación entre el número de días al año sin cultivo y el intercambio neto de carbono (NBP en tnC/ha). Valores negativos indican ganancias de carbono y valores positivos indican pérdidas de carbono del sistema. (a) Cada punto corresponde a una campaña agrícola de doce meses (de junio a mayo). La función ajustada $(NBP(tnC/ha) = 0,006525*(días) - 0,8967; r^2=0,37)$ empieza a tomar valores positivos (pérdida de C) desde $X=138$, señalado con la línea punteada vertical gris. El punto rojo corresponde a la campaña agrícola 2013/2014. El sombreado rosa alrededor de la recta es el intervalo de confianza del 95% de la regresión. (b) Intercambio neto de carbono (NBP en tnC/ha) para campañas agrícolas agrupadas según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo. Los símbolos muestran la media \pm error estándar.

Estos datos sugieren que un lote agrícola en la región de estudio podría perder carbono durante las campañas agrícolas durante las cuales el suelo esté sin cultivo más de 138 días. Asimismo, en las campañas agrícolas con doble cultivo el balance de carbono podría ser positivo, mantenerse neutral o mostrar pérdidas en condiciones climáticas muy desfavorables. Existe consenso en el fuerte impacto negativo del barbecho sobre el balance de carbono de los agroecosistemas, llegando incluso a perder más de la mitad del carbono ganado durante la temporada de crecimiento (Posse et al., 2018). Las rotaciones que incluyen cultivos de invierno, cobertura o de servicios ayudan a compensar estas pérdidas de carbono (Pinto et al., 2017) yet its role in the regional C budget is not fully understood. There is concern that climate change, particularly altered precipitation patterns, may induce a shift in how crops exchange CO₂ with the atmosphere. This study examined the seasonal and interannual variation in net ecosystem exchange (NEE).

El agua se usó de manera más exhaustiva durante las campañas agrícolas en las que el suelo estuvo menos días sin cultivo. En las campañas con más de 138 días sin cultivo, se usó en promedio el 62% del agua disponible, mientras que en las campañas con menos de 138 días sin cultivo se usó un 73% en promedio, un 11% más (Fig. 2a). En cuanto a la eficiencia de su uso respecto al rendimiento (EUA, fig. 2b), las campañas agrícolas se agruparon según el tipo de cultivo cosechado. Las campañas con doble cultivo muestran una EUA similar a los años en los que se cosechó maíz, entre 300 kg/mm y 400 kg/mm. Asimismo, las pruebas t para diferenciar entre medias no mostraron diferencias significativas entre grupos (>138 y <138 días sin cultivo), debido probablemente al alto consumo de agua del cultivo de maíz.



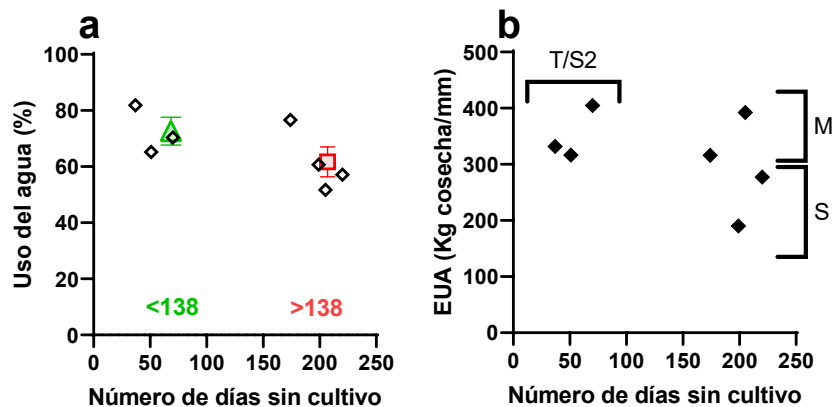


Figura 2. Relación entre el número de días sin cultivo y variables relacionadas al uso del agua. Cada punto corresponde a una campaña agrícola de doce meses (de junio a mayo). (a) Uso del agua (%): Porcentaje del agua precipitada que fue evapotranspirada durante el año calendario. En color se muestra la media ± error estándar de los valores agrupados según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo: menos de 138 días 73 ± 4,9% (verde); más de 138 días: 62 ± 5,3% (rojo). (b) EUA: Eficiencia en el uso del agua estimada como la relación entre lo cosechado (Kg/ha) y la ET (mm/ha) durante ese año calendario. En corchetes se muestra como se agrupan los años según los cultivos que en él fueron cosechados (T/S2: Trigo y Soja de segunda; M: Maíz y S: Soja).

El agua disponible en campañas con doble cultivo se utilizó un 11% más exhaustivamente y la eficiencia de su uso fue similar a las campañas con maíz, pero superior a las campañas con soja. En términos generales, los cultivos de maíz muestran valores mayores de EUA que los cultivos de leguminosas y de trigo (Gilmanov et al., 2014). El cultivo de maíz puede fijar hasta un 74% más de carbono usando sólo un 20% más de agua que la soja, debido a que alcanza un área foliar mayor más temprano en la temporada de crecimiento y a sus características fisiológicas como especie C_4 (Suyker & Verma, 2010). Atmospheric warming due to anthropogenic greenhouse gases is enhancing demands for water inputs in agriculture. Accurate information on crop-ecosystem water use efficiencies [EWUE, amount of CO₂ removed from the soil-crop-air system per unit of water used in evapotranspiration (ET). Además, el uso más exhaustivo del agua cuando se siembra un doble cultivo puede reducir el riesgo de inundaciones en la primavera (Mercau et al., 2016).

El rendimiento (Kg/ha) fue mayor en las campañas durante las cuales el suelo estuvo menos días sin cultivo (Fig. 3a, r^2 : 0,63; $p < 0,05$). Los ingresos del productor estimados a través del margen bruto (U\$S/ha) fueron mayores en promedio en campañas agrícolas con menos de 138 días sin cultivo (Fig. 3b y 3c; 556 ± 216 U\$S/ha vs 324 ± 421 U\$S/ha, media ± IC95). Las campañas agrícolas con más de 138 días sin cultivo tuvieron un margen bruto menor en promedio y mucho más variable entre campañas, con una ganancia máxima de 533 U\$S/ha en 2018/2019 y una pérdida de 44 U\$S/ha en 2014/2015. Estos resultados sugieren que la variabilidad del margen bruto es mucho mayor en campañas con un cultivo simple, mientras que en planteos con doble cultivo parece ser un parámetro más estable. En la Figura 3b (triángulos grises, MBcDC) se muestra además el margen bruto que se hubiera obtenido si en las campañas con cultivo simple se hubiera incluido un cultivo de invierno como el trigo, asumiendo que esto no hubiera afectado el rendimiento del cultivo de verano (Restovich et al., 2012; Pinto et al., 2017). En todas las campañas, excepto en la campaña 2014/2015, esto hubiera significado un aumento promedio del ingreso del productor de entre el 11% y el 43%.

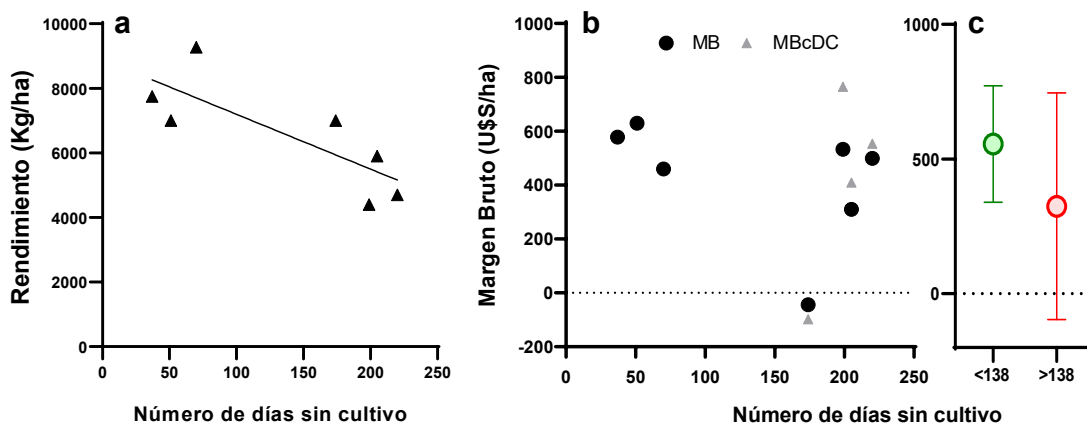


Figura 3. Relación entre número de días sin cultivo y la producción de alimento y el margen bruto por hectárea. Cada punto representa una campaña agrícola de doce meses de junio a mayo. (a) Rendimiento cosechado (kg/ha) por campaña agrícola = $-16,97 \cdot \text{días} + 8892$ (b) Círculos negros: Margen bruto (U\$/ha) estimado. Triángulos grises: (MBcDC) Margen bruto (U\$/ha) estimado si en esa campaña se hubiera hecho un doble cultivo con trigo. (c) Media \pm IC95 de los valores agrupados de margen bruto (U\$/ha) estimado (círculos negros) según si tuvieron más o menos de 138 días sin cultivo: menos de 138 días 556 ± 216 U\$/ha (verde); más de 138 días: 324 ± 421 U\$/ha (rojo).

El número de días sin cultivo de un lote mostró ser un indicador sensible al rendimiento y a la rentabilidad del productor. El rendimiento (Kg/ha) fue mayor cuanto menor fue el número de días sin cultivo debido principalmente a que durante esos períodos se sembraron y cosecharon dos cultivos. El margen bruto (U\$/ha) se mantuvo más estable y en promedio fue más alto durante las campañas con doble cultivo, mientras que en cultivos simples fue mucho más variable. Andrade et al. (2022) encontraron resultados similares comparando planteos con doble cultivo y monocultivo de soja en la región de estudio: márgenes brutos entre 11 y 13% mayores, menor variabilidad y rendimientos entre 41 y 51% mayores. Poca variabilidad en los ingresos del productor son rasgos de una agricultura más sustentable (Pretty, 2008; Deytieux et al., 2016). Esto es algo destacable ya que una de las dificultades para la adopción de esta práctica por parte de productores es el temor que genera el riesgo asociado a las grandes inversiones que permiten alcanzar el máximo retorno económico (Keating et al, 2010).

CONCLUSIONES

El número de días que un lote agrícola permanece sin cultivo es un indicador robusto, de fácil adopción para los productores a escala de lote, que mostró sensibilidad frente a cambios en variables biofísicas y económicas del lote en estudio. Este estudio sugiere que si un lote agrícola es mantenido cubierto por vegetación viva más de la mitad del año, sus resultados económicos y ambientales mencionados anteriormente “persistirán” en el tiempo debido, por lo menos en parte, a que los recursos son usados más eficientemente. Sin embargo, este trabajo no incluyó las emisiones relacionadas con la energía utilizada en los laboreos ni las aplicaciones de fertilizantes y pesticidas, que podrían achicar la brecha entre ambas situaciones ni la generación de empleo. Por otro lado, teniendo en cuenta que los sistemas agrícolas están manejados por personas con una gran variedad de perspectivas, cobra importancia la inclusión de aspectos “blandos” de los sistemas en indicadores, relacionados al comportamiento de los individuos y la comunidad (Freebairn & King, 2003).

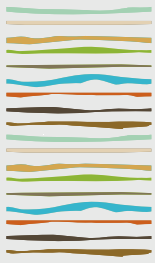
BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J. F., Ermacor, M., & Satorre, E. H. (2022). Assessing benefits of land use intensification on extensive grain cropping systems of the Pampas. *European Journal of Agronomy*, 135, 126484. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2022.126484>
- Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J., Caride, C., & Cantet, R. (2013). Land use effects on soil carbon in the Argentine pampas. *Geoderma*, 192(1), 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.016>
- de Abelleira, D., & Verón, S. (2020). Crop rotations in the Rolling Pampas: Characterization, spatial pattern and its potential controls. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100320. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2020.100320>



- Deytieux, V., Munier-Jolain, N., & Caneill, J. (2016). Assessing the sustainability of cropping systems in single-and multi-site studies. A review of methods. *European journal of agronomy*, 72, 107-126.
- Freebairn, D. M., & King, C. A. (2003). Reflections on collectively working toward sustainability: indicators for indicators!. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(3), 223-238.
- Gilmanov, T. G., Baker, J. M., Bernacchi, ... Wylie, B. K. (2014). Productivity and carbon dioxide exchange of leguminous crops: Estimates from flux tower measurements. *Agronomy Journal*, 106(2), 545–559. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0270>
- Jobbágy, E. G., Aguiar, S., Piñeiro, G., & Garibaldi, L. A. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. *Revista Ciencia Hoy*. Volumen 29 número 173.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crop science*, 50, S-109.
- Marconato, U., Fernández, R. J., & Posse, G. (2022). Cropland Net Ecosystem Exchange Estimation for the Inland Pampas (Argentina) Using EVI, Land Cover Maps, and Eddy Covariance Fluxes. In *Frontiers in Soil Science* (Vol. 2). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsoil.2022.903544>
- [Margenes Agropecuarios \(2013-2020\)](https://www.margenes.com/). Disponible en: <https://www.margenes.com/>
- Mercau, J. L., Nosoetto, M. D., Bert, F., Giménez, R., & Jobbágy, E. G. (2016). Shallow groundwater dynamics in the Pampas: Climate, landscape and crop choice effects. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.013>
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., & Piñeiro, G. (2017). Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil and Tillage Research*, 165, 128–136. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2016.08.008>
- Pinto, P., Fernández Long, M. E., & Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248(August), 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028>
- Piñeiro, G., Pinto, P., Arana, S., Sawchik, J., Díaz, J. I., Gutiérrez, F., & Zarza, R. (2014). Cultivos de Servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. *XXVI Reunión Argentina de Ecología*. *Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*. Chubut, Argentina, 02-05.
- Posse, G., Lewczuk, N., Di Bella, C., Richter, K., Oricchio, P., & Hilbert, J. (2018). Impact of land use during winter on the balance of greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 34(4), 525–532.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- Restovich SB, Andriulo AE, Portela SI. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *F Crop Res* (2012) 128:62–70. doi:10.1016/J.FCR.2011.12.012
- Suyker, A. E., & Verma, S. B. (2010). Coupling of carbon dioxide and water vapor exchanges of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems and water productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.01.020>
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbágy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., ... & Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959-973.





MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Micheloud, E.N.^{1*}, J. Bocco², R.P. Marano^{1,2}

¹ ICiAgro Litoral, UNL, CONICET, FCA. Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe;

² Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe.

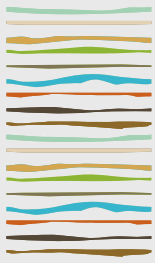
*eli_micheloud@hotmail.com.

RESUMEN

Los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) son muy utilizados para representar la superficie del suelo y extraer características del relieve que permitan la modelación hidrológica. Los mapas de pendientes, líneas de flujo, mapas de acumulación y dirección de escurrimiento, son elementos que hacen posible la delimitación y caracterización de una cuenca hidrográfica. No obstante, la resolución de los MDE y el método con el cual se interpolan los datos influyen directamente en la calidad de los resultados. El objetivo de este trabajo fue validar un MDE del Instituto Geográfico Nacional (IGN) con puntos de elevación obtenidos a campo con una Estación Total, para ser aplicado en la delimitación y caracterización morfométrica de una microcuenca. La metodología consistió en utilizar el software QGis para extraer datos de elevación en formato vectorial de puntos desde un MDE aerofotogramétrico con resolución espacial de 5 m que distribuye el IGN, del cual se filtraron y eliminaron sectores correspondientes a vegetación arbórea y edificaciones. En el entorno del software RStudio se empleó el método geoestadístico de interpolación Kriging Universal para predecir los valores de altura a partir de los datos extraídos del MDE del IGN, ajustando el semivariograma experimental con el modelo teórico Gaussiano y generando un nuevo MDE de 5 m de resolución espacial. Se realizó una validación cruzada de este MDE utilizando como puntos de control los datos registrados a campo cada 40 m con una Estación Total. También se aplicó el método Kriging Universal a estos puntos observados, destinando un 80 % de los datos para la predicción y el 20 % restante para su validación. Se usaron herramientas de QGis en ambos MDE para obtener mapas de dirección de escurrimiento, redes de drenaje, delimitar una microcuenca y hacer una comparación de los parámetros morfométricos derivados. Para comprobar la exactitud de los MDE al hacer la validación cruzada, se calculó la raíz del error cuadrático medio (RMSE) siendo de 0,1455 para el MDE producto de los datos observados, y de 0,0977 para la predicción a partir de puntos del MDE del IGN. La microcuenca delimitada con el MDE de los datos observados presentó una superficie de 78 ha, pendiente media de 0,99 % con una vía de escurrimiento de 1343 m de longitud. Mientras que, la misma microcuenca delimitada a partir de la interpolación de los datos del IGN tiene una superficie de 77 ha, pendiente media de 1,16 % y una vía de escurrimiento de 1417 m. Al observar la similitud de las características morfométricas de la microcuenca delimitada con datos de las distintas fuentes (MDE del IGN y relevamiento con Estación Total) y, considerando los pequeños valores de RMSE encontrados al hacer validación cruzada, se concluye que es factible utilizar el MDE de 5 m de resolución espacial del IGN con un proceso previo de filtrado, ahorrando tiempo y dinero, para realizar una adecuada caracterización morfométrica de la microcuenca en estudio. Además, se considera que los productos obtenidos pueden ser aplicados en modelos de simulación de procesos hidrológicos.

Palabras clave: modelación, topografía, geoestadística.





CULTIVOS DE COBERTURA EN SUELOS FRANCOLIMOSOS COMO ANTECESORES DE ALGODÓN EN SIEMBRA DIRECTA

Mieres L.N.^{1,*}, M.S. Roulet², M.J. Sandoval¹, H. Lorenzini¹, J.M. Spontón¹

¹ Manejo de cultivos y

² Agroecología. INTA EEA Reconquista (<https://inta.gob.ar/reconquista>)

* Ruta Nacional 11 km 773 Reconquista, Santa Fe (3561) mieres.luciano@inta.gob.ar

RESUMEN

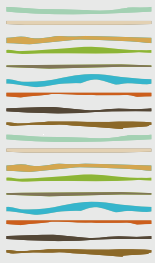
Intensificar las secuencias de cultivos agrícolas, presenta un desafío actual en ambientes subtropicales de producción de algodón de Argentina, ya que se requiere aportar más rastrojos y cubrir los suelos para conservarlos. El uso de maíz como antecesor de algodón, además del volumen de residuos que deja, permitiría introducir cultivos de cobertura otoñales.

Se realizaron estudios de esta práctica en EEA Reconquista, Santa Fe, sobre ensayos de larga duración con diseño en bloques completos al azar. Sobre la secuencia maíz/algodón/sorgo, se evaluó dos tratamientos antecesores de algodón durante 6 campañas (Maíz vs Maíz+cultivo cobertura). Cada campaña consideró un cultivo de cobertura distinto: Trigo, Avena strigosa, Caupí, Caupí, Crotalaria júncea y Crotalaria ochroleuca, que aportaron entre 3412 y 5231 kg materia seca ha⁻¹. Se evaluó el suelo cada año previo a la siembra de algodón, considerando de 0 a 20 cm, el Carbono Orgánico (C.O; método Walkley y Black), Fósforo extractable (Pext; método Bray-Kurtz-1) y Nitrógeno mineral disponible (NO₃; destilación por arrastre de vapor). En combinación con los antecesores Mz y Mz+Cc, también se evaluó el rendimiento en fibra de algodones adensados (sembrados en octubre a 0,52 m entre líneas y 200.000 plantas ha⁻¹) ante condiciones sin fertilización vs 100 kg ha⁻¹ fosfato diamónico (NP). El mayor cambio en suelo, estuvo dado por el NO₃. Fue bajo como consecuencia del antecesor y varió entre 36 a 71 mg kg⁻¹ durante 6 campañas evaluadas. Se presentaron diferencias significativas en tratamientos maíz (Mz) y maíz-cultivo de cobertura (Mz+Cc) cuando estos los cultivos de cobertura fueron Caupí o Crotalaria (2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22). En esos casos el incremento medio de NO₃ fue 29% comparado con Mz. Las gramíneas de cobertura (2015/16 y 2017/18) no modificaron el NO₃ respecto a Mz. También se presentaron baja disponibilidad de Pext, (14 a 17 mg kg⁻¹), y bajas concentraciones de C.O. (0,96 a 1,01 %). El uso de Mz+Cc no alteró en el corto plazo el contenido de C.O. y la disponibilidad de Pext. El rendimiento medio de fibra de Mz+Cc con fertilización inicial NP (1131 fibra ha⁻¹) fue significativamente mayor (20%) respecto del antecesor Mz sin fertilización (904 kg fibra ha⁻¹). No se presentaron diferencias en rendimiento entre antecesor Mz con fertilización inicial NP (1031 fibra ha⁻¹) versus Mz+Cc sin fertilización (985 fibra ha⁻¹). La condición hídrica de déficit hídrico (2021/22), exceso (2015/16, 2018/19 y 2019/20), pérdida del cultivo (2016/17) y distribución adecuada (2017/18 y 2020/21) fue lo que más influyó el rendimiento, generando variaciones en la componente peso de fibra por capsula, entre 0,6 a 2,4 gr en 6 campañas, que se asociaron linealmente al mismo (R²=0,66).

Como conclusión, realizar Mz+Cc leguminoso permite en el corto plazo incremento en NO₃. Para aumentar el rendimiento se requiere en primer lugar que esta práctica presente una condición hídrica favorable con lluvias abundantes, como también realizar ajustes nitrogenados con fertilización inicial.

Palabras clave: nitrógeno, crotalaria, fertilizante.





TASAS DE SECUESTRO SIMULADAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS Y MANEJOS

Milesi Delaye, L.A.¹, A. Irizar¹, S. Restovich¹, A. Andriulo¹

¹ Estación Experimental Agropecuaria Pergamino; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria;

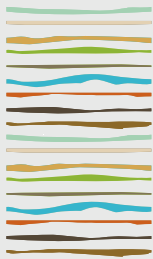
* Ruta 32, km 4,5, (2700) Pergamino, Prov. de Buenos Aires, milesi.luis@inta.gob.ar

RESUMEN

La materia orgánica del suelo regula la mayoría de las funciones ecosistémicas del mismo. Pequeñas variaciones en su contenido pueden impactar a escala local o de lote (disponibilidad de nutrientes, infiltración), regional (regular excesos hídricos) y global (cambio climático). Actualmente, existen iniciativas a nivel global que posicionan a los suelos bajo agricultura con un rol preponderante para secuestrar carbono y colaborar con la mitigación del cambio climático. El objetivo de este trabajo fue estimar los cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo (COS) asociados a cambios en el uso y manejo de la tierra en situaciones sin erosión del partido de Pergamino (Bs. As., pampa ondulada), mediante el modelo AMG. Se realizaron proyecciones a 20 años de 525 escenarios, construidos a partir de: a) 21 manejos actuales o puntos de partida de COS, 13 correspondientes a cultivos de grano (CG), 5 a cultivos de grano y cultivos de cobertura (CG+CC) y 3 a pastura temporaria (PT); b) 25 manejos futuros, 7 de CG, 6 de CG+CC, 3 de CG+CC+PT, 6 de CG+PT y 3 pastura permanente (PP); c) contenido de arcilla promedio representativo del partido de Pergamino. Las reservas de COS se expresaron a una masa de suelo de 2200 Mg ha⁻¹ y el tamaño del pool de COS estable del modelo AMG se ajustó a partir de información de seguimiento de largo plazo de la abundancia natural del ¹³C. La información de los 25 manejos futuros provino de tratamientos de ensayos de larga duración (24) y de información de expertos (1). Ésta información se utilizó para estimar los aportes de carbono y los coeficientes de humificación promedio de cada manejo futuro. El manejo actual PT partió de valores de reservas de COS más elevadas, CG+CC intermedios y CG desde valores más bajos (42,13; 39,66 y 36,46 Mg ha⁻¹, respectivamente). El punto de partida tuvo un peso muy importante sobre el sentido y la magnitud de las tasas anuales de secuestro de COS. Los escenarios actuales basados en CG mostraron las mayores tasas de secuestro ante cambios en el uso y/o manejo del suelo (0,34 ± 0,09 Mg ha⁻¹ año⁻¹), aún bajo escenarios futuros de CG mientras que el cambio a CG en situaciones con reservas de COS mayores mostraron tasas de secuestro negativas (-0,08 ± 0,08 Mg ha⁻¹ año⁻¹). La inclusión de CC, PT o su combinación siempre mostraron tasas de secuestro de COS de 0,27 ± 0,10 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Por último, el cambio a PP presentó la mayor tasa de secuestro de COS en los tres escenarios de partida (0,380 ± 0,128 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Nuestros resultados muestran que la metodología utilizada permite diferenciar usos y manejos, reducir la incertidumbre en relación a los cambios futuros en las reservas de COS y colaborar en la toma de decisión para el rediseño de los sistemas de producción. La agricultura puede ocupar un rol importante en la mitigación del cambio climático, con mayor impacto en situaciones más degradadas.

Palabras clave: balance de carbono, modelización, sustentabilidad.





FERTILIZACIÓN Y ASOCIACIÓN DE CULTIVOS HORTI-FLORICOLAS: IMPACTO SOBRE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y CARBONO TOTAL DEL SUELO

Mónaco, J.M.¹, A.C. Sokolowski^{1*}, B. Prack Mc Cormick¹, H. Rodríguez¹, J. Wolski¹, M. Barrios¹, J. De Grazia¹, I. Paladino^{1,2}, S. Debelis.¹

¹Universidad Nacional de Lomas de Zamora, FCA; Ruta 4 - Km 2 (CP1836); Llavallol; Buenos Aires;

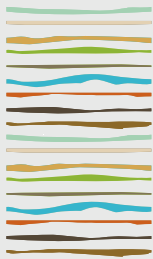
² INTA AMBA soko576@hotmail.com

RESUMEN

El uso de fertilizantes y/o enmiendas es habitual entre los productores horti-florícolas del cinturón verde bonaerense de la Provincia de Buenos Aires. En estas producciones tanto tradicionales como agroecológicas es recurrente el empleo de cama de pollo por su beneficio sobre las propiedades físicas de suelo, y su aporte de materia orgánica y nutrientes, lo que es complementado con fertilizantes inorgánicos. Si bien, las prácticas de manejo impactan sobre las propiedades del suelo como la Estabilidad Estructural (EE) y el Carbono Orgánico Total (COT), los estudios de suelos son poco frecuentes en estas producciones. En este sentido, el objetivo del trabajo fue estudiar el comportamiento de la EE y el COT bajo distintas fuentes de nutrientes y cultivos horti-florícolas. El ensayo fue realizado en un campo ubicado en la sede experimental de Santa Catalina, Partido de Lomas de Zamora, Buenos Aires. El diseño experimental fue completamente aleatorizado en arreglo factorial con tres repeticiones. Dentro del factor cultivo se trabajó con haba (*Vicia faba*) pura, conejón (*Antirrhinum majus*) puro y cultivo mixto (conejón y habas) y dentro del factor fuente de nutriente se incluyó: Cama Pollo (CP) compostada un año, Fertilizante Químico (FQ) YaraMila_Hydrocomplex NPK 12-4,8-15 y un testigo (T). Se aplicaron 10,6 kg de CP en peso seco 15 días antes de la siembra y se aplicaron 220 gr de FQ por parcela en presiembra y al mes de la siembra. Sobre muestras de suelo tomadas a la cosecha se determinó COT según Walkey y Black y, Humectación rápida (Hrap), Humectación lenta (Hlen), disgregación en etanol (Heta) y PromE por el método de Le Bissonnais. Se utilizó el test de Tuckey para determinar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. No se observó interacción entre factor cultivo y factor fuente de nutrientes para ninguna de las variables estudiada por lo que los factores se estudiaron por separado. En el factor cultivo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) ni en COT ni en PromE. En cuanto al factor fuente de nutriente, las parcelas bajo CP presentaron mayores valores de COT respecto a T y FQ (CP 1,86 % vs FQ 1,55 % y T 1,45 %, $p < 0,05$). La clase de estabilidad de agregados de los tres tratamientos resultó muy estable y sin diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$). Sin embargo, se observa una tendencia a presentar mayores valores de PromE; Hrap y Hlen en las parcelas bajo CP. Por último, se encontró que existe correlación entre COT y PromE (Correlación Pearson $p < 0,05$). Si bien se empiezan a percibir algunos cambios se requiere más tiempo para la incorporación del COT en el complejo arcillo húmico del suelo para el incremento significativo de la EE de los agregados del suelo. El uso de enmiendas orgánicas en reemplazo de la fertilización tradicional puede mejorar algunos indicadores de calidad del suelo, pero se debe realizar un monitoreo del mismo.

Palabras clave: horticultura, fuente de nutrientes, propiedades.





DINÁMICA DEL AGUA EN EL CULTIVO DE MAÍZ: EFECTO DEL RIEGO POR SURCOS ALTERNOS

Neffen, E.^{1,2}, R.S. Martínez^{1,2}, L.G. Reinoso^{1,2}

EEA INTA Valle Inferior Río Negro, (8500) Viedma, Argentina.

*Autora de contacto: neffen.evelyn@inta.gob.ar.

² Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica. (8500) Viedma, Argentina.

RESUMEN

El presente estudio caracterizó diferentes manejos de riego y su relación con el cultivo de maíz (eficiencia en el uso del agua y productividad). Los 6 tratamientos se establecieron combinando 2 frecuencias de riego: alta frecuencia (AF) con un factor de agotamiento (p) de 0,6: periodo medio entre riegos de 10 días y baja frecuencia (BF) con un p de 0,4: periodo entre riegos de 16 días; y 3 técnicas de distribución del agua en los surcos: riego por surco Tradicional (RST), riego por surco Alterno reducido (RSA) y riego por surcos Alterno doble boquilla (RSAD). RST y RSAD aplicaron la misma cantidad de agua. De las técnicas bajo estudio, el RSA con BF se destacó con una eficiencia de aplicación (EA) de 85%. Los tratamientos que presentaron un equilibrio entre el agua requerida y aplicada, se asociaron a los mayores valores de eficiencia en el uso del agua (EUA), productividad del agua (PA) y rendimiento. La técnica de RSA presentó los mayores valores de EUA, 2,3 Kg.m⁻³, de PA 2,9 Kg.m⁻³ y de rendimiento de grano 18950 kg.ha⁻¹. Los manejos RSA y RSAD expresaron un rendimiento superior, 20% más que el RST. Considerando las condiciones de uniformidad del estudio en cuanto al plan de fertilización y utilización de un único híbrido de maíz para todos los tratamientos, las diferencias de rendimiento registradas, evidencian una influencia de las técnicas de riego respecto de la dinámica de nutrientes del suelo, especialmente cuando se comparan RST y RSAD, ya que aplicaron la misma cantidad de agua por unidad de riego. Las frecuencias de riego bajo estudio, no registraron diferencias estadísticas en el rendimiento de grano, aunque una reducción moderada del agua de riego del 15%, asociada a BF, permitió aumentar un 10% la EUA sin disminuir el rendimiento.

Palabras clave: Riego por surco alterno, eficiencia en el uso del agua, *Zea mays L.*

INTRODUCCIÓN

El Valle Inferior del río Negro presenta un 90% de su superficie productiva con el método de riego gravitacional, producto de una serie de obras hidráulicas de conducción y distribución del agua que permiten su desarrollo desde la década del 70'. La superficie regable del valle muestra un aumento de su superficie productiva desde 2005, con predominancia de cultivos de especies forrajeras, luego frutales, cereales y hortalizas. Actualmente existen 24.000 hectáreas bajo riego, parceladas en 500 chacras aproximadamente. En cuanto a la producción de maíz, la superficie sembrada está en aumento, debido a su alto rendimiento y uso en la producción animal.

Según trabajos realizados por el INTA Valle Inferior en condiciones hídricas y nutricionales óptimas el rendimiento potencial supera las 18 toneladas por hectárea. (Reinoso *et al.*, 2014; Neffen, 2020). Sin embargo, diversos factores, entre otros, la heterogeneidad de los suelos, el manejo del agua, la aplicación de fertilizantes y el control de malezas hacen que no se observe en grandes extensiones altos rendimientos (Martínez *et al.*, 2012).



Diversos autores estiman bajas eficiencias de riego gravitacional en promedio para el país (35-40%), encontrándose en el Valle Inferior de Rio Negro valores similares (Lui *et al.*, 2012). Una de las prácticas que aumentan la eficiencia de riego es el riego por surco alterno (RSA), consiste en regar un surco dejando el surco adyacente sin regar, ya que permite la distribución del agua con una menor lámina (Arbat *et al.*, 2009). En el presente estudio se destaca la importancia del manejo del agua y su vinculación con la posibilidad de lograr rendimientos potenciales en el cultivo de maíz. Por lo cual estudiar la dinámica del agua y su relación con el cultivo de maíz (crecimiento, desarrollo, eficiencia en el uso del agua y productividad), bajo diferentes técnicas de manejo y frecuencia de riego por surco es fundamental para optimizar el uso del agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior de Rio Negro (EEAVI), sobre la serie Chacra (Guerra *et al.*, 1966): 40° 47' Sur y 63° 03' Oeste, descripta por FAO como suelos moderadamente profundos, se han desarrollado como sobre material franco, arcillo limoso, moderadamente drenados.

El criterio para planificar la distribución de los riegos se fundamentó en un balance de agua simplificado (Allen *et al.*, 1998), en donde la evapotranspiración de referencia (Eto) se estimó con el software CROPWAT 8.0 con datos agroclimáticos históricos (1965-2017) y los siguientes valores de coeficiente de cultivo (kc) (inicial 0,6, medio 1,2 y final 0,4). Para establecer las frecuencias de riego se utilizó el factor de agotamiento (p) según la tolerancia del maíz al déficit hídrico, 0,4 para alta frecuencia (AF) y 0,6 baja frecuencia (BF), recomendada tanto en bibliografía internacional como estudios locales.

Todos los tratamientos se regaron con mangas de polietileno flexible con compuertas de plástico regulables de 50 mm de diámetro (erogan entre 1-3 L.s⁻¹) y se establecieron 3 técnicas/manejo:

RST (riego por surco tradicional o convencional): todos los surcos regados, una boquilla por surco.

RSAD (riego por surco alterno doble): mitad de los surcos regados, dos boquillas por surco que equiparan la misma cantidad de agua aplicada en RST.

RSA (riego por surco alterno reducido): mitad de los surcos regados, una boquilla por surco.

Tabla 1: Tratamientos evaluados en el ensayo de riego en maíz.

Factor 1: Frecuencia	Factor 2: Técnica		
	Tradicional (RST)	Alterno (RSA)	Alterno doble (RSAD)
Alta (AF)	RST_AF	RSA_AF	RSAD_AF
Baja (BF)	RST_BF	RSA_BF	RSAD_BF

El ensayo tuvo una superficie aproximada de 10.000 m² nivelada a láser, dividido en 16 parcelas iguales (6 tratamientos de riego con tres repeticiones cada uno). Las unidades experimentales estuvieron estratificadas en parcelas divididas, organizadas en bloques con aleatorización restringida. El tiempo de riego se estableció cuando en la mitad de los surcos evaluados el agua llegó al final del mismo. Los surcos presentaron 100 metros de largo y 0,7 metros de ancho y se bloquearon al final para evitar pérdidas por escorrentía.

Se utilizó un híbrido de maíz de ciclo intermedio, se aplicaron valores óptimos de fósforo y nitrógeno según el criterio de extracción de nutrientes del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) (Ciampitti & Garcia, 2007), específicamente 75 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico (11-52-0) en la línea de siembra y 350 ha⁻¹ de Urea (46-0-0) en dos dosis. La siembra se realizó mecánicamente noviembre.

La determinación de la lámina de reposición u objetivo para el cultivo se calculó por la suma de evapotranspiración para la temporada en estudio y se contrastó con el método directo gravimétrico en 3 lugares por réplica. En el último método se afectó por la profundidad de enraizamiento y densidad aparente del suelo.

El desempeño de riego se caracterizó según: Eficiencia de aplicación (EA), cociente entre el volumen de agua



almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua aplicado en la parcela; Eficiencia de almacenaje (EAL), relación entre la lámina almacenada en el perfil después del riego, respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar y Uniformidad de Distribución (UD) definida como la relación entre la menor lámina media infiltrada en la unidad de riego respecto del valor de lámina media infiltrada en todo el perfil.

Los componentes del rendimiento de cultivo se determinaron cuando la humedad de grano promedio fue del 30 %, se cosecharon en R6 todas las espigas en forma manual sobre los dos surcos centrales de cada unidad experimental, en 3 lugares por réplica.

La productividad de agua (PA), y la eficiencia de uso del agua (EUA), se calcularon a través de los cocientes (Van Halsema & Vincent, 2012; Caviglia *et al.*, 2004):

PA = rendimiento / (agua consumida= evapotranspirada) (kg.m⁻³)

EUA = rendimiento /agua aplicada (kg.m⁻³)

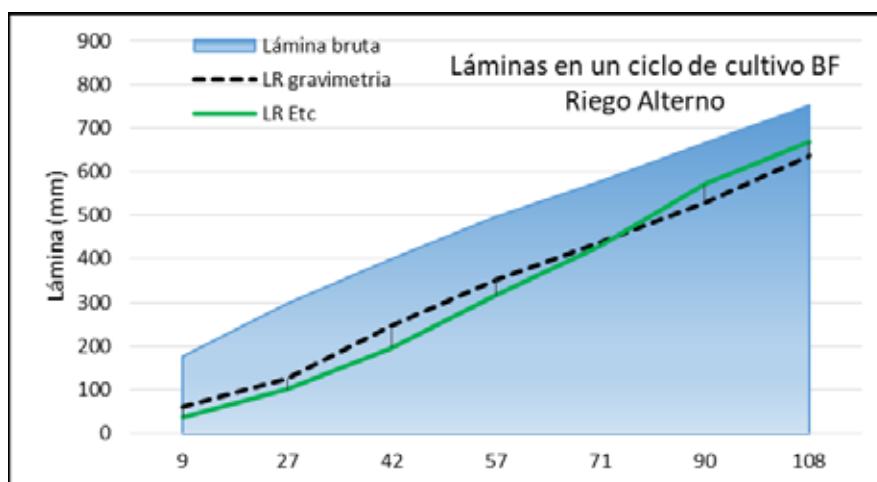
Los resultados de rendimiento en grano, lámina objetivo, EUA y PA sometidos a análisis de la varianza (ANOVA), DGC con nivel de riesgo α del 5 %. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva y de modelación para responder a las preguntas de investigación: Efecto de la Frecuencia de Riego, del Manejo y la interacción de ambos factores sobre las variables respuesta mediante la aplicación de modelos generales y mixtos (MGM) en R, se evaluó el efecto de los factores fijos: "Bloque", "Frecuencia", "Manejo" y sus interacciones, y se estableció como factor aleatorio la Unidad Experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La lámina requerida (LR) para un cultivo de maíz de 125 días en el valle Inferior de Rio Negro fue de 648 mm, no registró diferencias significativas entre métodos de estimación ($p= 0,1314$), suma de evapotranspiración diaria (652 ± 26 mm) y diferencias gravimétricas en el suelo entre eventos de riego (619 ± 80 mm). Otros estudios mencionan que el maíz evapotranspira entre 400 y 700 mm en su ciclo, según condiciones ambientales y genéticas.

La lámina bruta (LB) promedio aplicada para el RSA fue de 820 mm, 880 mm en AF y 760 mm en BF (Figura 1), mientras que el RSAD y RST presentaron valores promedio iguales de 1050 mm, 1100 mm en AF y 970 mm en BF.

Figura 1: Estimación de lámina aplicada acumulada (Área) en BF y RSA, lámina requerida acumulada según suma de evapotranspiración (línea continua) y gravimetría (línea punteada), para una progresiva de días después de la siembra (DDS).



El análisis estadístico determinó existen diferencias entre medias de EA en función del factor manejo ($p<0,0001$) y no se hallaron diferencias entre frecuencias ($p=0,0928$). El porcentaje de uniformidad de distribución (UD) promedio para el total de los riegos fue de $89\pm 6\%$, sin hallarse diferencias entre tratamientos. En



cuanto a EAL el RSA se diferenci6 del resto de los manejos, present6 un almacenamiento promedio de 90%, sin encontrarse diferencias entre frecuencias ($p=0,2514$). En la siguiente tabla se presenta un resumen de las variables que caracterizaron los manejos propuestos (Tabla 2).

Tabla 2: Variables en estudio seg6n manejos de riego propuestos en un cultivo de ma6z en el Valle Inferior de Rio Negro.

Manejos	n	EA		LB	LR	EA global	n	Rto kg.ha ⁻¹	EUA kg.m ⁻³	PA kg.m ⁻³
RSA	162	85 %	a	820	648	79 %	54	18950 a	2,3 a	2,9 a
RSAD	162	70 %	b	1017	648	63 %	54	17840 a	1,8 b	2,7 a
RST	162	64 %	b	1070	648	53 %	54	15800 b	1,5 b	2,4 b

Para la EUA existen diferencias estad6sticamente significativas en funci6n del factor manejo ($p<0,0001$) y con un valor p menor en funci6n de la frecuencia de riego ($p=0,0235$), 1,57 kg.m⁻³ en AF y 1,7 kg.m⁻³ en BF. Mientras que para PA solo existen diferencias en funci6n del factor manejo $p<0,0026$. Otros autores han encontrado para t6cnicas de riego por surco en ma6z valores de EUA del orden de 1,15-3,04 kg.m⁻³ (Reinoso, 2014), 1,5-2 kg.m⁻³ (Montemayor Trejo *et al.*, 2012) y valores similares en condiciones de secano 0,8-1,6 kg.m⁻³.

El rendimiento de grano promedio fue de 16660 kg.ha⁻¹, estad6sticamente separ6 los manejos por surco alterno (RSA, RSAD) asociados a los mayores valores de rendimiento y PA, del manejo RST. El RSA present6 el rendimiento m6ximo fue de 18950 kg.ha⁻¹ con una de PA de 2,9 kg.m⁻³. El rendimiento no registr6 disminuciones cuando se redujo un 15 % el volumen de agua asignado, asociado a BF.

CONCLUSIONES

A partir del conjunto de evaluaciones durante el ciclo de cultivo, la EA promedio fue de 63%, si se compara con la EA global, es decir sin realizar un promedio de las evaluaciones individuales de los riegos, el desempe6o fue menor y por lo tanto se subestima; deber6 considerarse como una desventaja de la metodolog6a, ya que en algunos casos la diferencia super6 el 10%.

En cuanto a las variables, PA y rendimiento del cultivo de ma6z, diferenciaron estad6sticamente a los manejos de riego Alterno (RSA, RSAD) del riego por surco tradicional, incluso cuando se aplica la misma cantidad de agua. Los manejos RSA y RSAD expresaron un rendimiento superior, 20% m6s que el RST. Considerando las condiciones de uniformidad del estudio en cuanto al plan de fertilizaci6n y utilizaci6n de un 6nico h6brido de ma6z para todos los tratamientos, las diferencias de rendimiento registradas, evidencian una influencia de las t6cnicas de riego respecto de la din6mica de nutrientes del suelo, especialmente cuando se comparan RST y RSAD, ya que aplicaron la misma cantidad de agua por unidad de riego.

Las frecuencias de riego bajo estudio, no registraron diferencias estad6sticas en el rendimiento de grano, aunque una reducci6n moderada del agua de riego del 15%, asociada a BF, permiti6 aumentar un 10% la EUA sin disminuir el rendimiento.

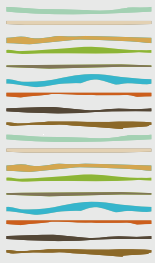
BIBLIOGRAF6A

- Allen, RG, Pereira, LS, Raes, D., Smith, M. 1998. Evapotranspiraci6n de cultivos: directrices para calcular las necesidades de agua de los cultivos. Papel de riego y drenaje de la FAO 56. Organizaci6n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci6n, Roma.
- Arbat, G.; Oliv6, F.D.; Rosell6, A.; Puig-Bargu6s, J. y Ram6rez de Cartagena, F. 2009. Distribuci6n del agua en el suelo en riego por surcos alternos y no alternos en el cultivo de ma6z. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol IX. Barcelona.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87:117-129.
- Ciampitti, I. & F. Garcia. 2007. Requerimientos nutricionales, absorci6n y extracci6n de macronutrientes y nutrientes secundarios. Infor-



- maciones Agronómicas N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.
- Guerra, P; Masota, H.T; Olivieri, J.J. 1966. Estudios de suelos con fines de riego. Proyecto FAO/ Viedma.
- Lui, E.; Roa, R.; Martínez, R.S.; Zelmer, H.; Reinoso, L.; D'Onofrio, M. 2012. Evaluaciones de riego parcelarias en el valle inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza. Argentina.
- Montemayor Trejo, A; Lara Míreles, J. ; Woo-Reza, L.; Munguía López, J.; Rivera González, M.; Trucíos Caciano, M. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la comarca Lagunera de Coahuila y Durango, Méjico. *Agrociencia* 46: 267-278.
- Neffen, E. 2020. Alternativas de manejo en riego por surco para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el valle Inferior del río Negro. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad.
- Reinoso L. 2014. Rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: Evaluación de la frecuencia de riego y la fertilización nitrogenada. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires.
- Van Halsema, G.E. & L., Vincent. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*. Volumen 108: 9-15. ELSEVIER.





RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS CON CULTIVO DE NOGAL EN BELÉN, CATAMARCA

Nieto, M.I.^{1*}, M.E. de Bustos¹, O. Bulacios Muñiz², L. Brizuela¹, A.E. Bellanich¹

¹EEA Catamarca;

²UNCA FACEN;

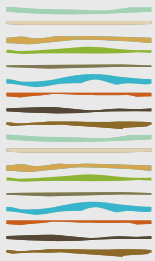
*Ruta 33Km. 4 (4705), Sumalao, Prov. de Catamarca, nieto.maria@inta.gob.ar

RESUMEN

El comportamiento del carbono orgánico en el suelo depende no sólo de las características físicas, ambientales o productivas sino también de la gestión que se realice en él. Su contenido cumple un rol importante en los sistemas productivos, su disponibilidad afecta la productividad del sistema y a la vez afecta el cambio climático, incrementando o mitigando los gases de efecto invernadero. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reserva de carbono orgánico (SCO) en el área de producción nogalera de la localidad de Cóndor Huasi, Catamarca. El área de estudio se ubica al norte del departamento Belén, a unos 1800 msnm, y se caracteriza por tener clima templado cálido durante el verano, y frío durante el invierno. Pertenece a la ecorregión de Monte de Sierra y Bolsones, con precipitaciones entre 100 y 250 mm anuales. Esta localidad es una zona nogalera y casi en su totalidad corresponden a la variedad criolla. Los suelos son francos arenosos, con poco contenido de materia orgánica y apta para la agricultura en general. El muestreo se dividió en zonas cultivadas con nogales (Finca) y en áreas nativas menos perturbadas (ZNMP). Para las primeras se seleccionaron y agruparon nueve fincas en tres grupos según la edad del cultivo, de 5 a 15 (E1), 16 a 30 (E2) y más de 30 (E3) años. Se tomaron muestras aleatorias compuestas de las tazas de los nogales. Para cada finca se muestreó adicionalmente la ZNMP. El muestreo, en ambos casos, se realizó a tres profundidades, de 0 a 5 (5), 0 a 20 (20) y de 20 a 40 cm (40). Se realizaron determinaciones de densidad aparente (g/cm³) por el método del cilindro, y de carbono orgánico total (COT, %) por el método Walkley-Black. Con las variables determinadas se calculó el stock de carbono orgánico (SCO, Mg/ha) para cada profundidad. Para evaluar las diferencias entre los grupos Finca y ZNMP se realizó la Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon, mientras que para la agrupación por edades del cultivo se utilizó la Prueba de Kruskal-Wallis con comparaciones múltiples de Dunn. Los resultados obtenidos reflejan diferencias significativas en el SCO para la comparación Finca y ZNMP, encontrando los valores más elevados en esta última. Al realizar la misma comparación en función de la edad del cultivo se encontraron diferencias en E2 y E3 obteniéndose valores superiores en la ZNMP. En edades tempranas de los cultivos (E1) no hay diferencias con respecto a la ZNMP. Si bien el SCO en cultivo de nogales se mantiene o incrementa con la edad del cultivo, la ZNMP se mantiene a los valores típicos de la región. Es necesario nuevos análisis teniendo en cuenta otros criterios como características ambientales y de prácticas de gestión del suelo en estos sistemas productivos.

Palabras clave: stock de carbono, mitigación, indicadores de calidad de suelo.





¿CÓMO AFECTA LA SALINIDAD DEL AGUA FREÁTICA A LOS CULTIVOS DE SOJA, MAÍZ Y TRIGO?

Nosetto, M.D.^{1*}, S. Alsina¹, S.I. Ballesteros¹, M.E. Beget², R. Giménez¹, J. Houspanossian¹, J.I. Whittworth-Hulse¹, R.A. Páez¹, M. Poca¹, E.G. Jobbágy¹

¹Grupo de Estudios Ambientales, IMASL, CONICET;

²Instituto de Clima y Agua, INTA;

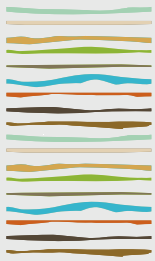
*Av. Ejército de los Andes 950, (5700) San Luis, Prov. de San Luis, marcelo.nosetto@gmail.com

RESUMEN

Quando la napa freática se encuentra cercana a la superficie puede representar un valioso recurso para los cultivos, ayudando a suplir déficits en las lluvias. Sin embargo, la salinidad de la misma, de gran variabilidad espacial en la llanura Chaco-Pampeana, podría restringir su uso. Es poco el conocimiento al respecto dado que la mayoría de los trabajos que estudian los efectos de la salinidad sobre los cultivos se basan en ensayos con riego en macetas, difícilmente extrapolables a situaciones de campo con napas someras cuyo aportes por capilaridad coexisten con aportes superficiales de agua dulce de lluvia. En este trabajo, evaluamos la respuesta del rendimiento de soja (3 campañas), trigo y maíz (1 campaña) junto con distintas variables ecofisiológicas a lo largo de un gradiente natural de salinidad del agua subterránea (2 - 10 dS m⁻¹, profundidad media = 1,15 m) en un sitio de la Pampa Interior. Caracterizamos la respuesta del rendimiento relativo a la conductividad eléctrica (CE) de la napa freática con modelos sigmoidales, y mediante regresión lineal, en el caso de variables ecofisiológicas. La salinidad del agua freática afectó fuertemente los rendimientos de trigo, soja y maíz, aunque con marcadas diferencias entre ellos. En soja y maíz, la CE del agua freática a la cual el rendimiento se reduce a la mitad (i.e. CE₅₀) fue similar (~5 dS m⁻¹) y claramente menor que en trigo (~8,3 dS m⁻¹), evidenciando la mayor tolerancia a la salinidad de este último. En soja se observó que la CE₅₀ se redujo a la mitad en la campaña seca (2,8 dS m⁻¹) en comparación con las dos campañas húmedas (5,7 y 6,7 dS m⁻¹), sugiriendo una interacción entre las lluvias de la campaña y la salinidad freática, en donde unas mitigarían parcialmente el efecto de la otra. En trigo y sojas correspondientes a campañas húmedas, la salinidad freática afectó el número de granos por superficie, pero no su peso. En cambio, en maíz y soja correspondiente a la campaña seca, la salinidad afectó ambos componentes del rendimiento. La salinidad freática también afectó el potencial hídrico pre-alba, la conductancia estomática, la temperatura foliar y la radiación interceptada. Por ejemplo en trigo, la temperatura foliar resultó 5 °C más alta y la conductancia estomática hasta un 75% más baja en los sitios con napas más saladas. En soja, la reducción de la conductancia estomática alcanzó el 50% y las diferencias en temperatura foliar fueron de ~3 °C. Teniendo en cuenta las funciones de respuesta del rendimiento a la salinidad freática y una revisión de cerca de cien mediciones de esta variable en la Pampa Interior (n=98, CE_{media} = 3,6 dS m⁻¹), encontramos que los rendimientos medios de trigo, maíz y soja se verían reducidos en 48, 68 y 63% respectivamente, por efecto de la salinidad. Este trabajo evidencia que los beneficios del aporte freático al cultivo pueden verse disminuidos aún con niveles relativamente bajos de salinidad por lo que resulta fundamental contemplar su efecto a fin de predecir el potencial aporte de la misma.

Palabras clave: agua subterránea, conductividad eléctrica, conductancia estomática.





EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y SU PASTOREO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA ÚTIL

Parra, B.J.^{1*}, R. Marzari^{1,2}, M. Rodríguez¹, F.S. Cabrera¹, M.D. Bongiovanni^{1,2}.

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria UNRC;

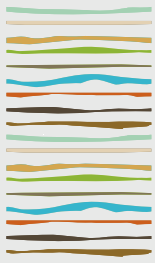
²Instituto Nacional de Investigaciones Agrobiotecnológicas (INIAB, CONICET-UNRC);
Ruta Nacional 36, km 608, (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, bparra@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue el de evaluar el efecto de diferentes cultivos de cobertura (CC) y su pastoreo sobre la disponibilidad de agua útil (AU) para los cultivos de interés económico. Para ello se estableció un ensayo en el campo de Docencia y Experimentación «Pozo del Carril» perteneciente a la UNRC, (32°58'4,65"S, 64°39'35,04"O). Los tratamientos estuvieron definidos por cuatro niveles del factor "tipo de CC" (Centeno, Vicia, Centeno+Vicia y un testigo sin CC) y dos niveles del factor "pastoreo" con pastoreo (P) y sin pastoreo (NP) distribuidos en dos bloques. Los CC se implantaron el 13 de mayo de 2021, el pastoreo se realizó entre el 14 y 19 de septiembre (7 horas por día con una carga de 38 vacas/ha), y el secado se realizó el 2/11. El cultivo subsiguiente fue maíz sembrado el 27 de diciembre. Se determinaron la lámina de agua (LA) y lámina de agua útil (LAU) hasta los 100 cm de profundidad a la implantación y secado de los CC y al momento de la siembra del maíz y por otro lado la producción de materia seca (MS) de los CC luego del pastoreo. Además se determinó el uso consuntivo (UC) y la eficiencia del uso del agua (EUA) para cada CC. Salvo para la MS, no se observó interacción significativa entre los factores evaluados. Al momento del secado, P almacenó una mayor LA que NP (114 mm y 103 mm respectivamente). En cuanto a la cobertura, el Testigo, se diferenció de Vicia y este tratamiento de Centeno y de Centeno+Vicia que no difirieron significativamente entre sí (134, 108, 97 y 95 mm respectivamente). El menor consumo de agua por parte de Vicia se debería en parte a que la densidad de plantas logradas fue menor a la programada. Al momento de la siembra del maíz no se hallaron diferencias de LA entre P y NP (241 y 244 mm respectivamente). Al comparar los tipos de cobertura, el Testigo presentó una LA significativamente mayor al resto de los tratamientos que no difirieron entre sí (Testigo: 274 mm, Centeno: 243 mm, Vicia: 230 mm y Centeno+Vicia: 223 mm). El UC fue mayor en los tratamientos NP (135 mm) comparados con los P (124 mm). Los tratamientos con Vicia presentaron un UC significativamente menor (122 mm) que aquellos con Centeno+Vicia (133 mm) y Centeno (134 mm) que no difirieron entre sí. La mayor MS se logró con Centeno+Vicia-NP (6286 kg ha⁻¹), mayor que Centeno-NP (5231 kg ha⁻¹) a su vez mayor que Centeno+Vicia-P (1770 kg ha⁻¹) que no difirió de Vicia-NP (1474 kg ha⁻¹) que se diferenció de Vicia-P (552 kg ha⁻¹) pero no de Centeno-P (316 kg ha⁻¹). La EUA para los tratamientos NP fue de 47, 37 y 11 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para Centeno+Vicia, Centeno y Vicia respectivamente. El rendimiento del maíz no fue afectado por los CC aunque hay que destacar que una helada temprana incidió sobre el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: centeno, vicia, agua del suelo.





ENMIENDAS ORGÁNICAS Y CULTIVO DE COBERTURA: SU IMPACTO SOBRE EL SUELO

Pellegrini, A.E^{1*}, A.M. Chamorro², R. Bezus², A. Voisin^{3,4}, B. Iltis¹, I. Falcon¹, S.I. Golik⁴

¹Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Curso Edafología;

²Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales.

³Becario CIC.

⁴Curso Cerealicultura.

*Calle 60 y 119, CC 31 La Plata (1900), Provincia de Buenos Aires, Argentina, aepellegrini@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar el impacto de un cultivo de cobertura y el agregado de compost sobre diferentes propiedades edáficas. Se trabajó sobre un *Argiudol Vértico* y una secuencia planificada: trigo (*Triticum aestivum* L.)/ soja 2da (Glicine max L.) - barbechos - soja 1º - barbechos- soja de 1º - trigo - trigo/soja 2da. Los diferentes tratamientos fueron cuatro condiciones de manejo de barbecho que se aplicaron dos veces. 1: barbecho químico (T); 2: se aplicó una dosis equivalente a 20 t ha⁻¹ de cama de pollo estabilizada (Compost); 3: siembra de un cultivo de cobertura (CC) con avena y vicia (*Avena sativa* L. y *Vicia sativa* L.); 4: condición similar a la tercera más la incorporación de N, P y S en el cultivo sucesor. También se muestreó un área definida como suelo de referencia (SR), que desde el inicio de la secuencia de cultivos quedó con vegetación natural. Se analizó la conductividad eléctrica (CE), el pH con una relación 1:2,5 (suelo/agua); el nitrógeno total (Nt); fósforo extractable (Pe); carbono orgánico (COt) y el carbono particulado determinado en dos fracciones, una gruesa de 2000-105 µm (COPg) y otra fracción fino de 105-53 µm (COPf). También se analizó en forma porcentual al COPg/COt; COPf/COt y la relación COP/COt que equivale a (COPg + COPf)/COt. Entre los cuatro barbechos no se evidenció diferencias sobre la CE, el pH, Nt y el CO total. La incorporación de compost aumentó el contenido de Pe del suelo en un 100% respecto a SR, también tuvo incidencia en el aumento del COP y sobre COP/COt en relación a los otros barbechos. El SR presentó mayor contenido de Nt, COt, COPf + COPg, COP/CO total, indicando que hubo un deterioro del suelo ante la actividad agrícola, en particular con la secuencia de cultivo y manejo implementado.

Palabras clave: carbono particulado, compost, barbecho.

INTRODUCCIÓN

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) entre dos cultivos de interés económico, busca generar mejoras en el agro-sistema que contribuyan al mantenimiento o, mejor aún, al aumento de los rendimientos de los cultivos (Rimski-korsakov et al., 2016). Los cultivos de cobertura ideales deben germinar y emerger rápidamente, ser tolerantes a las condiciones climáticas adversas, ser capaces de fijar el nitrógeno atmosférico del aire, absorber los nutrientes del suelo mediante el desarrollo de raíces profundas, producir una mayor cantidad de biomasa en un período más corto, ser fáciles de trabajar y cultivar, ser tolerantes a plagas de insectos y enfermedades, tener la capacidad de suprimir las malas hierbas y ser rentables para el cultivo. Los cultivos de cobertura mejoran la salud general del suelo y proporcionan un entorno sostenible para los cultivos principales (Sharma, et al., 2018).

Además de los CC, otra alternativa en el periodo de barbecho es el uso de compost. Este material proviene de residuos de otras actividades que son transformados durante el periodo de compostaje en un producto



parecido a las sustancias húmicas del suelo, libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejado y almacenado sin ocasionar molestias y que es beneficioso para el suelo y el crecimiento de las plantas (Haug et al., 1993). Los composts son fuentes concentradas de carbono orgánico y nutrientes (Castro et al., 2018), su calidad también depende del valor de pH y el contenido de sales (analizado por su conductividad eléctrica) asociados con el materia de origen de los composts, la frecuencia de uso y la cantidad de aplicación (Rivas-Nichorzon, & Silva-Acuña, 2020; Armstrong et al., 2007). Tanto la implantación de CC (Sá Pereyra et al., 2017) como la adición de compost (Acosta et al., 2012) aportan carbono al suelo (CO). Las diferentes fracciones de carbono del suelo han sido usadas como indicadores de la sostenibilidad de los agroecosistemas (Lozano et al., 2011).

Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso del suelo (Arshad y Coen, 1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados es compleja por la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran et al., 1996).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el impacto de los CC y el agregado de compost sobre diferentes propiedades edáficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en uno de los campos de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), en la Estación Experimental J. Hirschhorn, sobre un suelo *Argiudol Vértico* y una secuencia de cultivos planificada: trigo (*Triticum aestivum* L.)/ soja 2da (*Glicine max* L.) - soja 1º - soja de 1º - trigo - trigo/soja 2da, bajo siembra directa. Los diferentes tratamientos analizados fueron el efecto de cuatro condiciones en los barbechos entre los cultivos de verano, lo cual se aplicó dos veces: entre la soja de 2º y la siguiente soja de 1º, y entre esta y la siguiente soja de 1º. Los manejos de barbecho evaluados fueron cuatro: una primera condición consistió en un barbecho químico o tradicional (Testigo). En la segunda condición se le aplicó una dosis equivalente a 20 t ha⁻¹ de cama de pollo estabilizada (Compost), con 34 % de materia orgánica; pH 1:10 de 7,6; Nitrógeno total 1,7%; P extractable 709 ppm y conductividad eléctrica de 13 dSm⁻¹. Debido al tamaño reducido de las parcelas la aplicación del mismo se realizó en forma manual. La tercera condición implicó la siembra de un cultivo de cobertura (CC) con avena (*Avena sativa* L.) (35 kg ha⁻¹) y vicia (*Vicia sativa* L.) (25 kg ha⁻¹). La cuarta condición fue similar a la tercera más la incorporación de N, P y S en el trigo (en dosis tendientes a llegar a un nivel de reposición de nutrientes) y de P a la soja (75 kg ha⁻¹ de SPTCa) (CCF). También se muestreó un área definida como suelo de referencia (SR), que desde que se inició la secuencia de cultivos quedó con vegetación natural.

El muestreo de suelo fue de 0-20 cm, realizado en marzo del 2022, posterior a la soja de 2º. Las muestras se estabilizaron a 40 °C y se tamizaron a 2 mm. Se analizó la conductividad eléctrica (CE), se midió sobre el extracto de la pasta saturada en un conductímetro; el pH con una relación 1:2,5 (suelo/agua) método potenciométrico; el nitrógeno total (Nt) se determinó mediante el método Kjeldahl; el fósforo extractable (Pe) por el método de Bray Kurtz (IRAM-SAGyP 29570-1); carbono orgánico (COT) por combustión húmeda Walkley-Black modificado (PROMAR 1991) y el carbono particulado determinado en dos fracciones, una gruesa de 2000-105 µm (COPg) y otra fracción de 105-53 µm que incluye al carbono orgánico particulado fino (COPf), (Duval et al., 2013). También se analizó en forma porcentual al COPg/COT; COPf/COT y la relación COP/COT que equivale a (COPg + COPf)/COT.

El diseño estadístico fue en bloques al azar. Se realizó un análisis de la varianza y cuando se encontraron diferencias (p<0,05) se realizó una comparación de medias mediante el uso del test LSD. Se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis estadístico de los resultados obtenidos (Tabla 1) se observó que no hubo diferencias entre los tratamientos respecto a CE, pH y N total. El compost aplicado presentó una elevada CE que no se vio reflejada en el suelo luego de 2 aplicaciones, esto puede deberse a la condición climática de la zona principalmente



considerando donde la precipitación anual es de 1012 mm (promedio histórico 1964-2014 datos del boletín agro meteorológico de la Estación Experimental Julio Hirschhorn, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina). Con el agregado de compost el indicador que presentó diferencias significativas entre los tratamientos fue el contenido de fósforo extractable, similar resultado encontraron Vázquez et al., (2020). El incremento es debido a que el material aplicado poseía un alto contenido de fósforo extractable (709 ppm),

El suelo de referencia presentó mayor contenido de nitrógeno relacionado con el mayor contenido de carbono, igual resultado indicaron Cantu & Diaz (2018) quienes encontraron que la sistemas agrícolas presentan pérdida de COt y Nt.

Tabla 1. Características edáficas de los diferentes tratamientos: conductividad eléctrica (CE), pH, nitrógeno total, fósforo Bray-Kurtz. CC: cultivo de cobertura; CCF cultivo de cobertura + fertilización en los cultivos sucesores; SR: suelo de referencia

Tratamiento	CE (dS m ⁻¹)	pH (1:2,5)	Nt (%)	P (ppm)
Testigo	0,30 a	5,79 ab	0,156 b	10,2 b
Compost	0,33 a	5,79 ab	0,158 b	28,9 a
CC	0,29 a	5,68 b	0,161 b	10,47 b
CCF	0,30 a	5,79 ab	0,161 b	11,7 b
SR	0,32 a	5,99 a	0,216 a	14,5 b

Se apreció una caída del nivel de carbono en los suelos productivos respecto al suelo de referencia (Tabla 2), esto coincide por lo indicado por Steinbach & Alvarez (2005), Sainz Rozas et al, (2011) y Sharma et al., (2018), quienes manifestaron que el nivel de disminución de carbono depende del manejo, es decir, labranzas, rotaciones, secuencia de cultivos, fertilización, como también del clima, el tipo de suelo. Duval et al (2016) estudiando monocultivo de soja versus suelo natural encontraron una disminución de CO total por disminución en las dos fracciones del C particulado, en este trabajo se dio la reducción sólo a partir del COPg

Según Kaspas et al. (2006) un cultivo de cobertura de avena y centeno plantados cada dos años después de la soja no aumentaron las concentraciones de C del suelo. En este trabajo tampoco se observó incremento del carbono en los tratamientos con cultivo de cobertura.

Los barbechos con cultivos de cobertura con y sin fertilizantes no incrementaron ninguno de los indicadores de carbono respecto al testigo.

La fracción del particulado fina y el COM no se diferenciaron entre los tratamientos analizados, ni con SR. Los cultivos de cobertura y el testigo presentaron los menores valores de COP, diferenciándose significativamente de SR y compost. Estos resultados coinciden parcialmente por lo reportado por Eiza et al., (2005) quienes manifestaron como indicador sensible a cambio de prácticas de manejo a la fracción de 2000 a 53 µm. Según Galantini & Suñer (2008) el indicador más sensible a los cambios de manejo es la relación COP (COPf + COPg)/ COt, en este ensayo no se evidenció tal sensibilidad, entre CC, CCF y T, pero sí entre estos con el barbecho con compost y SR.



Tabla 2. Carbono orgánico del suelo total (COt) y fraccionamiento. COPf: Carbono orgánico particulado fino (105-53µm). COPg: Carbono orgánico particulado grueso (2000-105 µm). COM: Carbono orgánico mineral. CC: cultivo de cobertura; CCF cultivo de cobertura + fertilización en los cultivos sucesores; SR: suelo de referencia

Tratamiento	CO total (%)	COPf (%)	COPg (%)	COPf + COPg (%)	COM (%)	COPf/CO total	COPg/CO total	(COPf + COPg)/COtotal
Testigo	1,95 b	0,17 a	0,14 b	0,32 c	1,76 a	8,76 b	7,84 b	16,59 b
Compost	1,94 b	0,25 a	0,15 b	0,40 b	1,53 a	12,83 a	8,09 b	20,93 a
CC	1,89 b	0,16 a	0,13 b	0,30 c	1,58 a	8,94 b	7,13 b	16,07 b
CCF	1,88 b	0,17 a	0,14 b	0,31 c	1,56 a	9,20 ab	7,47b	16,67 b
SR	2,23 a	0,25 a	0,29 a	0,54 a	1,68 a	11,34 ab	13,13 a	24,48 a

CONCLUSIONES

La aplicación de compost con elevado contenido de sales no se vio reflejado en el suelo.

La incorporación de compost aumentó el contenido de fósforo extractable del suelo, también tuvo incidencia sobre el COP de 2000µm a 53 µm, pues no se diferenció con el suelo de referencia.

El suelo de referencia presentó mayor contenido de Nt, CO total, COPf + COPg, COP/CO total, indicando que hubo un deterioro del suelo por la actividad agrícola, en particular, la secuencia de cultivos implementada.

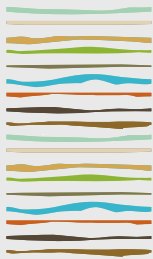
BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., El Zauahre, M., Rodríguez, L., Reyes, N., & Rojas, D. 2012. Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 12(4), 390-399.
- Armstrong, R. D., Eagle, C., & Jarwal, S. D. 2007. Application of composted pig bedding litter on a Vertosol and Sodosol soil. 2. Effect on soil chemical and physical fertility. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(11), 1341-1350
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Cantú Silva, I., & Yáñez Díaz, M. I. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 122-151.
- Castro, L. A. G., Osorio, J. W. M., & Bonilla, G. A. E. 2018. Compostaje enriquecido con fósforo como método de reaprovechamiento de los residuos orgánicos. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(11), 7-15.
- de Sá Pereira, E., Galantini, J. A., & Quiroga, A. R. 2017. Calidad de cultivos de cobertura en sistemas de siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 35(2), 337-350.
- Di Rienzo A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. 2016. InfoStat versión 2016. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>. Ultimo acceso: Junio del 2022.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A. 1996. Soil Health and Sustainability. *Advances in Agronomy Vol. 56*. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Duval, M. E.; Galantini J.A.; Martínez J.M. & Iglesia J.O. 2016. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Cienc. Suelo*, 34(2): 197-209.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems *Soil Tillage Res.*, 131, pp.11-19.
- Eiza, MJ; N Fioriti; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ci. Suelo* 23: 59-68.
- Galantini, J. A., & Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25(1), 41-55.
- Haug, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis publishers, Boca Raton, Florida, Estados Unidos.
- IRAM-SAGyP 29570-1. 2010. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1- Método de Bray Kurtz 1 Modificado (extracción solución de fluoruro de amonio – ácido clorhídrico).
- Kaspar, T., Parkin, T., Jaynes, D., Cambardella, C., Meek, D. y Jung, Y. 2006. Examinando los cambios en el carbono orgánico del suelo con



- cultivos de cobertura de avena y centeno utilizando covariables del terreno. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*, 70, 1168-1177.
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C., & Hernández, R. M. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Rev. Fac. Agron*, 28, 35-56.
- PROMAR (Programa de métodos analíticos de referencia). 1991. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Carbono, Materia orgánica. pp. 25
- Rimski-korsakov, Helena; Alvarez, Carina Rosa; Lavado, Raul Silvio. 2016. Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina; International Plant Nutrition Institute; Informaciones Agronómicas del Cono Sur; 21;3 pp 2-6
- Rivas-Nichorzon, M., & Silva-Acuña, R. 2020. Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100.
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., & Angelini, H. P. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del suelo*, 29(1), 29-37.
- Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C. S., Brar, A. S., Grover, K. K., Dia, M., & Steiner, R. L. 2018. The role of cover crops towards sustainable soil health and agricultura. A review paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9 (9), 1935-1951. doi: 10.4236/ajps.2018.99140
- Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C., Brar, A., Grover, K., Dia, M. and Steiner, R. 2018. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture. A Review Paper. *Revista Americana de Ciencias Vegetales*, 9, 1935-1951. doi: 10.4236/ajps.2018.99140.
- Steinbach, H., & Alvarez, R. 2005. Cambios en los contenidos de carbono de los suelos pampeanos por introducción de la siembra directa. *Informaciones Agronómicas*, 25, 16-23.
- Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. 2020. La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112.





EFFECTO DE LA CLAUSURA SOBRE UN SUELO CON PASTREO CONTINUO

Pellegrini, A.E^{1*}, A. Frias Calvo¹, V.R.A. Bolaños², R.A. Golluscio³, M.C. Vecchio²

¹Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Curso Edafología;

²Cátedra Forrajicultura y Praticultura.

³Cátedra de forrajes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

*Calle 60 y 119, CC 31 La Plata (1900), Provincia de Buenos Aires, Argentina, aepellegrini@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar el impacto de la clausura sobre propiedades edáficas, en una estepa de halófitas manejada históricamente con pastoreo continuo. Se trabajó sobre un *Natracualf* de la pampa deprimida con pastoreo continuo (Con) y sobre un área clausurada (Cl) desde el año 2016. Se tomaron muestras compuestas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, con 3 repeticiones. Dentro de cada uno de los sitio se tomaron tres áreas de corte para medir la productividad primaria neta aérea (PPNA); así quedaron definidas las pseudoreplicas de cada tratamiento. Se analizó la conductividad eléctrica (CE), el pH actual con una relación 1:2,5 (suelo/agua), el nitrógeno total (Nt), carbono orgánica total (COT) y el carbono particulado determinado en dos fracciones, gruesa de 2000-105 μm (COPg), y fina de 105-53 μm (COPf). También se analizaron valores porcentuales de COPg/COT; COPf/COT y la relación COP/COT que equivale a (COPg + COPf)/COT. Se valoró el carbono orgánico asociado a la fracción mineral, menos de 53 μm (COM). La PPNA en la Cl fue 300% mayor que en Con. La CE en el área pastoreada presentó 23%, 42% y 46 % más alto que el área clausurada en las tres profundidades analizadas, respectivamente. Los valores de pH fueron significativos más bajos en Cl respecto a Con. El Nt como el COT en la Cl se incrementó significativamente de 5-10 cm, superficialmente presenta tendencia al aumento. Los particulados y el COM no se manifestaron como indicadores al cambio de manejo. El valor de pH y la CE respondieron con sensibilidad, por lo tanto el seguimiento de estas variables indicaría cambios en el manejo y serviría como una potencial herramienta para la toma de decisiones sobre el ambiente estudiado.

Palabras clave: carbono particulado, conductividad, pH.

INTRODUCCION

La estepa de halófitas es uno de los ambientes más recurrentes del pastizal en campos de cría de ganado bobino en la Pampa Deprimida. Usualmente se presenta como pequeños manchones y/o a anillos ubicados en torno a ambientes húmedos, asociados predominantes a suelos del orden Vertisoles y Alfisoles (*Natracualfes*, *Natrudalfes*, *Fragiacualfes*, *Natrustalfes*, etc.); los que corresponden al 16 % de la Pampa Peprimida (Burkart et al., 2005). Desde el punto de vista florístico dominan especies del género *Distichlis* y se suman otro menos frecuentes como *Sporobolus pyramidatus*, *Hordeum stenostachys*, *Puccinellia glaucescens*, *Pappophorum mucronulatum*, *Spergula sp.*, *Lepidium sp.*, *Acicarpa procumbens*, *Heliotropium curassavicum* y *Limonium brasiliense*.

El uso y prácticas de manejo pueden cambiar en el corto plazo la calidad del suelo, pues es dinámica, y para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo. La evaluación de la calidad del suelo permite entender y revertir el deterioro en dicha funcionalidad ecosistémica, como sucede con: la pérdida de suelos por erosión, depósito de sedimento por viento e inundaciones, reducción de la infiltración,



compactación de la capa superficial, pérdida de nutrientes, cambios en el pH, aumento de la solubilidad de metales pesados, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica entre otras (Segueda et al., 2011). Para ello, los indicadores de la evaluación de calidad deben ofrecer una rápida respuesta al cambio. Karlen et al., (2003) y Nortcliff (2002) establecieron como indicadores químicos a la Materia orgánica (Carbono y Nitrógeno) pues se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, fertilidad del suelo, estabilidad de agregados, susceptibilidad a la erosión, y en general al potencial productivo; y al pH y la Conductividad eléctrica que se relacionan con la disponibilidad de los nutrientes y la actividad química y biológica, pudiendo limitar el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.

La separación de fracciones de carbono del suelo ha sido empleada, más recientes, con éxito por otros autores, para evaluar los efectos de la agricultura y las forestaciones/deforestaciones sobre el COt (Chan et al. 2002, Galdo del et al. 2003); pero existe poca información sobre suelos ganaderos con importantes limitantes, como son los *Natracualfes*. Por tal motivo se planteó como objetivo del presente trabajo analizar el impacto de la clausura en algunas de las propiedades edáficas (CE, pH, Nt, COt y particulado) en una estepa de halófitas manejada históricamente con pastoreo continuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en un establecimiento de cría de ganado vacuno ubicado en la localidad de Vieytes (Partido de Magdalena, Provincia de Buenos Aires), donde históricamente se realiza pastoreo continuo (> 15 años). Se seleccionó un área con predominio de estepa de halófitas y en 2016 se inauguró una clausura (> 0,5 ha) para evaluar el efecto sobre propiedades del suelo y la comunidad vegetal. Quedo definido dos sitios uno con pastoreo continuo y otro de clausura, ambos emplazados sobre suelo *Natracualf* (Soil Survey Staff -USDA 2014) de donde se tomaron muestras compuestas de suelo provenientes de tres profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, con 3 repeticiones. También, dentro de cada uno de los sitio se midió la productividad primaria neta aérea (PPNA). Así quedaron definidas las pseudoreplicas de cada tratamiento.

Las muestras de suelo se estabilizaron a 40 °C y se tamizaron a 2 mm. Se evaluó la conductividad eléctrica (CE) sobre el extracto de la pasta saturada con conductímetro; el pH con una relación 1:2,5 (suelo/agua) por método potenciométrico; el nitrógeno total (Nt) se determinó mediante el método Kjeldahl; carbono orgánico total (COt) por combustión húmeda (Walkley & Black, modificado, PROMAR, 1991) y el carbono particulado determinado en dos fracciones, una gruesa de 2000µm -105 µm (COPg) y otra fracción de 105µm -53 µm que incluye al carbono orgánico particulado fino (COPf), (Duval et al., 2013). Por diferencia se sacó el carbono orgánico asociado a la fracción mineral de menos de 53 µm (COM). También se analizó en forma porcentual al COPg/COt; COPf/COt y la relación COP/COt que equivale a (COPg + COPf)/COT.

La PPNA se calculó como la sumatoria de los incrementos de biomasa verde, más los incrementos de material muerto en pie, cuando ambos incrementos ocurran al mismo tiempo (Singh et al., 1975). Este método toma en cuenta que hay material que pasa al compartimento de material muerto en pie durante el intervalo muestreado y debe ser considerado como parte de la producción anual.

Los parámetros edáficos se analizaron mediante un ANOVA y las medias se compararon mediante el test de LSD ($\alpha=0,05$). Se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSION

Con pastoreo continuo el suelo fue ligeramente salino en las tres profundidades (figura 1), pero en la clausura de 6 años, se observó una mejora significativa respecto al contenido de sales debido a la disminución de la CE, fue 23%, 42% y 46 % menor respecto a sus homólogos en profundidades con pastoreo continuo. Diferente resultado obtuvo Otondo (2011) pues no encontró diferencia de CE entre pastoreo y clausura. El pH en el suelo de la clausura fue significativamente menor en las tres profundidades (Figura 1), igual resultado halló Vecchio et al., 2018. Por su parte, la PPNA de la clausura fue 300 % superior respecto a la del área pastoreada (4513 kgMS ha⁻¹ año⁻¹ vs 1450 kgMS ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente).



Tanto en el análisis de CE y el pH cumple lo dicho por Qadir et al., (2007) pues ellos manifiestan que el uso de los suelos sódicos agrava los problemas de salinidad y sodicidad.

En la clausura, el incremento de biomasa se ve acompañado con la disminución del pH y CE del suelo. Esto sería posible como indica Qadir et al., (2007), debido a la liberación de protones, excusados y ácidos orgánicos. También, al aumentar la concentración de CO₂ por la mayor respiración de las raíces, se facilitaría el aporte de Ca proveniente del CaCO₃, que reemplazaría al Na del complejo de cambio.

Es evidente que la clausura mejoró las condiciones de abastecimiento del suelo. El Nitrógeno total presentó una tendencia al aumento de 0-5 y de 5-10 cm. Al disminuir los valores de pH, disminuiría la posible pérdida de nitrógeno por volatilización, principalmente en época de verano, ya que valores elevados de pH y temperaturas son condiciones necesarias para el proceso mencionado (Darwich, 2006).

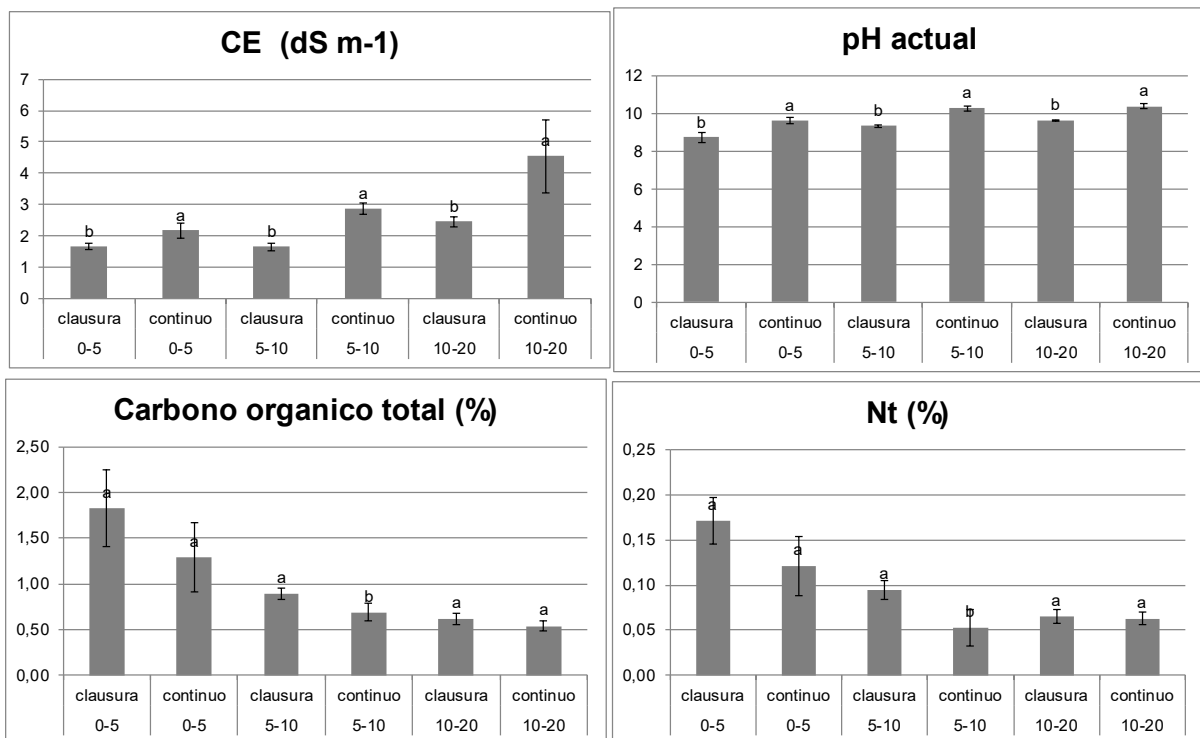


Figura 1. CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹); pH actual relación suelo agua (1:2,5); carbono orgánico total (%) y Nt: Nitrógeno total. Letras diferente entre igual profundidad significa diferencias significativas entre tratamientos.

En relación al COt, igual que el Nt, se observó un aumento significativo solo de 5-10cm. Superficialmente aumentaron un 41%, pero sus elevadas dispersiones no los determino como significativo. Broquen et al., (2005) plantearon que el tipo de vegetación y las condiciones climáticas tienen influencia sobre el contenido de carbono y la relación entre sus fracciones. Galantini et al., (2008) indicaron que la relación COP/COt es un indicador efectivo ante diferentes manejos. Analizando las fracciones de carbono: COPf, COPg ni en la suma de COPf + COPg no evidenciaron diferencias entre los tratamientos. Por tal motivo no reflejo los cambios de pastoreo continuo a clausura de 6 años.

Se observó diferencia significativa entre COPf/COt para 5-10 cm y de 10-20 cm, donde fue mayor en el sitio bajo pastoreo continuo respecto al clausurado.

No se observó un patrón de los resultados entre las diferentes fracciones en relación al COt.



Tabla 1. Fraccionamiento del carbono. COPf: Carbono orgánico particulado fino (105-53 μ m). COPg: Carbono orgánico particulado grueso (2000-105 μ m). COM: Carbono orgánico mineral (COM).

Profundidad	Tratamiento	COPf (%)	COPg (%)	COM (%)	COPf+COPg (%)
0-5	clausura	0,17 a	0,65 a	0,99 a	0,83 a
0-5	continuo	0,15 a	0,44 a	0,69 a	0,59 a
5-10	clausura	0,06 a	0,14 a	0,68 a	0,20 a
5-10	continuo	0,088 a	0,10 a	0,49 b	0,19 a
10-20	clausura	0,033 a	0,048 a	0,53 a	0,08 a
10-20	continuo	0,057 a	0,03 a	0,44 a	0,09 a

Tabla 2. Relaciones de las fracciones de carbono sobre el carbono orgánico total (COt). COPf: Carbono orgánico particulado fino (105-53 μ m). COPg: Carbono orgánico particulado grueso (2000-105 μ m). COM: Carbono orgánico mineral (COM).

Profundidad	Tratamiento	COPf/COt (%)	COPg/COt (%)	COM/COt (%)	(COPf+COPg)/COt
0-5	clausura	9,67 a	34,55 a	55,76 a	44,23 a
0-5	continuo	11,75 a	34,16 a	54,08 a	45,91 a
5-10	clausura	7,15 b	15,93 a	76,90 a	23,09a
5-10	continuo	12,59 a	15,11 a	72,28 a	27,71 a
10-20	clausura	5,44 b	7,81 a	86,73 a	13,26 b
10-20	continuo	10,53 a	7,08 a	82,38 b	17,61 a

CONCLUSIONES

El COt y el Nt fue un indicador que no reflejó contundentemente el efecto de la clausura.

Las fracciones del particulado como el COM no se manifestaron como variables aceptables de los cambios de pastoreo continuo a la clausura.

La PPNA responde al cambio de manejo.

El valor de pH y la CE respondieron con sensibilidad, y por lo tanto, serviría como una potencial herramienta para contribuir en tomas de decisiones de manejo.

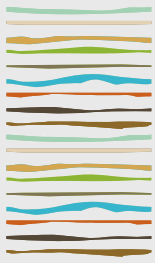
BIBLIOGRAFIA

- Broquen, P., J. Lobartini, F. Candan and G. Falbo. 2005. Allophane, aluminium, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash of Argentina. *Geoderma* 129: 167-177.
- Burkart, S. E., Garbulsky, M. F., Ghersa, C. M., Guerschman, J. P., León, R. J. C., Oesterheld, M., Paruelo J. M. & Perelman, S. B. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. La heterogeneidad de la vegetación en los agroecosistemas. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, 379-399.
- Chan, K. Y., D. P. Heenan y A. Oates. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil & Tillage Research* 63:133-193.
- Darwich, N. A. 2006. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Mar del Plata: 3° Ed. pp 289.
- Di Rienzo A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. 2016. InfoStat versión (2019). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>. Ultimo acceso: Junio del 2022.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martinez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems *Soil Tillage Res.*, 131, pp.11-19.
- Galantini, J. A., & Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25(1), 41-55.
- Galdo del, I., J. Six, A. Pressotti y M. F. Cotrufo. 2003. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. *Global Change Biology* 9:1204-1213.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., Weinhold, B. J., & Doran, J. W. 2003. Soil quality: Humankind's foundation for survival a research editorial by conservation professionals. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(4), 171-179.



- Nortcliff S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- Otondo, J. 2011. Efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires).
- PROMAR (Programa de métodos analíticos de referencia). 1991. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Carbono, Materia orgánica. pp. 25.
- Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D., & Sahrawat, K. L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline sodic soils. *Advances in agronomy*, 96, 197-247.
- Sala, O. E. (1988). The effect of herbivory on vegetation structure In: MJA Werger, PJM van der Aart, HJ During and JTA Verhoeven (Eds.). *Plant form and vegetation structure*. 317-330.
- Segueda, A. N., Correa, G. V., Blanco, J. L., & Gamino, M. D. L. R. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29-37.
- Singh, S.P., W.K. Lauenroth & R.K. Steinhorst. 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *Botanical Review* 41:181-232.
- Soil Survey Staff- USDA 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12 th ed. USDA. NRCS, Washington, DC.
- Vecchio, M. C., Golluscio, R. A., Rodríguez, A. M., & Taboada, M. A. 2018. Improvement of saline-sodic grassland soils properties by rotational grazing in Argentina. *Rangeland Ecology & Management*, 71(6), 807-814.





EVALUACIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURA FRENTE A LA EROSIÓN EÓLICA EN LA CUENCA EL MORRO

Peralta, P.E.^{1*} & J.C. Colazo^{1,2}

¹ Estación Experimental Agropecuaria San Luis, INTA;

² Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis.

peralta.pablo@inta.gob.ar

RESUMEN

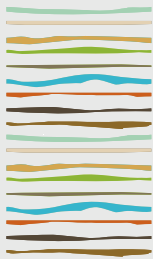
La cuenca El Morro en la provincia de San Luis es muy afectada por procesos de erosión hídrica y eólica. Los suelos de textura gruesa, la predominancia de fuertes vientos y ausencia de precipitaciones, y la falta de cobertura durante el invierno la hacen que predominen procesos de erosión eólica durante esta época. Es por ello que la implementación de cultivos de cobertura invernales aparece como una oportunidad para mitigar este proceso de degradación. Sin embargo no existen antecedentes sobre el efecto de los cultivos de cobertura (CC) luego de soja en Argentina. Es por ello que nuestro objetivo fue evaluar el comportamiento de los CC en la reducción de procesos de erosión eólica en lotes provenientes del cultivo de soja.

El estudio fue desarrollado dentro de la cuenca El Morro, unos 25 km al N de la ciudad de Villa Mercedes. El suelo se clasificó como Haplustol **éntico** serie El Quebrachal, con una textura arenosa-franca en todo su perfil. En un lote proveniente de soja se sembró una franja de 30 m de ancho de centeno (*secale cereale*) como cultivo de cobertura. En está y adyacente a la misma se instalaron parcelas simplificadas de medición de la erosión eólica de manera de contar con los siguientes tratamientos: con (cCC) y sin (sCC) cultivo de cobertura. Las parcelas estuvieron formadas por dos mástiles con colectores BSNE ubicados a 13,5; 50 y 150 cm. Los mástiles se ubicaron siguiendo la dirección predominante del viento de manera de contar con un colector de entrada y con otro de salida. En cada uno de los mástiles el flujo de masa horizontal fue calculado integrando en altura mediante una función exponencial. Las tasas de erosión o sedimentación fueron estimadas como la diferencia entre la entrada y la salida durante 3 eventos erosivos entre octubre y noviembre de 2021. También fueron determinados el rendimiento y la proporción de cobertura por métodos visuales.

Al secado del cultivo de cobertura la producción de biomasa aérea fue de 3200 kg ha⁻¹. En dicho momento la proporción de cobertura fue del 69%, suficiente para controlar los procesos erosivos. La medición de sedimentos en cCC varió entre -94,7 y -0,98 kg ha⁻¹, lo que implica un proceso de sedimentación. Es reconocido el rol de la cobertura, especialmente el de los residuos erectos para atrapar el sedimento debido a cambios en la rugosidad. La medición de sedimentos en sCC varió entre -1,34 y 7,59 kg ha⁻¹. Los valores negativos en este tratamiento pueden explicarse por la cercanía de un camino y la presencia de residuos en este tratamiento. Estos resultados demuestran la importancia de cultivos de cobertura, no solo para prevenir la erosión in situ, sino también para atrapar sedimentos erosionados fuera de la superficie de estudio.

Palabras clave: cultivos de servicio, degradación de suelos, sedimentación.





CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA CON CULTIVOS DE COBERTURA EN LA CUENCA EL MORRO (SAN LUIS)

Peralta, P.E.^{1*}, S. Lorenzo¹ & J.C. Colazo^{1,2}

¹ Estación Experimental Agropecuaria San Luis, INTA;

² Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis.

peralta.pablo@inta.gob.ar

RESUMEN

El cambio climático global trajo cambios en los regímenes pluviométricos en regiones áridas y semiáridas; lo que provocó mayor vulnerabilidad de estos ambientes a los procesos erosivos. En la provincia de San Luis (Argentina) aproximadamente el 15,3% de la superficie (1.174.000 ha) sufre pérdidas de suelo por escorrentía. Debido a esto, mediante el uso de parcelas móviles para medición de erosión hídrica, se realizaron mediciones a campo en el establecimiento "El Quebrachal" ubicado en la cuenca El Morro (33°23'31"S, 65°25'40"W). Se seleccionó un lote que provenían de soja y dentro de ellos se separaron en dos tratamientos, con cultivos de cobertura (CC) y sin cultivos de cobertura (SC). Se evaluaron un total de 7 eventos ocurridos y se registraron las precipitaciones con un pluviómetro a cercanías de las parcelas de medición, se registró lámina escurrida y sedimentos transportados para ambos tratamientos. Los resultados indicaron una disminución del 72,5% en las pérdidas de suelo por escorrentía en los tratamientos cCC con un porcentaje de cobertura del 68,9%. La infiltración evaluada con anillo simple no reflejó una diferencia entre tratamientos. El uso de las parcelas móviles permitió obtener datos de pérdidas de suelo por escorrentía a escala de lote en situación real de producción y ocurrencia de precipitaciones.

Palabras clave: Cultivos de servicio, escurrimiento, parcelas móviles.

INTRODUCCION

La degradación de los suelos en los ambientes semiáridos es uno de los principales problemas debido a su impacto en la seguridad alimentaria y la calidad ambiental (Ravi *et al.*, 2010). El manejo inapropiado del suelo en estos ambientes genera tasas de erosión aceleradas y su posterior recuperación excede los tiempos humanos; por lo que se considera un proceso de degradación irreversible (Panagos *et al.*, 2019). En los últimos veinte años, asociados a cambios que han ocurrido en los sistemas de producción, se han presentado una serie de "conflictos" entre el manejo y los recursos naturales (agua y suelo). Estos conflictos manifestados por la intensificación de los procesos de erosión hídrica y eólica dan lugar a un importante deterioro de la "salud del suelo" (Álvarez *et al.*, 2020).

Estudios recientes indican que el cambio climático global trajo cambios en los regímenes pluviométricos en regiones áridas y semiáridas; lo que provocó mayor vulnerabilidad de estos ambientes a los procesos erosivos. Estos ambientes son susceptibles a la erosión tanto por el viento como por el agua debido a que las bajas precipitaciones reducen la cobertura vegetal y, por lo tanto, aumenta su vulnerabilidad a procesos de degradación (Ravi *et al.*, 2010).

En Argentina, se han duplicado los valores de erosión hídrica en los últimos 25 años, registrándose hasta 64 millones de hectáreas aproximadamente (Casas, 2015). En la provincia de San Luis aproximadamente



un 15,3% de su superficie (1.174.000 ha) sufre procesos de erosión hídrica, siendo muy afectada la cuenca "El Morro" (Colazo *et al.*, 2015). En estos ambientes la implementación de cultivos de cobertura puede proporcionar una estrategia de mitigación ante procesos de degradación, aunque varios estudios han demostrado impactos positivos de los cultivos de cobertura en distintos lugares del mundo, estos efectos variaron considerablemente con el tipo de suelo y las condiciones climáticas durante el período de crecimiento. Sin embargo, su potencial aún no se comprende completamente en todos los sistemas de cultivo y zonas climáticas (Koudahe, 2022). En el presente trabajo se planteó evaluar la eficiencia de un cultivo de cobertura para control procesos de erosión hídrica a nivel de lote mediante el uso de parcelas móviles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y diseño experimental

Se eligió como sitio experimental un lote perteneciente al establecimiento El Quebrachal ubicado hacia el centro oeste de la cuenca El Morro (Figura 1). La media anual de precipitaciones en la zona es de 619 mm, con lluvias principalmente en primavera-verano. La pendiente puede variar entre el 1 y el 6%. El tipo de suelo corresponde a un Haplustol entico, serie El Quebrachal, con una textura arenosa – franca en todo su perfil (INTA & Gob. de San Luis, 2000).

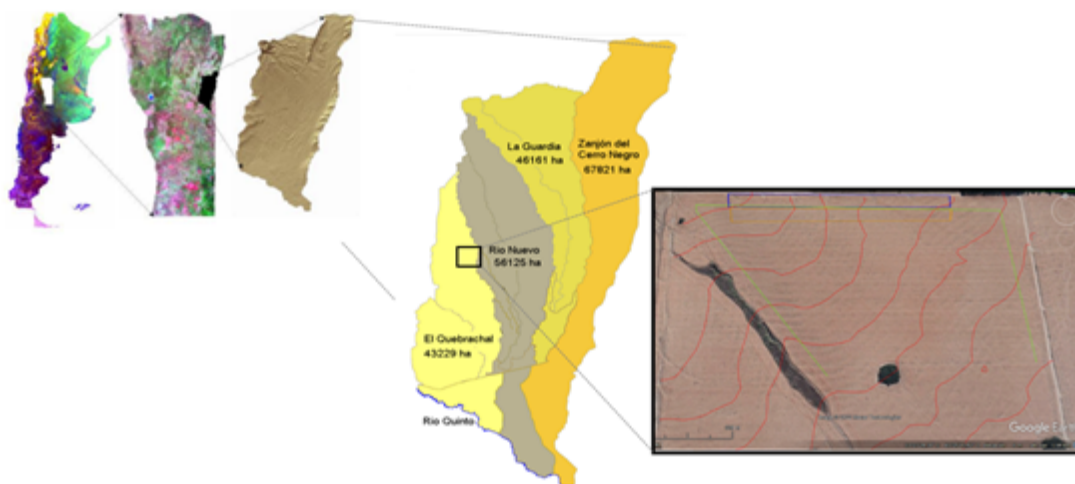


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro de la cuenca El Morro y su sub-cuenca El Quebrachal. Las líneas rojas representan curvas de nivel y el rectángulo azul el lugar donde se instalaron las parcelas. Adaptado de Saenz *et al.* (2016) y Google Earth.

Luego de un cultivo de soja se sembró el 15 de abril una franja de 30 m de ancho de centeno var. Berezina (*Secale cereale*) como cultivo de cobertura (CC). Se instalaron las parcelas de medición de manera adyacente (Figura 2a) para comparar situaciones con (cCC) y sin CC (sCC). Las parcelas de medición tuvieron una superficie de captación de 60 m² (15 m de largo y 4 m de ancho). Las mismas se colocaron con orientación a favor de la pendiente, conduciendo el escurrimiento hacia cajas estabilizadoras y depositándose en un tanque colector de 70 L (Figura 2b, Carfagno *et al.*, 2018).

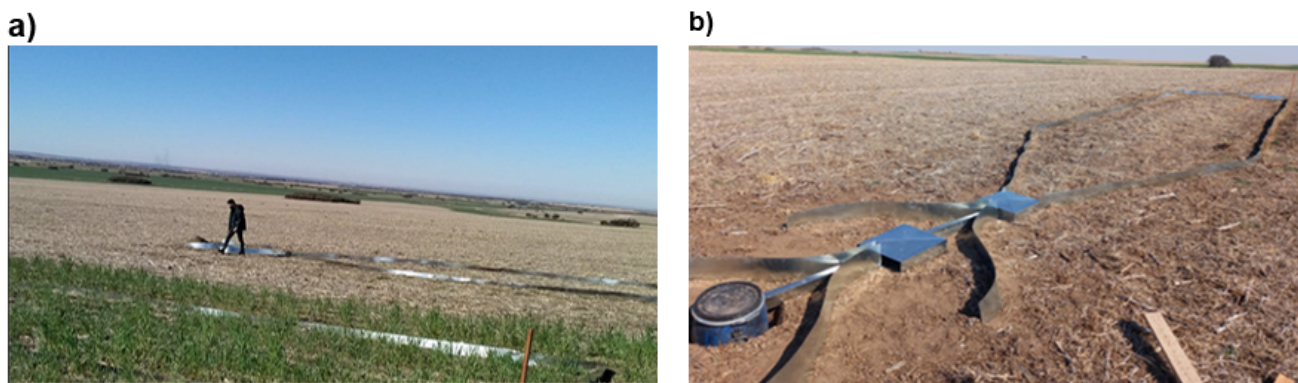


Figura 2. a) Parcelas móviles instaladas en el sitio de estudio para medición de erosión hídrica, al frente sobre cultivo de cobertura (CC) y al fondo sin CC, y b) Detalle de la configuración de la parcela.

Las precipitaciones ocurridas durante el periodo de medición fueron registradas mediante un pluviómetro ubicado junto con las parcelas. Para obtener el dato de lámina escurrida y cantidad de sedimentos transportados, se recolectó del tanque colector la muestra y se transportó al laboratorio. En el laboratorio, la muestra tomada a campo se secó en estufa a 60°C hasta peso constante y se pesó con balanza analítica para ser expresado en kg ha⁻¹ (Carfagno *et al.*, 2018).

También se evaluó la tasa de infiltración en cada parcela mediante el uso de anillos simples con un periodo de duración de 60 minutos (Eiza *et al.*, 2018), los niveles de cobertura de los tratamientos cCC con el uso del software CobCal 2.0 (Ferrari *et al.*, 2011) y la producción de materia seca, para ello se tomaron muestras y se llevaron a estufa a 60°C hasta peso constante.

Cada evento de precipitación fue considerado como réplicas. Los datos recolectados fueron analizados mediante la prueba de Wilcoxon con un nivel de significación del 5% usando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de materia seca y cobertura del cultivo de cobertura.

La producción promedio de materia seca en secano del cultivo de cobertura fue de 3200 kg ha⁻¹, resultados similares a los reportados por Colazo *et al.* (2020) en la provincia de San Luis. La cobertura alcanzada por el cultivo fue del 68,9 % superando la cobertura mínima (30%) mencionada en la bibliografía para lograr un efecto mitigador de los procesos erosivos (Figura 3).



Figura 3. Medición de cobertura mediante el software Cocal 2.0.

Efecto de los cultivos de cobertura en la erosión hídrica.

En la Tabla 1 se presentan los registros de precipitaciones, volúmenes escurridos y toma de sedimentos registrados en las parcelas instaladas. En total registramos siete eventos de precipitaciones entre 0,5 y 24 mm. En la mayoría de los eventos el escurrimiento fue similar entre cCC y sCC a excepción del 11/11/2022.

Tabla 1. Registros de los eventos de precipitación (Pp), lámina escurrida (E) y sedimentos (SED) recogidos en las situaciones con (cCC) y sin (sCC) cultivo de cobertura.

FECHA	Pp (mm)	E cCC (mm)	E sCC (mm)	SED cCC (kg ha ⁻¹)	SED sCC (kg ha ⁻¹)
13/10/2021	17,5	0,71	0,72	22,04	24,64
15/10/2021	5	0,15	0,15	1,56	4,36
23/10/2021	0,5	0,08	0,08	1,23	7,44
1/11/2021	18	0,06	0,05	43,33	180,38
5/11/2021	10	0,49	0,20	2,24	13,26
11/11/2021	24	1,29	0,09	28,11	67,60
15/11/2021	3	0,03	0,03	3,63	74,26
TOTAL	78	2,81	1,32	102,14	371,94

Los sedimentos recolectados en cCC fueron un 72,5% menores que en sCC (Figura 4a, $p=0,0078$). Esto puede explicarse por el efecto protector de la cobertura reduciendo el efecto erosivo de la gota de lluvia sobre los agregados del suelo (Adema *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2022). No existieron diferencias de infiltración acumulada entre cCC y sCC (Figura 4b). Estos resultados coinciden parcialmente con Capurro (2017), quien reporta una reducción de la erosión con CC, pero con una mejora en la infiltración. Esta diferencia podría explicarse por la textura, siendo mayor la fracción arenosa en nuestro sitio de estudio.

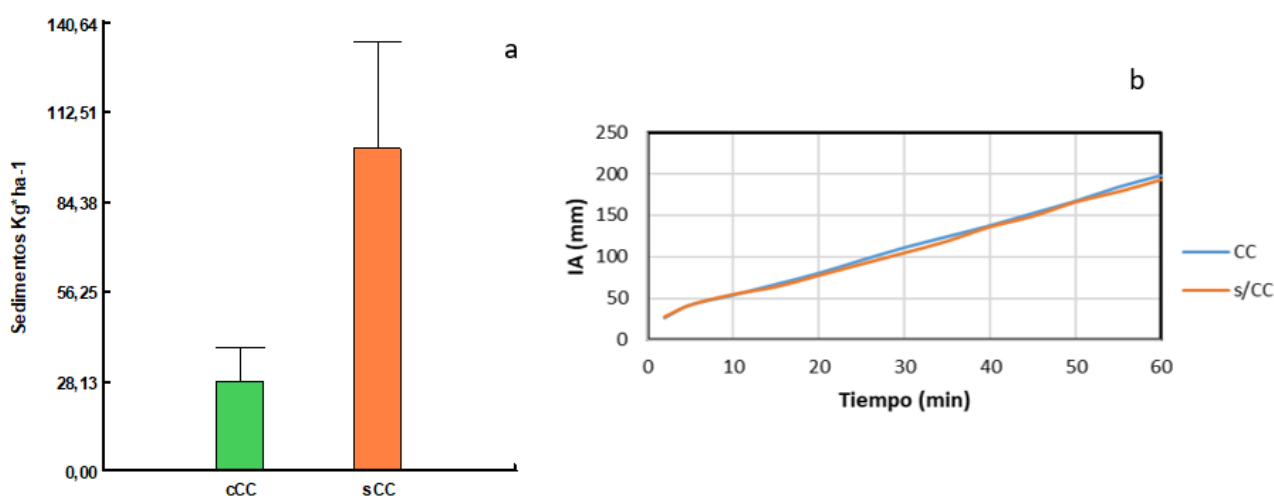


Figura 4. a) Pérdida de suelo (kg ha⁻¹) para los tratamientos con (cCC) y sin (sCC) con sus respectivos errores estándares (n= 22). b) Infiltración acumulada medida en 60 min en los tratamientos.

CONCLUSIONES

- La implementación de CC en sistemas agrícolas es una estrategia efectiva para mitigar los procesos de erosión hídrica.
- El cultivo de centeno (*secale cereale*) alcanza niveles de cobertura elevados aún en bajos niveles de densidad de siembra, superando el 30% mínimo de cobertura para protección frente a la erosión.
- El uso de las parcelas móviles permitió obtener datos de procesos erosivos a campo en situación real de producción y ocurrencia de precipitaciones.
- Es necesario continuar con evaluaciones en la región, debido a que los datos obtenidos son preliminares y para poder alcanzar un mayor conocimiento de los efectos de la vegetación y su efecto en procesos erosivos es importante contar con más información a campo.



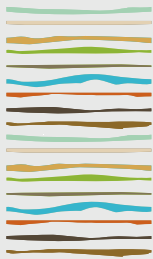
AGRADECIMIENTOS

A Emiliano Giménez por facilitar las instalaciones del establecimiento "El Quebrachal". A Diego Celdrán, Juan de Dios Herrera, Nicolas Rusoci y Gustavo Aguilera por la colaboración en la instalación de las parcelas móviles.

BIBLIOGRAFIA

- Adema, E.; Babinec, F.; Buschiazzo, D.; Martín M. & Peinemann, N. 2003. Erosión hídrica en suelos del cardenal. EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Alvarez, C.; Fernandez, R.; Rillos, S.; Frasier, I. y Quiroga A. 2020. ¿Cuándo, para qué y cómo usamos un cultivo de cobertura?. Pag. 1-8. En: Cultivos de cobertura en San Luis. ISSN:0327-425X.
- Carfagno, P; MJ Eiza; D Sainz; F Behrends Kraemer y C Chagas. 2018. Estandarización de parcelas móviles de escurrimiento para estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica. Ci. Suelo (Argentina) 36(2):14-20.
- Capurro, J. & Montico, S. 2020. Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. Cuadernos del Curiham. Volumen 26. Pag. 41-47. ISSN: 2683-8168.
- Casas, R. 2015. La erosión del suelo en Argentina. En: R Casas & G Albarracín (Eds), El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina, Prosa, Buenos Aires, p 433-452.
- Colazo, JC & M Bongiovanni. 2020. Aspectos tecnológicos. En: Colazo, JC & JA Garay (Eds), Cultivos de cobertura en San Luis. Información Técnica 197. EEA San Luis. Ediciones INTA, p 8-13.
- Colazo, JC; OA Barbosa; JM de Dios Herrero & CA Saenz. 2015. Provincia de San Luis. En: Casas R & G Albarracín (Eds.), El deterioro del suelo y del ambiente en Argentina. FECIC.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- Eiza, M. & Carfagno, P. 2018. Medición de la infiltración en el suelo. Infiltrómetro de anillo simple y simulador de lluvia. En: Quiroga, A; R Fernández & C Álvarez (Eds.), Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. Ediciones INTA, p 25-36
- Ferrari, DM; H Ferrari & MC Ferrari. 2011. Software de cobertura vegetal para la aplicación en mecanización agrícola. Disponible en: <http://cobcal.sitiogma.com.ar>.
- Koudahe, K.; Allen, S. & Djaman, K. 2022. Critical review of the impacto f cover crops on soil properties. International Soil and Water Conservation Research. Volumen 10. Pag. 343-354.
- INTA & Gobierno de San Luis. 2000. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Villa Mercedes.
- Panagos, P; Borrelli, P & Poesen, J. 2019. Soil los due to crop harvesting in the European Union: A first estimation o fan underrated geomorphic process. Science of The Total Environment. Volumen 664. Pag. 487-498.
- Saenz CA; N Rusoci & JC Colazo. 2016. Balance hídrico de diferentes escenarios en la cuenca El Morro. Información Técnica 192. INTA San Luis. 18 p.
- Ravi, S.; Breshears, D.; Huxman, T. & D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. Geomorphology. Volumen 116. Pag. 236-245.
- Guo, W.; Luo, L.; Li, H.; Wang, W. & Bai Y. 2022. Runoff and erosion reducing effects of vegetation on the loess hillslopes of China under concentrated Flow. International Soil and Water Conservation Research.





IMPACTO DE LA LEGISLACIÓN CONSERVACIONISTA EN UNA CUENCA DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Pérez, M.R.^{1*}, M.E. Vicondo²

¹ Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba.

Av. Figueroa Alcorta 234 (5000) Córdoba, Provincia de Córdoba, Maximiliano.Perez@cba.gov.ar,

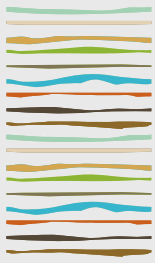
² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, E.E.A Manfredi.

RESUMEN

Dentro de las cuencas de la provincia de Córdoba, uno de los principales problemas de degradación ambiental que se presenta es la erosión hídrica en sus diferentes formas. Este problema está asociado a fuertes cambios en el uso y manejo de las tierras. En el año 2001 se sancionó la Ley Provincial N° 8.936 de "Conservación y Protección de los Suelos", declarándose de orden público en todo el territorio de la provincia de Córdoba: la conservación y control de la capacidad productiva de los suelos, la prevención de todo proceso de degradación de los suelos, la recuperación de los suelos degradados y la promoción de la educación conservacionista del suelo. Los trabajos de sistematización de suelos, fundamentalmente de terrazas de desagües, canales y microembalses se han realizado desde la sanción de la Ley N° 8.936. Esta crea la figura del plan predial de conservación de suelos, constituyendo este una planificación de manejo racional del suelo del establecimiento agropecuario con 5 años de duración y que deberá ser confeccionado por un ingeniero agrónomo matriculado en el colegio profesional respectivo. Los requisitos para la presentación de planes prediales están plasmados en la Resolución N° 255/19 del Ministerio de Agricultura y Ganadería. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar el impacto sobre la adopción de técnicas conservacionistas de la Ley N° 8.936 y su modificatoria N° 10.669 "De Conservación y Protección de los Suelos" en la cuenca de aporte a la cortada de Grasso correspondiente al Consorcio de Conservación de Suelos Despeñaderos. Esta cuenca posee una superficie de 9.863 ha. y desemboca en la margen sur del Río Xanaes (Río Segundo), está ubicada en la "Pampa Loésica Alta". De 337 ha. que en el año 2001 estaban sistematizadas, hoy ese número asciende a 3.442 ha. Esto implica que se incrementó en 1021% el área intervenida. Considerando la superficie total de la cuenca de aporte de la cortada de Grasso, se ha alcanzado un 34,90 % de superficie sistematizada. Otro indicador del progreso en conservación de suelos asociado a la implementación de la Ley 8.936 fue el incremento de planes prediales presentados al Ministerio de Agricultura y Ganadería. Si bien la Ley data del año 2001, es entre los años 2012 - 2020 que se presentan 13 planes prediales que cubren una superficie de 3.531,20 ha. Es a partir del año 2012 que se realiza por parte del estado, una mayor difusión e implementación de políticas de conservación de suelos, que tiene su correlato en un aumento de la presentación de proyectos de sistematización de suelos. La implementación de la ley N° 8.936 y su modificatoria N° 10.669 por parte del Estado Provincial, ha influido de manera positiva en la cuenca que aporta a la cortada de Grasso. Ello se visualiza en el incremento notable de la superficie sistematizada, la disminución de los procesos erosivos, fundamentalmente la erosión en surcos y cárcavas.

Palabras clave: cuenca, erosión, legislación.





VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS Y AGUA LUEGO DE 12 AÑOS DE AGRICULTURA CONTÍNUA EN DOS SUBCUENCAS DE ENTRE RÍOS

Piérola G.A.*¹, L.R. Steger^{1,2}, C.A. Heinze¹, M.F. Saluzzio², J.J. Gvozdenovich^{1,2}

¹ INTA EEA Paraná; * Ruta Provincial 11 km 12,5,

² Universidad Nacional de Entre Ríos Facultad de Ciencias Agropecuarias,
Ruta Pcial. 11 Km. 10.5 . pierola.gabriel@inta.gob.ar.

RESUMEN

La erosión hídrica es una de las principales causas de degradación y pérdida de productividad de los suelos de Argentina y Entre Ríos, generando disminuciones en el rendimientos de los principales cultivos, al igual que los ingresos económicos que perciben los productores, donde también se ve afectado el estado. El objetivo de este trabajo fue realizar una estimación de las pérdidas de suelo y agua que se producen en dos subcuencas de la provincia de Entre Ríos en dos campañas, mediante estos datos estimar la pérdida de nutrientes y rendimiento potencial y su correspondiente valor económico asociado. Se determinó la superficie de las dos subcuencas y los tipos de suelos presentes mediante sistemas de información geográfica (SIG) y se realizaron los cálculos de pérdida de suelo con el modelo USLE/RUSLE, además se calculó la pérdida de agua estimada por escorrentía mediante el método de la Curva Número. Los resultados muestran que la pérdida de suelo, agua y nutrientes, han disminuido desde la campaña 2006/07 a la campaña 2019/20, debiéndose esto a la intensificación de los cultivos y al aumento de la superficie sistematizada.

Palabras clave: erosión, subcuenca, SIG.

INTRODUCCIÓN

La capacidad productiva de los suelos se ve fuertemente disminuida por la erosión hídrica, que además es una fuente de contaminación hacia los arroyos, ríos y mares, ya que el suelo que es arrastrado por el agua fuera del campo actúa como sedimento que llega a cauces principales, alterando el balance ecosistémico en los mismos y produciendo problemas por deposición en los cauces de agua (Chagas y Behrends, 2018), y esto también asociado a una mayor necesidad de dragados de limpieza en los puertos.

La pérdida de la capacidad productiva se da por la disminución del espesor de las capas más fértiles del suelo, la cual es la fracción que posee mayor capacidad de retención hídrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica. El volumen de agua perdida por escurrimiento tiene alta correlación con las pérdidas de rendimiento potencial de los cultivos, asociado a la menor disponibilidad hídrica en el suelo (Gvozdenovich, 2018).

En Entre Ríos la utilización de terrazas como tecnología de control de erosión hídrica está muy difundida. La susceptibilidad a erosión se debe a las características edáficas (alto contenido de limo y horizontes sub-superficiales densos y poco permeables), topográficas (pendientes extensas con intensidades de 1 a 8%) y climáticas. La sistematización con terrazas consiste en el acortamiento de la pendiente interponiendo canales (terrazas) que conducen el agua excedente que no se infiltra en el suelo fuera del lote a una velocidad no erosiva. De aquí surge la necesidad de sistematizar los lotes con una visión de cuenca con el fin de manejar el agua de escorrentía a una velocidad no erosiva a través de sus entradas y salidas naturales.



El presente trabajo tuvo como objetivo, estimar el escurrimiento, superficie sistematizada y cambio en el uso del suelo en dos subcuencas comparando más de una década de agricultura continua y su impacto económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la delimitación de las cuencas se utilizó el modelo digital de elevación (MDE) que provee el Instituto Geográfico Nacional (Fuente: <https://www.ign.gob.ar>) el cual se basa en imágenes que poseen una resolución de píxel de 5x5 m en la zona de estudio, estas fueron luego procesadas en el software de uso libre QGIS en conjunto con imágenes satelitales de Google Earth (Figura 1).

La subcuenca Norte en color rojo ($31^{\circ}51'26.04''S$ $60^{\circ}14'56.46''O$) cuenta con una superficie aproximada de 976 ha ubicada al centro de la cuenca Las Conchas y la subcuenca Sur, color marrón ($32^{\circ}0'25.99''S$ $60^{\circ}13'16.35''O$) cuenta con una superficie aproximada de 1.658 ha ubicada al sur de la cuenca antes mencionada. Ambas subcuencas desaguan al arroyo Espinillo, afluente del río Paraná (Figura 1).



Figura 1: Ubicación de las subcuencas en estudio (en color rojo la subcuenca Norte y en color marrón la subcuenca Sur)

Mediante las imágenes satelitales históricas de Google Earth se determinó la superficie que ya se encontraba sistematizada en las campañas 2006/07 y 2019/20 para ambas cuencas (Norte y Sur), además se midieron las superficies de desperdicios (áreas no cultivadas), como criterio para esta categoría se tomó a todas aquellas zonas que están compuestas principalmente por cauces de arroyos, áreas abandonadas a causa de la erosión hídrica, casas, galpones y arboladas.

Para estimar el impacto de la erosión hídrica sobre el recurso suelo en las dos campañas en estudio, se generó y recolectó la información necesaria para aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978) para Argentina (USLE/RUSLE) (Gvozdenovich *et al.*, 2015). Los límites de pérdida de suelo reportados para que una rotación de cultivos sea considerada como sustentable, desde el punto de vista de la erosión hídrica, se encuentran en el rango entre 2 a 11 Mg ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo este rango del tipo de suelo y profundidad del horizonte superficial (Montgomery, 2007; Cox, 2008).

A continuación se detallan los factores de la USLE. En primer lugar, el factor de erosividad de las lluvias, R, según Donda *et al.* (2018) fue de 652 MJ ha año⁻¹ para la micro región en estudio. Los suelos que se encuentran presentes en estas dos subcuencas pertenecen a los órdenes Molisoles y Vertisoles, los cuales se tuvieron en cuenta para el cálculo del factor K, realizando así una ponderación de las características edáficas de cada serie de suelo (GeoINTA) con la superficie que ocupa cada una.

El factor topográfico LS fue calculado a partir del MDE de la cuenca mediante transectas representativas, las cuales se le realizó un promedio ponderado obteniendo así un dato único de largo (L) e intensidad (S) para cada subcuenca.



Según la metodología de USLE/RUSLE, la vulnerabilidad de los suelos a la erosión hídrica se puede modificar a través de los factores L, C y P. En el presente trabajo se consideró al factor P dependiendo del nivel de conservación y práctica realizada, asumiendo valores para lotes sistematizados de 0,5 y para lotes sin terrazas de 1.

Para calcular el factor C se utilizó la información obtenida del SIBER de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (comunicación directa por el Ing. Agr. Pablo Fontanini). Obteniéndose con esta metodología un C ponderado para los cultivos de maíz, trigo, soja y pastura permanente en la campaña 2006/07 y 2019/20, en el cual se evidencia una intensificación de los sistemas agrícolas.

Con los datos calculados de la estimación de pérdida de suelo se procedió a estimar las pérdidas de los principales nutrientes (nitrógeno y fósforo) y su conversión al equivalente de los mismos en forma de fertilizante (urea y superfosfato triple, SPT). Este cálculo se realizó basándose en los datos de concentración de nutrientes en sedimentos de parcelas de escorrentía obtenidos por Sacks et al. (2020), donde se encontró que la concentración de carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo extraíble (P-Bray), presente en los sedimentos transportados por la erosión, es significativamente mayor que la concentración de los mismos encontrada en los análisis de suelo realizados (de 0-5 cm) en las parcelas de escorrentía, de las cuales salieron dichos sedimentos.

Luego se calculó el valor económico de la pérdida de estos nutrientes convirtiendo el volumen de pérdida estimada de N a Kg de UREA, y el valor de pérdida estimada de P a Kg de SPT, se utilizó el valor de mercado actual de los mismos en dólares por tonelada, verificados al 29/08/2022.

También se estimaron los mm de lluvia perdida por escorrentía utilizando el promedio de las lluvias mayores a 13,5 mm, valor a partir del cual se produce escurrimiento medido en parcelas de escorrentía del INTA EEA Paraná, y de un periodo histórico de 21 años del Observatorio agrometeorológico del INTA EEA Paraná (2000-2021). Para realizar estos cálculos se utilizó el método de la curva número del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (CN-SCN), sabiendo que esta metodología es usada mundialmente en pequeñas cuencas, la misma fue validada para la región de la pampa ondulada por Sainz et al. (2022).

Para estimar la diferencia de rendimiento de los cultivos nos basamos en los mm de lluvia extra que se infiltran en los campos que poseen terrazas (según el modelo de la CN), esto afectado por la eficiencia del uso del agua (EUA) para soja y maíz publicado por Andrade y Sadras (2000) los cuales concluyeron que la soja produce 5,2 kg de grano mm^{-1} agua y maíz entre 16 a 18 kg de grano mm^{-1} de agua. En cuanto al trigo Pergolini et al (2004) encontraron que la EUA se situaba entre 7,6 a 12 kg grano mm^{-1} de agua.

El diferencial de ingreso económico por cultivo se calculó teniendo en cuenta la diferencia de rendimiento estimada, mediante los mm de lluvia extra infiltrados en los campos sistematizados (suponiendo que estos son aprovechados por los cultivos), y correlacionando estos valores con la EUA de cada cultivo y el valor de mercado de estos granos (Bolsa de Cereales de Rosario. 22/08/2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cuantificar el volumen de agua escurrida, en base a los 571 eventos de precipitaciones mayores a 13,5 mm encontrados para el periodo 2000-2021, se obtuvo una media de 26 lluvias anuales de 26,3 mm con el objetivo de estimar el impacto potencial del agua escurrida que sale del lote y, a través de la EUA de cada cultivo, su impacto en la merma de rendimiento de los mismos.

En cuanto a la estimación de pérdida de suelo, se observó que los valores de la campaña 2019/20, en comparación con 2006/07, fueron menores, tanto para superficie sistematizada como para la no sistematizada, viéndose reflejados estos valores en la pérdida de suelo ponderada (Gráfico 1). Esto se debe en gran parte, a la intensificación en el uso del suelo, ya que actualmente se destina mayor superficie (22,4% más) a cultivos dobles, como Tr/Sj. También, se evidenció una disminución en la pérdida de suelo estimada por el aumento de la superficie sistematizada principalmente en la subcuenca Norte, la cual pasó de tener un 16,16% de superficie sistematizada (2006/07) a 58,49% (2019/20), mientras que en la subcuenca Sur el aumento de la



superficie sistematizada fue menor, pasando de 17,05% (2006/07) a 26,51% (2019/20).

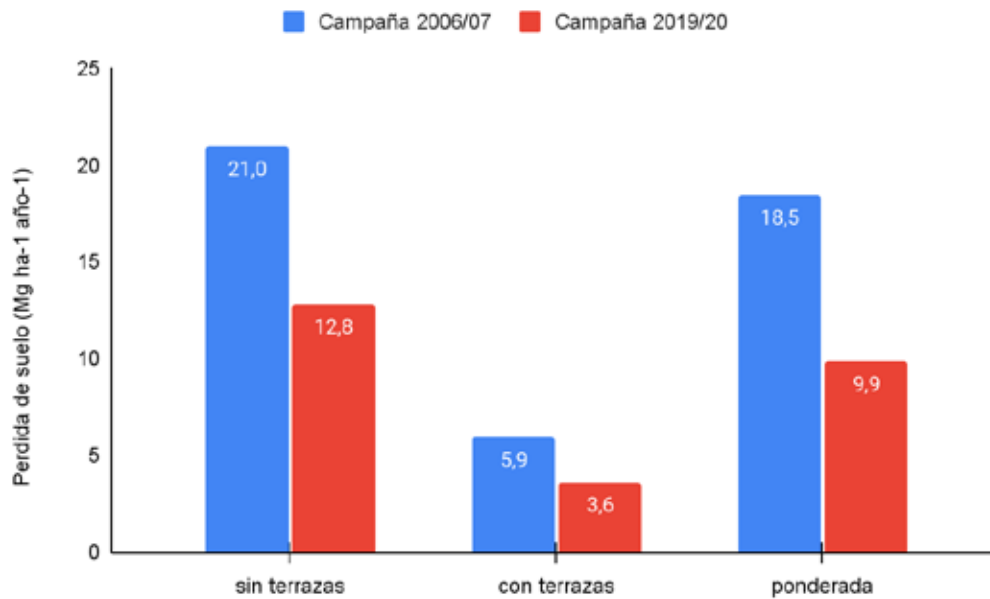


Gráfico 1: Estimación de pérdida de suelo, con y sin terrazas, y su valor ponderado, para las dos campañas en estudio (azul campaña 2006/07 y rojo campaña 2019/20)

Como se observa en el Gráfico 2, económicamente se pierde un 72% más de nutrientes (nitrógeno y fósforo) por el sedimento de la erosión hídrica en lotes sin sistematizar, comparando con los lotes sistematizados.

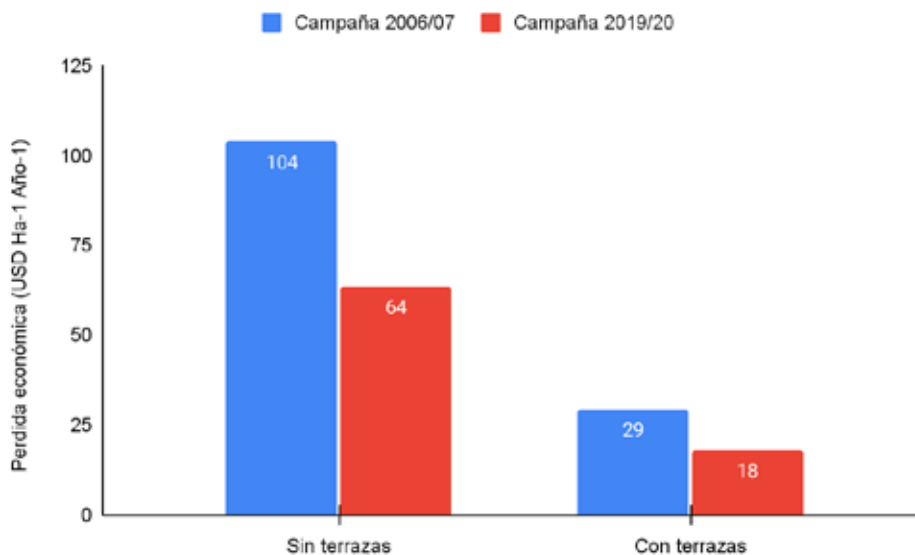


Gráfico 2: Estimación de la pérdida económica de nutrientes por erosión hídrica con y sin terrazas.

El ingreso económico en cada unidad de uso de suelo se aprecia en el Gráfico 3. Al expresar los montos por unidad de superficie con uso agrícola, se encuentra que el escenario de máximo ingreso se produce con maíz en lotes sistematizados, obteniendo un diferencial de 523 USD ha⁻¹ año⁻¹, similar a lo encontrado por Tomasini et al (2020) los cuales obtuvieron que el maíz fue el cultivo que más diferencia presentó, seguido por la soja y el trigo sobre suelos Vertisoles de la costa del Uruguay a diferencia de lo encontrado en este trabajo. La

extrapolación de estos datos a la superficie que representan ambas cuencas en el año 2019/20, sumaría un incremento de USD 247.109 por aplicar medidas conservacionistas relacionadas a un mayor aprovechamiento del agua de escorrentía y una disminución en la pérdida de nutrientes, lo cual justificaría la formulación de un programa de manejo integral de recursos naturales para la cuenca.

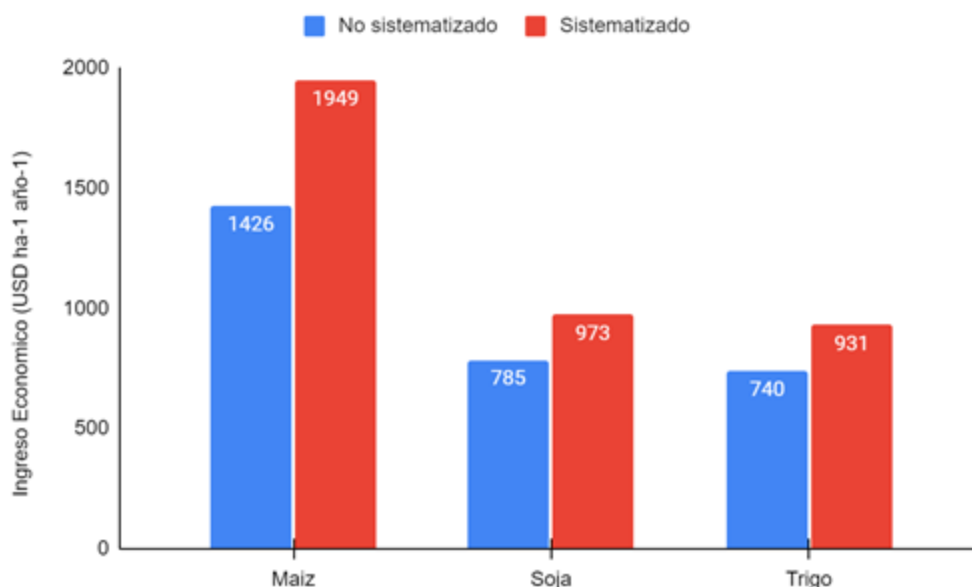


Gráfico 3: Ingreso económico con terrazas (rojo) y sin terrazas (azul) para maíz, soja y trigo.

Finalmente, con lo que dejaríamos de producir en maíz, soja y trigo, debido a la erosión hídrica, y asociado al aumento en los ingresos de ambas cuencas (USD 247.109), podríamos adquirir maquinaria indispensable para la construcción de tecnologías de control de erosión hídrica, como por ejemplo 2 tractores Valtra BH185 con niveladora de arrastre TbeH N4 (Link: www.agrofy.com.ar 09/2022) y la obtención de fondos para la sistematización de 810 ha con terrazas no sembrables.

CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos de los análisis de datos que se realizaron podemos decir que, en el periodo de estudio (13 años) ha aumentado la superficie sistematizada y se ha intensificado el uso del suelo en esta región, lo que produjo una disminución de la pérdida de suelo, como así también de nutrientes, y una merma en la escorrentía al verse favorecida la infiltración. Si bien los resultados indican una disminución en la pérdida de suelos, esto demuestra que debemos seguir investigando y trabajando para que dichas pérdidas se encuentren cercanas a su valor mínimo.

La cuantificación y valoración económica de tales escenarios, permitió obtener un rango de valores que marcan la importancia de aplicar prácticas de conservación de suelo, como propuestas de manejo. Además de los ya conocidos beneficios en la conservación del suelo a corto y largo plazo, mediante las estimaciones realizadas, queda en evidencia que el escenario con terrazas resulta altamente competitivo ya que asegura la sostenibilidad ambiental y económica de la producción agrícola en el territorio provincial.

AGRADECIMIENTOS

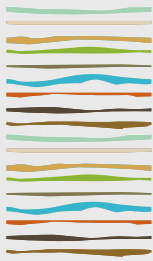
Esta investigación se desarrolló en el marco del Proyecto IMPACTAR.84, PID-UNER 2235 y i052 INTA.



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H., Sadras, V. O., Aguirrezábal, L. A., Alvarez Castillo, H. A., Bedmar, F., Cirilo, A. G., & Vincini, A. M. (2000). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.
- Chagas, C. I., & Behrends Kraemer, F. (2018). Esguerrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: algunos elementos para su análisis. Editorial de la Facultad de Agronomía UBA. Archivo Digital: descarga y online. 34 pp. https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/chagas_celio_ignacio.pdf
- Gvozdenovich, J., Pioto, C., & Paparotti, O. (2015). Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. *INTA EEA Paraná Serie Extensión Digital-Actualización Técnica Soja*, 45-49.
- Gvozdenovich, J., Paparotti, O., Barbagelata, P., Naturales, G. R., & Paraná, F. A. I. E. relación entre el rendimiento del cultivo de trigo y el agua edáfica a la siembra en diferentes suelos de Entre Ríos. *Actualización técnica. EEA Paraná*, (1).
- Sacks, L.L., Gvozdenovich, J.J., Saluzzio, M.F. (2020). Dispositivo sencillo para la estimación de pérdida de sedimentos en parcelas de escurrentía. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Sainz, D. S., Behrends Kraemer, F., Carfagno, P. F., Eiza, M. J., & Chagas, C. I. (2022). Números de curva de escurrimiento determinados para una microcuenca aforada con suelos Argiudoles de permeabilidad moderada. *Ciencia del Suelo*, 40 (1): 49-58
- Pergolini, S., Castillo, C., & Espósito, G. 2004. Efecto de la Fertilización sobre el Consumo y la Eficiencia de Uso del Agua del Cultivo de Trigo. *Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC*.
- Saluzzio, M; JJ Gvozdenovich; A Kinderknecht & J Noir. 2016. Tiempo de concentración para el diseño de terrazas de evacuación. Actas del XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo
- Gaspari, F. J., Delgado, M. I., & Denegri, G. A. (2009). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana*, 27(1), 43-51.
- Tomasini, D., Longo, L., Puhl, L., Maggi, A., & Cirigliano, S. (2020). Sostenibilidad productiva y económica de la conservación de suelos en la Región Oriental de la provincia de Entre Ríos. *Agronomía & Ambiente*, 39(2).





VALIDACIÓN DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE ESCENARIOS DE COBERTURAS. CUENCA ARROYO ESTACAS (ENTRE RÍOS)

Pighini, R.J.^{1*}, A.B. Wingeyer^{1,2}, M.G. Wilson², L.B. Rodriguez³

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

³ Centro de Estudios Hidro-ambientales (FICH-UNL).

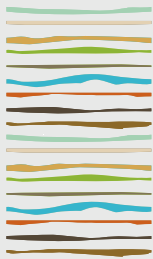
* Ruta Provincial N° 11, km 12,5 (3101) Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina. pighini.ramiro@inta.gob.ar

RESUMEN

Los estudios de cambios de uso de suelo en cuencas rurales, han sido cada vez más frecuentes en los últimos 20 años. En este sentido, la generación de escenarios futuros de coberturas es una herramienta importante para predecir los posibles impactos sobre los recursos hídricos, el suelo y el normal desenvolvimiento de las actividades agrícolas/ganaderas. El objetivo del presente trabajo fue calibrar y validar un modelo de predicción de escenarios futuros de cambios de coberturas basados en pesos de evidencia y autómatas celulares en una cuenca rural. El sitio de estudio fue la cuenca del Arroyo Estacas, al norte del departamento La Paz (Entre Ríos). Posee un área de 725,73 km², una longitud axial de 57,6 km y un ancho promedio de 12,6 km, con predominio de bosques nativos al sureste (margen izquierda), y mayor actividad agrícola al noroeste (margen derecha). Sus suelos son mayormente alfisoles en la cuenca media-alta con baja erosión hídrica, y vertisoles en la cuenca media-baja con gran desarrollo de cárcavas y surcos. Se utilizó el software Dinámica-EGO y un entorno SIG para el análisis de imágenes ráster, con resolución espacial de 30 m. La metodología constó de seis pasos: generación de cubo ráster de variables estáticas; selección de años y períodos de referencia; determinación de tasas de transición; calibración mediante pesos de evidencia; correlación e independencia de variables; y validación del modelo. El período de análisis fue de 10 años, entre el año 2008 (situación inicial) y el año 2018 (situación final). Las transiciones evaluadas fueron el cambio de bosque abierto y cerrado (con menos y más del 60% de cobertura arbórea, respectivamente) a cultivos. Las variables estáticas analizadas fueron: distancias a localidades, a cursos de agua y caminos, precipitación media, elevación, temperatura, pendiente, índice de productividad, capacidad de uso del suelo, NDVI, y mapa de ley de bosques. La matriz de transición determinó que un 35% del bosque nativo fue transformado a cultivo entre el año 2008 y el 2018. Las variables que más peso positivo tuvieron, ayudando a los procesos de transición, fueron las cercanías a caminos transitables y a desmontes realizados en períodos anteriores (expansión de la frontera agrícola). En sentido contrario, la cercanía a cursos de agua, a las zonas más bajas de la cuenca, y a las zonas menos accesibles (más lejanas a los caminos), sirvieron como resistencias, con pesos de evidencias negativos. Por la escala espacial de trabajo, la precipitación y la temperatura no fueron relevantes en los procesos de cambio. Para medir la eficiencia de la validación, se calculó el porcentaje de coincidencias en parches aleatorios del mapa de coberturas de 2018, entre el real y el simulado. Estos parches representaron el 25% del área total de la cuenca. Las coincidencias fueron de más del 80%, verificando la efectividad del modelo calibrado, que servirá para la creación de escenarios futuros de uso de suelo a nivel de cuenca y paisaje, y la evaluación del impacto en la hidrología y la pérdida de suelos.

Palabras clave: Dinámica EGO, usos de suelos, escenarios futuros.





PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN DE BOSQUES NATIVOS (PNRBN)

Portocarrero, R.^{1,*}, H. Sanchez¹, M. Seehaus², E. Gabioud², C. Sasal²

¹ EEA INTA Famaillá;

² EEA INTA Paraná;

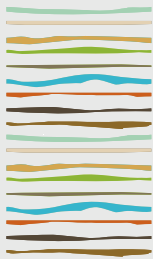
*Ruta provincial 301, km 32, CP 4132, portocarrero.rocio@inta.gob.ar

RESUMEN

El sur de la provincia de Tucumán presenta un deterioro ambiental debido a la erosión hídrica de suelos, por la eliminación de la cobertura boscosa y modificación de la dinámica hidro-geomorfológica de las cuencas. En el marco de esta problemática, en 2018 se recuperó un lote dentro del PNRBN. El objetivo de este estudio es establecer una línea de base de las condiciones de física del suelo en el lote recuperado. El estudio comparó el suelo del sitio recuperado con dos ecosistemas de referencia: 1) Ecosistema recuperado: Lote de 11 ha, cultivado desde la década del '70 hasta el 2012, abandonado y sujeto a sucesión secundaria hasta el 2018, y recuperado con *Prosopis alba* en noviembre de 2018. La plantación se hizo en fajas cada 15 m y 5 m de distancia entre árboles dentro de cada faja, además de 15 bosquetes; 2) Ecosistema natural de referencia. Lote de 117 ha, se encuentra a 1300 m de distancia de sitio 1, corresponde al Umbral del Chaco; 3) Ecosistema agrícola. Se encuentra colindante al sitio 2, cultivado con soja. En cada sitio se delimitó un área de 200 m² dentro de la cual se evaluó: densidad aparente (método del cilindro, profundidad 0-17 cm y 17-30 cm, 6 muestras por sitio y profundidad), resistencia a la penetración (por penetrómetro de impacto, 12 puntos por sitio), estabilidad de agregados (metodología de Le Bissonnais, 6 muestras sin disturbar de 20 cm de profundidad por sitio) y textura (método de Pipeta Robinson, 6 muestras disturbadas de 20 cm de profundidad por sitio). Las muestras y determinaciones de campo se realizaron en el otoño 2022, posterior al período anual de lluvias. Para establecer diferencias de las variables entre sitios se utilizó ANOVA y DGC para comparación de medias. Los resultados muestran que la textura del sitio recuperado (sitio 1) es franco limosa y franco arenosa para los sitios 2 y 3. La densidad aparente en el lote restaurado es de 0,93 Mg m⁻³ hasta los 17 cm y 1,20 Mg m⁻³ en la siguiente profundidad, menor que el suelo cultivado (1,28 Mg m⁻³ hasta los 17 cm y 1,40 Mg m⁻³ hasta los 30 cm). La resistencia a la penetración de los primeros 5 cm es mayor en el suelo cultivado (0,57 MPa) que en el suelo recuperado (0,36 MPa) y ecosistema natural (0,28 MPa), similar entre el suelo cultivado y el suelo recuperado (2,2 MPa) entre 5-20 cm de profundidad, mayor en el suelo recuperado (3,62 MPa) que en los otros dos sitios de 20-25 cm y similar entre los tres sitios de 25-30 cm de profundidad (suelo recuperado 3,45 MPa). El diámetro medio ponderado promedio de agregados estables decrece de ecosistema natural > ecosistema recuperado > ecosistema agrícola. Uno de los objetivos del PNRBN es restablecer los procesos funcionales de los bosques nativos por lo que, en ambientes deteriorados en la capacidad de infiltración, es necesaria una línea de base en cuanto a propiedades relacionadas con distribución y almacenamiento del agua de los suelos.

Palabras clave: Región chaqueña, *Prosopis alba*, servicios ambientales.





CULTIVOS DE COBERTURA Y EMISIONES DE N₂O EN LA REGIÓN HUMEDA Y SEMIÁRIDA PAMPEANA

Posse, G.^{1*}, I. Frasier²⁴, S. Restovich³, S. Vangeli, S¹⁴⁵. S. Vargas Gil⁴⁶

¹ Instituto de Clima y Agua INTA;

² Instituto de Suelos INTA-CONICET,

³ EEA Pergamino INTA; ⁴ CONICET;

⁵ FAUBA

⁶ Instituto de Patología Vegetal (IPAVE)-Unidad de Fitopatología y Modelización Agrícola (UFYMA-CONICET), CIAP- INTA.

* Nicolas Repetto y de los Reseros S/N, (1686) Hurlingham, Prov. de Buenos Aires, posse.gabriela@inta.gob.ar

RESUMEN

La utilización de cultivos de cobertura (CC) como práctica para aumentar las reservas de carbono en el suelo puede incrementar las emisiones de N₂O como consecuencia no deseada. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de incluir gramíneas, solas o en mezcla con crucíferas, como CC en un monocultivo de soja sobre las emisiones de N₂O, en dos sitios con suelos y climas diferentes: Pergamino y Anguil. Se evaluaron dos manejos diferentes: i) monocultura de soja (S-S); ii) monocultura de soja con CC (S-CC) y iii) pasturas como referencia de emisiones basales (P). Durante dos campañas, se estimaron las tasas de emisión de N₂O utilizando cámaras estáticas en dos periodos en los que se esperan las máximas emisiones de N₂O (alrededor de la siembra y de la cosecha de soja). Además, se determinó el porcentaje de poros llenos de agua (%WFPS) y la concentración de nitratos, variables relacionadas con las emisiones. El efecto de incluir o no CC sobre las emisiones de N₂O no fue el mismo entre los periodos ni en los sitios estudiados. Durante el primer año, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de S-CC y S-S en ninguno de los dos sitios. En el segundo año, en cambio, la secuencia S-S tuvo mayores emisiones que S-CC en Pergamino en el período de siembra de soja, mientras que en Anguil no se observó este efecto. Por el contrario, en el periodo de cosecha de soja, en Pergamino, no se encontraron diferencias entre tratamientos mientras que en Anguil, S-CC tuvo mayores emisiones que S-S. Nuestros resultados sugieren que la utilización de gramíneas puras o mezclas de gramíneas sin leguminosas no aumentan inequívocamente las emisiones de N₂O. Las características propias de cada sitio, afectaron de manera diferencial las variables moduladoras de las emisiones de N₂O.

Palabras clave: sustentabilidad, sistemas agrícolas, cambio climático

INTRODUCCIÓN

El óxido nitroso (N₂O) es un potente gas con efecto invernadero asociado, junto con otros gases como el CO₂, al aumento de la temperatura media del planeta y al cambio climático. Las emisiones de N₂O desde el suelo dependen principalmente de la cantidad de nitratos disponibles en el suelo, del porcentaje de poros con agua y de la temperatura (Davidson et al. 2000). No obstante, otros factores (composición de las comunidades microbianas, relación C/N de los residuos y las raíces, el pH del suelo, el contenido de P, etc.) han sido señalados como moduladores de las emisiones de N₂O y su impacto puede variar entre sitios. Por lo tanto, establecer relaciones simples entre las emisiones de N₂O y dichos factores en diferentes suelos y climas sigue siendo un desafío. Los suelos representan un importante reservorio de carbono, y especialmente los agrícolas tienen la capacidad de aumentar su stock (Recous et al., 2019) lo que permitiría contrarrestar el aumento de la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera. Algunas de las prácticas de ma-



nejo disponibles para recarbonizar los suelos con mejores pronósticos de éxito son la rotación de cultivos, la inclusión de gramíneas en las rotaciones agrícolas, la utilización de cultivos de cobertura (CC) y la siembra directa o labranza reducida (Frasier et al., 2016; Restovich et al., 2019; Poeplau & Don, 2015). Sin embargo, el aumento de las reservas de carbono en el suelo puede incrementar las emisiones de N_2O , debido a la mejora en las condiciones biológicas del suelo y al aumento del nitrógeno disponible, particularmente cuando se incorporan leguminosas como CC (Basche et al., 2014, Guenet et al., 2021). Por otro lado, la utilización de gramíneas como CC, ya sea puras o en mezclas con CC no leguminosas, representa una alternativa válida que no parece afectar el rendimiento del cultivo de cosecha, particularmente soja y no favorece las pérdidas de nitrógeno como N_2O . El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de incluir gramíneas, solas o en mezcla con crucíferas, como CC en un monocultivo de soja sobre las emisiones de N_2O , comparando dos tipos de suelo y régimen climático: Pergamino y Anguil.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a adelante durante dos años (2019-2021) en el campo experimental de la EEA Pergamino, Buenos Aires (33° 52' S; 60° 33' W) y en un campo privado en Anguil, La Pampa (36° 36' S; 63° 58' W). Se compararon dos prácticas de manejo: i) monocultura de soja (*Glycine max* L.) (S-S); ii) monocultura de soja con CC (S-CC), utilizando centeno (*Secale cereale* L.) como CC en el sitio de Anguil y una mezcla de avena y nabo forrajero (*Avena sativa* L. + *Raphanus sativus* L.) en Pergamino, y iii) pasturas como referencia de emisiones basales (P). En Anguil, se trabajó con una pastura de 4 años de festuca y alfalfa en rotación con agricultura, mientras que en Pergamino se trabajó sobre una pastura de 9 años de festuca y alfalfa que se mantuvo con corte y exportación.

En ambos sitios los tratamientos S-CC y S-S corresponden a un ensayo de larga duración. En Anguil, el ensayo se estableció en 2009 con un diseño en franjas (50 x 10 m) con 4 réplicas (bloques) bajo siembra directa. El centeno como CC se siembra a una densidad de 80 semillas m^{-2} durante el mes de mayo y se interrumpe su crecimiento con la aplicación de glifosato (3 L ha^{-1}) en el mes de octubre. La soja se siembra en diciembre con una densidad de 24 plantas m^{-2} y con un espacio entre hileras de 0,52 m. En Pergamino, el ensayo se estableció en el año 2011 con un diseño experimental en parcelas divididas con 3 réplicas (bloques), donde la parcela mayor (15 x 30 m) corresponde a la rotación y la subparcela al CC (5 x 30 m). La densidad de siembra para la consociación es de 80 y 20 $kg\ ha^{-1}$ para avena y nabo forrajero, respectivamente. El cultivo de soja se siembra con un espacio entre hileras de 0,52 m, durante el mes de noviembre.

El muestreo de N_2O se realizó durante los períodos donde se esperan las máximas emisiones de N_2O (Della Chiesa et al., 2019, Vangeli et al., 2022): entre el secado de los CC hasta unos días después de la siembra de la soja (Período 1-I y 1-II, para el primer y segundo año, respectivamente) y durante la senescencia del cultivo comercial (Período 2-I y 2-II para el primer y segundo año, respectivamente). Las tasas de emisión se estimaron utilizando el método de cámaras estáticas con ventilación (Livingston & Hutchinson, 1995). Se utilizaron seis cámaras por tratamiento (2 repeticiones por bloque, 3 bloques), efectuando las mediciones entre las 9 y las 12 am. Se recogieron tres muestras de aire de 10 ml a intervalos de 15 minutos (0, 15 y 30 minutos). En Anguil cada período estuvo compuesto por el siguiente número de mediciones: 5 y 4 mediciones en la siembra y senescencia de soja para el primer año mientras que 3 y 4 mediciones en siembra y senescencia de soja para el segundo año, respectivamente. En Pergamino, se realizaron 5 y 4 mediciones en siembra y en senescencia de soja para el primer año y para el segundo año se realizaron 4 y 3 en siembra y senescencia, respectivamente.

La concentración de N_2O en cada muestra se cuantificó por cromatografía de gases y las emisiones se calcularon a partir de la tasa de cambio de gas en función del tiempo (Parkin & Venterea, 2010). En cada fecha de medición de N_2O se determinó también humedad del suelo (método gravimétrico) datos que se utilizaron para calcular el porcentaje de poros llenos de agua (WFPS, por sus siglas en inglés) (Robertson & Groffman, 2007), la temperatura del suelo y aire y la concentración de N-nitratos (método del ácido fenoldisulfónico) a 0-10 cm de profundidad.

Para cada uno de los periodos muestreados en cada sitio, calculamos las emisiones acumuladas promedio por día y hectárea, de modo de que sus valores fueran comparables. Las variables edáficas determinadas en



las muestras de suelo también se promediaron para caracterizar las condiciones de cada período. Para el análisis estadístico de los datos, se realizaron modelos lineales mixtos, en donde los tratamientos, los períodos de muestreo y su interacción se incluyeron como efectos fijos. Las medias se compararon mediante la prueba de Fisher ($\alpha=0,05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2017). Además, se realizaron regresiones lineales para estudiar las relaciones entre las variables edáficas y las emisiones de N_2O .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La máxima tasa de emisión fue de 74.38 g N_2O /ha día en el tratamiento S-CC durante el Período 2-I en Pergamino mientras que el más bajo, en el mismo sitio, fue de -0.66 g N_2O /ha día en la pastura durante el Período 2-II. En Anguil el valor más alto se registró en la pastura durante el Período 2-I y fue de 6.88 g N_2O /ha y el más bajo fue de 0.87 g N_2O /ha durante el Período 1-II en S-CC. Comparando sitios y tratamientos dentro de cada período, las emisiones de N_2O acumuladas por día fueron mayores en los lotes cultivados (S-S y S-CC) de Pergamino mientras que el resto no tuvo diferencias significativas entre sí. En el Período 1-II no se detectaron diferencias significativas entre S-S y S-CC en ninguno de los dos sitios bajo estudio. Por otro lado, la pastura de Anguil tuvo mayor emisión que la de Pergamino sin diferencias significativas con respecto a los tratamientos cultivados de Pergamino. En el Período 1-II el tratamiento S-S de Pergamino tuvo el valor de emisión de N_2O más alto y el tratamiento S-CC de Anguil el más bajo, sin diferencias significativas con el S-S en ese sitio, mientras que en el Período 2-II los tratamientos S-CC de ambos sitios tuvieron los valores más altos. En relación a esto último, si bien no se detectaron diferencias significativas entre los dos sitios para S-CC, Anguil duplicó el valor de Pergamino en ese tratamiento (Fig. 1).

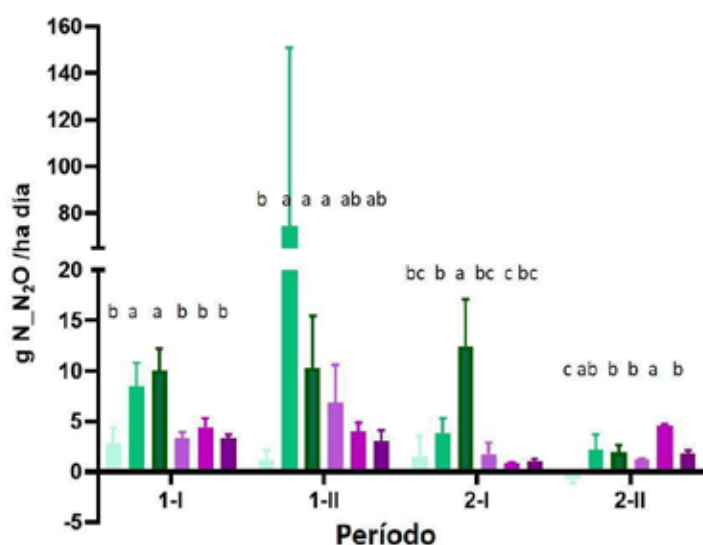


Figura 1. Emisiones acumuladas promedio de N_2O (g N_2O /ha día) para cada período estudiado en Pergamino y Anguil. Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada período. Sitio Pergamino: pastura; S-CC; S-S. Sitio Anguil: pastura; S-CC; S-S

Las características propias de cada sitio, afectaron de manera diferencial las variables moduladoras de las emisiones de N_2O . A su vez, el efecto de la inclusión o no de los CC no fue el mismo en los distintos períodos analizados. Así, en Pergamino, la inclusión de CC disminuyó los nitratos en el suelo sólo en los períodos después del secado de los mismos y la siembra de la soja, mientras que en Anguil la disminución fue registrada en los cuatro períodos muestreados. El sitio de Pergamino presentó mayores valores en el %WFPS (entre 32 y 58%), mientras que en Anguil los valores oscilaron entre 21 y 34%. En Anguil el uso del suelo no modificó el % WFPS en ninguno de los períodos. En Pergamino, la inclusión de los CC aumentó este porcentaje (Tabla 1).



		P 1-i	P 1-ii	P 2-i	P 2-ii
NITRATOS	A_P	15.08 (2.38) B	9.63 (0.63) A	22.51 (1.21) A	37.41 (1.81) A
	A_S-CC	13.52 (2.38) B	7.9 (1.98) A	14.49 (1.21) B	19.97 (1.81) C
	A_S_S	18.95 (2.38) B	7.87 (0.97) A	23.27 (1.21) A	28.07 (1.81) B
	P_P	5.91 (1.5) C	2.44 (0.45) B	2.97 (1.21) D	2.39 (0.58) E
	P_S-CC	17.16 (1.5) B	10.29 (1.4) A	7.3 (1.21) C	5.23 (0.58) D
	P_S-S	27.22 (1.68) A	9.14 (0.68) A	14.8 (1.21) B	3.09 (0.58) E
	%WFPS	A_P	22.7 (2.18) C	32.13 (1.5) B	20.92 (1.58) C
A_S-CC	30.04 (2.18) B	34.2 (1.5) B	23.44 (1.58) C	24.94 (1.35) C	
A_S_S	28.67 (2.18) BC	32.76 (1.5) B	22.16 (1.58) C	23.83 (1.35) C	
P_P	43.26 (2.18) A	53.94 (1.5) A	45.75 (1.37) A	56.32 (1.56) A	
P_S-CC	39.91 (2.18) A	46.85 (1.5) A	47.14 (1.37) A	50.41 (1.56) B	
P_S-S	33.23 (2.18) B	49.38 (1.5) A	36.16 (1.37) B	50.43 (1.56) B	

Tabla 1: Valores promedios y error entre paréntesis para la concentración de nitratos en ppm y el porcentaje de poros llenos de agua (% WFPS) para los cuatro períodos estudiados y los dos sitios. A_P: pastura Anguil, A S-CC Soja CC Anguil; A S-S: soja-soja Anguil; P_P: pastura Pergamino; P_S-CC soja-CC Pergamino y P_S-S: soja-soja Pergamino. Comparaciones múltiples dentro de cada período para cada variable. Letras diferentes indican diferencias significativas al 0.05

El mayor valor de la tasa de emisión de N₂O (durante el Período 2-I en el S-CC de Pergamino) puede considerarse como outlier, ya que no se registraron valores similares en ningún otro período. La existencia de “hot spot” en las emisiones de N₂O no es frecuente, pero ha sido documentada en otros estudios (Lewczuk et al. 2017) y suele complicar el ajuste de modelos matemáticos y sus estimaciones asociadas. Quitando ese valor, encontramos una relación significativa positiva entre la emisión de N₂O y el contenido de nitratos en el suelo en Pergamino (Figura 2a). Por el contrario, esta relación fue no significativa en Anguil. Probablemente otro factor está modulando las emisiones en este sitio. La influencia de las variables moduladoras de las emisiones de N₂O no son aditivas (Araujo et al. 2020) sino jerárquicas. Sin embargo, esas jerarquías dependen de cada sitio y de las condiciones ambientales y no es por el momento posible contar con reglas generales o globales que permitan contar con un modelo empírico único para estimar las emisiones. Es por esta razón que, en el caso de utilizar modelos de simulación, en cada sitio es necesario realizar una parametrización en particular. El valor máximo de emisión registrado para cada sitio (S-CC en el Período 1-II para Pergamino y S-CC en los Períodos 1-I y 2-II para Anguil) no parece estar relacionado con el %WFPS una de las variables más estudiadas como moduladora de las emisiones de N₂O.

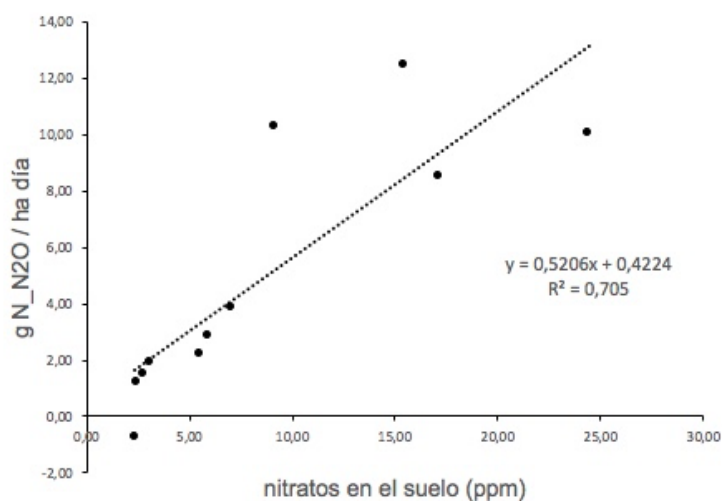


Figura 2. Relación entre las emisiones de N₂O /ha día promedio para cada período y tratamiento estudiado y la concentración de nitratos en el suelo en Pergamino.



CONCLUSIONES

La utilización de gramíneas puras o mezclas de gramíneas sin leguminosas no aumentan las emisiones de N₂O. El efecto de incluir o no CC sobre las emisiones de N₂O fue variable en los periodos y sitios estudiados. Las emisiones registradas en las pasturas fueron menores o no tuvieron diferencias con alguno de los tratamientos cultivados. Estos resultados y otros antecedentes sugieren la necesidad de realizar meta análisis con variables relacionadas, para profundizar en la descripción de las variables responsables de las emisiones de N₂O.

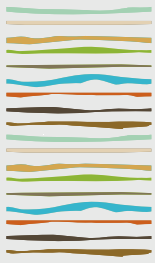
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las fuentes de financiamiento Foncyt PICT 2017 N°4236; INTA PD 037 y 058, CONICET PIP 11220200102747CO y beca INTA-CONICET otorgada a S. Vangeli.

BIBLIOGRAFIA

- Basche, AD; FE Miguez; TC Kaspar & MJ Castellano. 2014. Do Cover Crops Increase or Decrease Nitrous Oxide Emissions? A Meta-Analysis. *J Soil Water Conserv.* 69:471–82. doi: 10.2489/jswc.69.6.471Blake & Hartge, 1986
- Davidson, EA; M Keller; HE Erickson; LV Verchot & E Veldkamp. 2000. Testing a Conceptual Model of Soil Emissions of Nitrous and Nitric Oxides. *BioScience* 50, (8): 667–680. <https://doi.org/10.1641/0006>
- Della Chiesa, T; G Piñeiro & L Yahdjian. 2019. Gross, background, and net anthropogenic soil nitrous oxide emissions from soybean, corn, and wheat croplands. *J Environ Qual* 48(1):16-23. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.07.0262>.
- Di Rienzo JA, F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, UNC, Argentina.
- Frasier, I; A Quiroga & E Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562, 628-639. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.058
- Guenet, B; B Gabrielle; C Chenu; D Arrouays; J Balesdent; M Bernoux. 2021. Can N₂O Emissions Offset the Benefits From Soil Organic Carbon Storage? *Glob. Chang. Biol* 27:237–56. doi: 10.1111/GCB.15342
- Lewczuk, NA; G Posse; K Richter & A Achkar. 2017. CO₂ and N₂O flux balance on soybean fields during growth and fallow periods in the Argentine Pampas—A study case. *Soil Till Res* 169: 65–70.
- Livingston GP & GL Hutchinson. 1995. Enclosure-Based Measurement of Trace Gas Exchange: Applications and Sources of Error. In: PA Matson and RC Harris, *Measuring Emissions From Soil and Water*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. p. 14–51.
- Poeplau C & A Don. 2015. Carbon Sequestration in Agricultural Soils via Cultivation of Cover Crops - A Meta-Analysis. *Agric Ecosyst. Environ* 200:33–41. doi: 10.1016/j.agee.2014.10.024
- Recous, S; G Lashermes; I Bertrand; M Duru & S Pellerin. 2019. Chapter 3 - C–N–P Decoupling Processes Linked to Arable Cropping Management Systems in Relation With Intensification of Production. *Agroecosystem Diversity Academic Press* 35-53.
- Restovich, SB; A Andriulo; CM Armas-Herrera; MJ Beribe & SI Portela 2019. Combining Cover Crops and Low Nitrogen Fertilization Improves Soil Supporting Functions. *Plant Soil* 442:401–17. doi: 10.1007/s11104-019-04205-8
- Robertson, GP & PM Groffman. 2007. Nitrogen transformation. Pages 341-364 In: E.A. Paul, ed. *Soil Microbiology, Biochemistry and Ecology*. Springer, New York, New York, USA.
- Vangeli, S; S Restovich & G Posse. 2022. Cover Crop Species Affect N2O Emissions at Hotspot Moments of Summer Crops. *Front. Soil Sci.* 2:903387. doi: 10.3389/fsoil.2022.903387
- Parkin TB & Venterea RT. 2010. Chamber-based trace gas flux measurements. *USDA-ARS GRACEnet Project Protocols* 2010:1–39.





ESTIMACIÓN DEL APORTE DE CARBONO HUMIFICADO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE

Presutti, M.E.¹⁻³, L.A. Gusmerotti¹, E.A. Abbona²⁻³

¹ Manejo y Conservación de Suelos. FCAYF. UNLP;

² Agroecología. FCAYF. UNLP;

³ LIRA (Laboratorio de Investigación y Reflexión en Agroecología. 60 y 119, La Plata, Bs.As, Argentina, presutti@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas; donde las entradas de carbono (C) están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante, mientras que las salidas son las pérdidas por mineralización y erosión. El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C humificado al suelo aplicando un modelo de partición de C en la planta tanto a nivel provincial como municipal en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar la evolución en el tiempo se analizaron dos períodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas. Para cada cultivo se estimó la cantidad de rastrojos y raíces, a partir de los rendimientos (kg/ha) promedios trienales de cada partido, para cada cultivo individualmente y de los índices de cosecha (IC). Considerando un contenido del 45% de C en todas las partes de la planta y mediante coeficientes de humificación se obtuvo el C humificado que aporta cada cultivo. Finalmente ponderando los valores por las superficies ocupadas por cada uno se obtuvo un valor para cada partido en ambos periodos. Estos datos fueron mapeados utilizando el software libre QGIS.

Palabras clave: sustentabilidad, rastrojos, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Las entradas de carbono (C) al suelo están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante; mientras que las salidas se producen por pérdidas por mineralización, respiración microbiana y erosión. El ingreso de C al suelo depende de la calidad y cantidad de residuos de cosechas y biomasa de raíces, que varía según la especie cultivada y el rendimiento de las mismas. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el propio residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo (Richmond y Rillo, 2009). Así, los cereales dejan una importante cantidad de restos sobre el suelo, mientras que en otros son muy escasos, como los de las oleaginosas. Por su parte, la calidad de los residuos se refiere esencialmente a su relación carbono/nitrógeno (C/N). En rotaciones con mayor proporción de gramíneas el balance de C es positivo, mientras que en una rotación con mayor frecuencia de soja los balances son negativos (Studdert et al., 2000; Martínez et al., 2019).

Las labranzas también influyen en el contenido de MOS; generalmente, cuando un suelo es cultivado con laboreo convencional su nivel disminuye. La adopción de la siembra directa es de aproximadamente el 90% como promedio nacional para los cultivos de trigo, maíz y soja (Bolsa de Cereales, 2022).

En la Región Pampeana se produjo una importante disminución de los niveles de MO, contrastando valores en suelos prístinos y luego de décadas de uso agrícola (Sainz Rozas et al., 2019); paralelamente en la agricultura extensiva, existe un predominio del cultivo de soja respecto de las gramíneas estivales.



El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C humificado en la capa superficial del suelo generado por los cultivos extensivos en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar su evolución en el tiempo se analizaron dos periodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para predecir cambios de C en el suelo, es importante contar con estimaciones confiables de productividad neta de la vegetación y la proporción que vuelve al suelo (Bolinder, 2007). Se han propuesto diferentes modelos de balance de C en el suelo, con diferente complejidad. Algunos estiman la cantidad de rastrojos a partir de los rendimientos (dato de relativa fácil obtención), mediante el índice de cosecha (IC), el cual expresa el rendimiento en granos en relación a la materia seca total de la parte aérea de la planta. La estimación de la biomasa subterránea, tiene mayor incertidumbre y variabilidad en la bibliografía, pudiéndose calcular a partir de la relación Tallo/Raíces o bien como porcentajes respecto de la parte aérea. Alvarez (2006) propone un modelo para el cálculo del rastrojo a partir de la relación Paja/Grano en la Pampa Ondulada, y utiliza coeficientes para obtener el aporte de C y el C humificado de los cultivos más comunes (los resultados de la aplicación de este modelo se muestran en otro trabajo).

En este análisis, se consideraron los datos consignados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) de superficie cosechada, producción y rendimiento de los cultivos de trigo, soja de primera y de segunda y maíz para todos los partidos de la provincia de Buenos Aires. Se promediaron los datos de tres campañas en dos periodos: Período 1: 2000/01 a 2002/03 y Período 2: 2018/19 al 2020/21. El rendimiento fue calculado dividiendo el promedio de la producción (t) de las tres campañas por el promedio de la superficie cosechada en el mismo período. El aporte de carbono al suelo por cada cultivo se estimó utilizando el modelo del INTA Pergamino (Agosti et al., 2020) que se grafica en la Fig.1. Los rendimientos (kg/ha) promedios trienales de cada partido, para cada cultivo individualmente, fueron corregidos por humedad y expresados en Kg MS/ha (considerándose la humedad a cosecha de 14% para trigo y soja y 14,5% para maíz). Con ese valor y el Índice de Cosecha (IC=0,4 para trigo y soja y de 0,5 para maíz) se calculó la Biomasa Aérea Total (BAT= Rendimiento MS / IC), que incluye el grano cosechado más los rastrojos. Por lo tanto, la Biomasa Aérea (BA) o rastrojo se calculó como la diferencia entre la BAT y el peso de los granos cosechados. Se asume que todo el rastrojo vuelve al suelo (sin pastoreo). La Biomasa de raíces (BR), se calculó como un 30% de la BAT para todos los cultivos, valor que incluye la rizodeposición. Considerando un contenido de C del 45% en todas las partes de la planta, se calculó el aporte de C al suelo proveniente de los rastrojos y raíces (BA+BR). Finalmente se calculó el C humificado, como porcentaje del aporte y variable según cultivo (13% en trigo y maíz y 17% en soja). Se obtuvo así, la cantidad de C humificado (kg/ha) por cultivo individual y promedio de tres campañas en cada periodo.

El cálculo del C humificado aportado por todos los cultivos en cada partido, se realizó como la sumatoria del producto del C humificado de cada cultivo por el promedio de su superficie cosechada en el periodo, dividido por el total de superficie cosechada con todos los cultivos en el partido. Para calcular la superficie ocupada por el doble cultivo, trigo/soja 2da, se consideraron dos situaciones posibles de encontrar en los partidos: *i)* en aquellos donde la superficie dedicada a trigo es superior a soja de 2da, se asigna al doble cultivo aquella dedicada a soja de 2da, y la superficie remanente se asume que se realizó solo a trigo. Otra situación *ii)* donde existe una mayor superficie dedicada a soja 2da que a trigo, se asigna al doble cultivo, la superficie consignada a trigo quedando un remanente de superficie dedicada a soja de 2da (sembrada sobre otro cultivo no considerado en este análisis). En ambas situaciones las superficies destinadas a soja 1era y maíz es el promedio trienal en cada período. Se generaron mapas utilizando el software libre QGIS para observar la distribución espacial del C Humificado (kg/ha) en los dos periodos analizados y evaluar los cambios entre ambos.



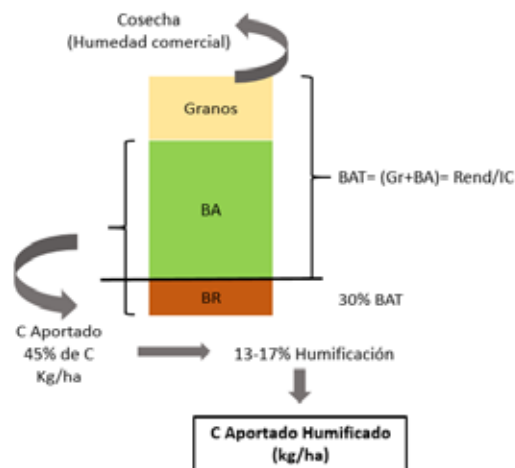


Figura 1. Esquema del modelo de estimación de aporte de carbono humificado para cultivos de granos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los datos estadísticos de la provincia de Buenos Aires (Figura 2) se observa que, en promedio, la superficie dedicada al trigo en el período 2018-2021 registró una disminución del 27% respecto del período 2000-2003 aunque los rendimientos aumentaron un 48%. El cultivo de soja registró un incremento en la superficie (108% y 180% para soja de primera y de segunda respectivamente) aunque los rendimientos promedio tuvieron una baja en soja 2da (8%) y un leve aumento para las sojas de primera (18%). En tanto, el cultivo de maíz registró un aumento tanto en superficie (174%) como en rendimiento (26%).

En la Figura 3, se observa que el incremento en los rendimientos entre ambos períodos, especialmente maíz y trigo, elevan los aportes anuales de C al suelo que generan al aumentar el volumen de rastrojos (BA) y raíces (BR). Se destaca el aporte del doble cultivo trigo/soja 2da (5194 kg C/ha) y muy cercano el maíz que aportó al suelo 4989 kg C/ha como promedio provincial en el período 2; mientras que la soja 1era aportó 2963 y el trigo 3212 kg C/ha.

En cuanto al C que se humifica, se observa que la variación entre ambos períodos para cada cultivo individual fue de igual magnitud que el aumento en los rendimientos producidos (Tabla 1), siendo mayor para trigo, seguido de maíz y soja de 1era. El cultivo de soja 2da rinde entre 30-40% menos que las sojas 1era y en igual proporción es el aporte de C al suelo.

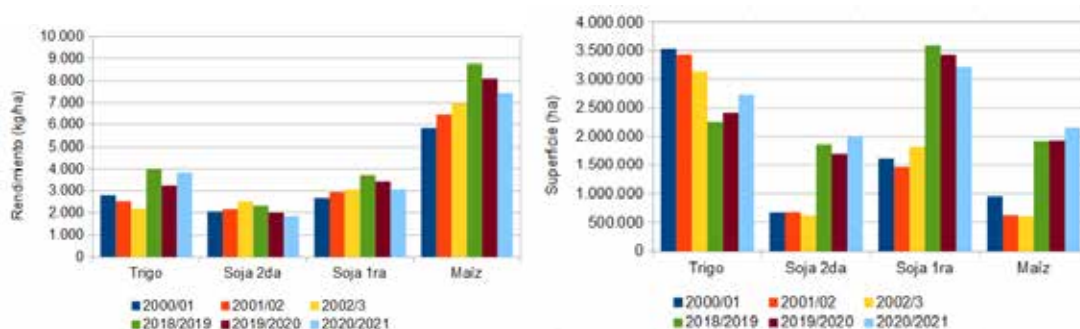


Figura 2. Superficies (ha) y rendimientos (kg/ha) de los cultivos en los períodos analizados.

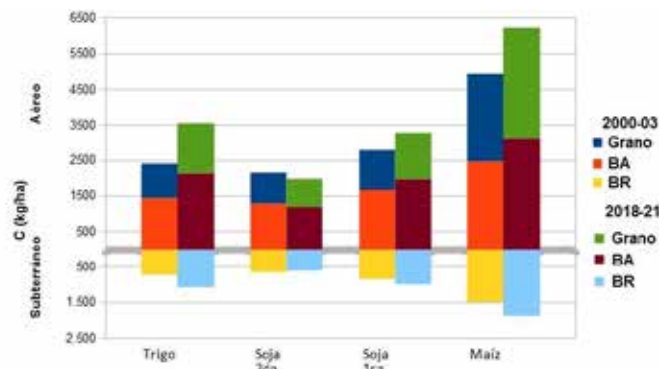


Figura 3. Contenido de C (kg/ha) aportado por los rastrojos (BA) y raíces (BR) para trigo, soja 1era y 2da y maíz, y el exportado por los granos en ambos periodos analizados.

Con los datos de la Tabla 1, se estimó la superficie dedicada al doble cultivo trigo/soja2da, al trigo, y a la cosecha gruesa mostrados en la Tabla 2. Para obtener un promedio provincial de C humificado en cada periodo se realizó la sumatoria del producto de los valores de C humificado de cada cultivo por su superficie (por ej. para el doble cultivo, 283 kg C humificado/ha + 330 kg/ha x 663422 ha), dividido por el total de superficie cosechada.

El promedio provincial se elevó desde los 392 a 585 kg/ha, que representa un incremento del 49% en dos décadas.

Tabla 1. Promedio trienal de Superficie cosechada (ha) y Rendimientos (kg/ha) y C humificado estimado (kg/ha) para cada cultivo en cada período, a nivel provincial.

		Promedio 3 campañas	
		Periodo 1. 2000-2003	Periodo 2. 2018-2021
Superficie Cosechada (ha)	Trigo	3.367.590	2.467.948
	Soja 2da	663.422	1.854.645
	Soja 1ra	1.638.711	3.415.616
	Maíz	728.220	1.997.523
Rendimientos (kg/ha) (Humedad a cosecha)	Trigo	2.496	3.688
	Soja 2da	2.231	2.049
	Soja 1ra	2.887	3.402
	Maíz	6.426	8.105
C Humificado (kg/ha)	Trigo	283	418
	Soja 2da	330	303
	Soja 1ra	427	504
	Maíz	514	649

Tabla 2. Superficie estimada al doble cultivo, trigo y cosecha gruesa, a nivel provincial.

		Promedio 3 campañas	
		Periodo 1. 2000-2003	Periodo 2. 2018-2021
Superficie Cosechada (ha)	Trigo/Soja	663.422	1.854.645
	Trigo	2.704.168	613.303
	Soja 1ra	1.638.711	3.415.616
	Maíz	728.220	1.997.523
Total Superficie Cosechada (ha)		5.734.521	7.881.087
C Humificado (t)	Trigo/Soja 2da	406.543	1.336.860
	Trigo	764.128	256.059
	Soja 1ra	700.347	1.720.276
	Maíz	374.498	1.295.604
Σ C x Superficie		2.245.517	4.608.799
Promedio C Humificado (kg/ha)		392	585



La misma metodología aplicada a nivel partido y graficada en los mapas, nos permite observar la variación espacial y temporal (Figura 4 a y b). En el Período 1 (2000-2003) el rango de aporte según partidos fue de 199 a 601 kg C humificado/ha, aumentado de S a N y de SE a NO. Mientras que en el Período 2 (2018-2021) el rango de aporte fue de 205 hasta 724 kg C humificado/ha, registrándose valores superiores a 700 en la zona Núcleo, producto del aumento de la superficie dedicada a trigo y maíz.

Comparando ambos periodos se registró en casi toda la provincia aumentos entre 50 y 250 kg/ha, y algunos partidos en el SE el aumento registrado se ubicó entre los 250 y 500 kg/ha, producto del aumento de la superficie dedicada al doble cultivo, además del aumento en los rendimientos.

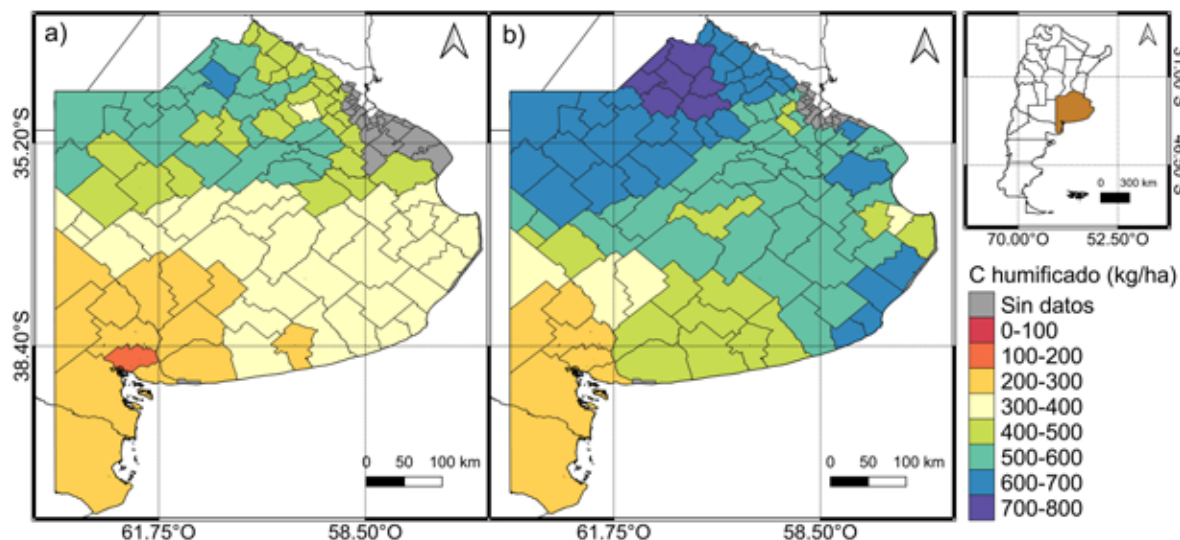


Figura 4. Distribución espacial del Carbono Humificado (kg/ha) en la provincia de Buenos Aires promedio anual para el período 2000-2003 (a) y 2018-2021 (b)

CONCLUSIONES

En período 2, promedio de las campañas 2018 a 2021, el doble cultivo trigo/soja 2da fue el que mayor aporte de C produjo (5194 kg C/ha), le siguió el maíz (4989 kg C/ha), el trigo (3212 kg C/ha) y finalmente la soja 1era (2963 kg C/ha).

El aumento en la superficie dedicada a los cultivos de maíz y al doble cultivo trigo/soja 2da producida en las últimas décadas, acompañado por el aumento en los rendimientos, cambió la tendencia del aporte de C al suelo, generando un aumento en el orden del 49%.

BIBLIOGRAFÍA

- Agosti M.B; A. Irizar; L. Milesi y A. Andriulo. 2020. Informe Final Chacra Pergamino (2011-2020). https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/6/2020/08/Informe-Final_Chacra-Pergamino.pdf
- Alvarez R. (2006) Balance de Carbono en los suelos. Información técnica de trigo Campaña 2006. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 105.
- Bolinder M.A., H.H. Janzen , E.G. Gregorich , D.A. Angers , A.J. VandenBygaart. (2007) An approach for estimating net primary productivity and annual carbón inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007) 29–42
- Bolsa de Cereales. 2022. <https://www.bolsadecereales.com/tecnologia-informes>. Acceso Setiembre 2022.
- Martínez, J.P., Crespo, C., Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Studdert, G.A., Martínez, F., Cordone, G. & PA Barbieri, P.A. (2019). Soil

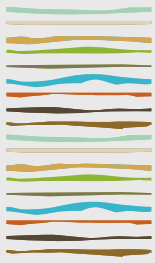


organic carbon in cropping sequences with predominance of soya bean in the argentinean humid Pampas. *Soil Use and Management*. 36-1:173-183. <https://doi.org/10.1111/sum.12547>

Richmond P. F.y S. N. Rillo. 2009. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS)*.(IPNI). Número 43, pag 22-26

Studdert, G., & Echeverría, H. (2000) Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.<https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441496>.





APORTE DE CARBONO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE

Presutti, M.E.¹⁻³, L.A. Gusmerotti¹, E.A. Abbona²⁻³

¹ Manejo y Conservación de Suelos. FCAyF. UNLP;

² Agroecología. FCAyF. UNLP;

³ LIRA (Laboratorio de Investigación y Reflexión en Agroecología. 60 y 119, La Plata, BsAs, Argentina, presutti@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

Las entradas de carbono (C) al suelo dependen del contenido en la biomasa aérea y subterránea que ingresa al suelo como residuos de cultivos y la tasa de humificación de esos residuos (proporción de residuos que finalmente se transforma en COS). La investigación respecto a la estimación de la producción de rastrojos ha sido más exhaustiva que la dedicada a la de raíces, lo cual puede ser parcialmente explicado por la dificultad que genera el estudio de raíces respecto a la evaluación de residuos aéreos. Para la estimación de la tasa de humificación de los residuos y la distinción entre aportes aéreos y subterráneos se han aplicado varios métodos. El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C en la capa superficial del suelo por los cultivos extensivos en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar la evolución en el tiempo se analizaron dos períodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas. En este análisis, se consideraron los datos consignados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) de superficie cosechada, producción y rendimiento de los cultivos de trigo, soja de primera y de segunda y maíz para todos los partidos de la provincia de Buenos Aires. El aporte de carbono al suelo por cada cultivo se estimó utilizando el modelo propuesto por Alvarez en 2006. Comparando ambos periodos se registraron aumentos en la mayor parte de la provincia, producto del aumento en los rendimientos y del incremento en la superficie dedicada al doble cultivo.

Palabras clave: sustentabilidad, rastrojos, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

El balance anual de carbono en el suelo (COS) depende: a) del contenido de C en la biomasa que ingresa al suelo como residuos de cultivos y de su tasa de humificación y b) de las salidas, que dependen de la tasa de descomposición del COS y, del C removido por los procesos de erosión, si los hubiera.

La productividad primaria neta (PPN) proporciona las entradas de carbono (C) en los ecosistemas y determina la cantidad de C fijado fotosintéticamente que potencialmente puede ser secuestrado en la MOS. Esto depende de la tasa de crecimiento del cultivo y del tiempo que dura su estación de crecimiento. De esta forma, todas las causas que disminuyen la PPN condicionan indirectamente la formación y acumulación de COS.

La investigación respecto a la producción de rastrojos ha sido más exhaustiva que las dedicadas a cuantificar la biomasa radicular, lo cual puede ser parcialmente explicado por la dificultad que genera el estudio de raíces respecto a la evaluación de los residuos aéreos.

En la estimación de la tasa de humificación de los residuos al COS y la distinción entre aportes aéreos y subterráneos se han aplicado varios métodos. La revisión bibliográfica muestra una considerable variación entre



métodos, generando importantes diferencias en los resultados que se obtienen. Richmond y Rillo (2009) cuantificaron la degradación de los rastrojos de trigo, maíz y soja a lo largo de tres años, y estimaron un coeficiente de humificación del 36% para trigo y maíz y del 38% en soja. En una amplia revisión realizada por Bollinder et al. (2007) encontraron grandes variaciones en las relaciones Tallos/Raíces publicadas. Buyanovsky & Wagner (1997) observaron diferencias en el contenido de C entre la parte aérea y subterránea en rastrojos de trigo, soja y maíz.

El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C en la capa superficial del suelo originado por los cultivos extensivos en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar la evolución en el tiempo se analizaron dos períodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas entre sí.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este análisis, se consideraron los datos consignados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) de superficie cosechada, producción y rendimiento de los cultivos de trigo, soja de primera y de segunda y maíz para todos los partidos de la provincia de Buenos Aires. Se promediaron los datos de tres campañas en dos períodos: Período 1: 2000/01 a 2002/03 y Período 2: 2018/19 al 2020/21. A nivel provincial, el rendimiento fue calculado dividiendo el promedio de la producción (t) de las tres campañas por el promedio de la superficie cosechada en el mismo período.

El aporte de C al suelo por cada cultivo se estimó utilizando el modelo presentado en la Figura 1, propuesto por Álvarez (2006). Los rendimientos de granos (kg/ha) de cada cultivo, fueron promediados para las tres campañas en cada partido, se asume una humedad a cosecha de 14% para trigo y soja y 14,5% para maíz.

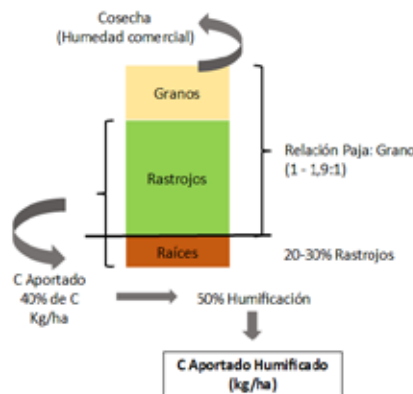


Figura 1. Modelo utilizado para calcular el aporte de C al suelo, en función de los rendimientos de los cultivos, la relación Paja/Grano y proporción de raíces.

En el cálculo del aporte de C, se utilizaron los coeficientes propuestos por Alvarez, para la Pampa Ondulada. Para el cultivo de trigo, considera una relación paja/grano de 1,63 (expresando el rendimiento con 14 % de agua). En consecuencia, el dato de rendimiento multiplicado por un coeficiente de 1,63 indica la producción de rastrojo; a la cual hay que sumarle un 20% de biomasa generada por las raíces (0-30 cm). Por lo tanto, el dato del rendimiento multiplicado por 1,63 y por 1,2 permite una estimación del total de los residuos producidos por el cultivo de trigo. En el caso del maíz, las raíces (0-30 cm) también representan un aporte adicional equivalente al 20 % de los rastrojos. La relación paja/grano (con 14 % de humedad) promedio para el cultivo es de 0,86 por lo que en forma aproximada los aportes pueden estimarse como el rendimiento multiplicado por 0,86 y por 1,2. Para la soja se calculó una relación paja/grano (14 % de humedad) de 1,42 y una biomasa de raíces (0-30 cm) equivalente al 30 % del rastrojo. Entonces el total de residuos puede estimarse como rendimiento multiplicado por 1,42 y por 1,30. Para todos los cultivos, se asume un contenido de C en todas las partes de la planta de 40 % y que la mitad de ese C es el que se humifica.

En cada partido, el cálculo del aporte de C, se realizó como la sumatoria del producto del C aportado por cada



cultivo por el promedio de su superficie cosechada en el período, dividido por el total de la superficie cosechada con todos los cultivos en el partido. Para calcular la superficie ocupada por el doble cultivo, trigo/soja 2da, se consideraron dos situaciones posibles de encontrar en los partidos: *i*) en aquellos donde la superficie dedicada a trigo es superior a soja de 2da, se asigna al doble cultivo el equivalente a la dedicada a soja de 2da, y la superficie remanente solo a trigo. *ii*) Otra situación, en partidos donde existe una mayor superficie dedicada a soja 2da que a trigo, se asigna al doble cultivo, la superficie consignada para trigo, quedando un remanente de superficie dedicada a soja de 2da (sembrada sobre otro cultivo no considerado en este análisis). En ambas situaciones la superficie de soja 1era y maíz es el promedio trienal en cada período.

Se generaron mapas utilizando el software libre QGIS para observar la distribución espacial del aporte de C (kg/ha) en los dos períodos analizados y para evaluar los cambios entre ambos. El cálculo del C humificado no fue mapeado, pero corresponde la mitad, pues el coeficiente de humificación es de 0,5 para todos los cultivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la provincia de Buenos Aires se registró para el período 2 una disminución del 27% respecto del período 1 en la superficie dedicada al trigo aunque los rendimientos aumentaron un 48%. Mientras que la superficie dedicada a la soja registró un incremento (108% y 180% para sojas de primera y de segunda respectivamente) aunque los rendimientos promedios tuvieron una baja en soja 2da (8%) y un leve aumento para las sojas de primera (18%). En tanto, el cultivo de maíz registró un aumento tanto en la superficie (174%) como en el rendimiento (26%) (Datos no mostrados).

El incremento en los rendimientos producido entre ambos períodos, especialmente en maíz y trigo, elevan los aportes anuales de C al suelo (Tabla 1). En el período 2 el maíz fue el cultivo que más C aportó, seguido por trigo y soja; la soja 1era aportó un 40% más que la de 2da. Además, los residuos de la oleaginosa con una relación C/N más baja y con mayor contenido de compuestos solubles, hacen que durante el proceso de su descomposición se fomente una mayor mineralización de la MO del suelo.

Tabla 1. Promedio provincial trienal de Superficie cosechada (ha) y Rendimientos (kg/ha) y C aportado estimado (kg/ha) por cada cultivo en ambos períodos analizados.

		Promedio 3 campañas	
		Período 1. 2000-2003	Período 2. 2018-2021
Superficie Cosechada (ha)	Trigo	3.367.590	2.467.948
	Soja 2da	663.422	1.854.645
	Soja 1ra	1.638.711	3.415.616
	Maiz	728.220	1.997.523
Rendimientos (kg/ha) (Humedad comercial)	Trigo	2.496	3.688
	Soja 2da	2.231	2.049
	Soja 1ra	2.887	3.402
	Maiz	6.426	8.105
C Aportado (kg/ha)	Trigo	1.953	2.886
	Soja 2da	1.642	1.508
	Soja 1ra	2.125	2.504
	Maiz	2.570	3.242

Con los datos de la Tabla 1, se estimó la superficie probablemente dedicada al doble cultivo trigo/soja2da, al trigo, y a la cosecha gruesa (Tabla 2). Para obtener un promedio provincial del aporte de C en cada período se realizó la sumatoria del producto de los valores de C de cada cultivo por su superficie, dividido por el total de superficie cosechada. El promedio provincial se elevó desde los 2.271 a 3.166 kg/ha, representando un incremento del 39% en dos décadas. En el modelo utilizado se considera que la mitad del aporte de C es el que se humifica.



Tabla 2. Superficie provincial estimada dedicada al doble cultivo (trigo/soja 2da), trigo y cosecha gruesa (maíz y soja 1era).

		Promedio 3 campañas	
		Período 1. 2000-2003	Período 2. 2018-2021
Superficie Cosechada (ha)	Trigo/Soja 2da	663.422	1.854.645
	Trigo	2.704.168	613.303
	Soja 1ra	1.638.711	3.415.616
	Maíz	728.220	1.997.523
Total Superficie Cosechada (ha)		5.734.521	7.881.087
C Aportado (t)	Trigo/Soja 2da	2.384.991	8.148.950
	Trigo	5.281.511	1.769.835
	Soja 1ra	3.482.161	8.553.299
	Maíz	1.871.837	6.475.753
Σ C x Superficie		13.020.500	24.947.838
Promedio C (kg/ha)		2.271	3.166

En la Tabla 3 se muestra un resumen del C aportado al suelo por cada uno de los cultivos participantes de la rotación y el aporte relativo de cada uno, tomando al maíz como base 100. Se destaca el aporte de C en la rotación trigo/soja2da. Vale consignar, que al utilizar rendimientos promedios para toda la provincia, estos tienden a ser mas bajos que los habituales en algunas regiones. Asumiendo rendimientos de maíz de 10.000 kg/ha, en trigo 4.000 kg/ha y en soja 1era de 4.000 y soja 2da de 3.000 kg/ha, los aportes de C, serían de unas 4 t/ha en el cultivo de maíz, 3 t/ha en trigo y de 2,2 y 1,6 t C/ha en el caso de las sojas de 1era y de 2da respectivamente.

Con el fin de evaluar la variación espacial y temporal, se aplicó la misma metodología a nivel partido y los resultados se observan en los mapas de la Figura 2 a y b.

Tabla 3. Aporte total y relativo del C al suelo de cada cultivo (Base Maíz 100). (Período 1: Promedio campañas 2000-2003; Período 2: Promedio campañas 2018-2021)

	Aporte Total (kg/ha)		Aporte Relativo (%)	
	Promedio 3 campañas		Promedio 3 campañas	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
Maíz	2.570	3.242	100	100
Trigo	1.953	2.886	76	89
Soja 1ra	2.125	2.504	83	77
Soja 2da	2.231	2.049	64	47
Trigo/Soja 2da	3.595	4.394	140	136

En el Período 1 (2000-2003) el rango de aporte de C al suelo según partidos fue de 1,3 a 3,2 t/ha, aumentado de S a N y de SE a NO. Mientras que en el Período 2 (2018-2021) el rango de aporte fue de 1,3 a 3,8 t/ha registrándose los valores superiores en la zona Núcleo, NO y SE bonaerense, producto del aumento de la superficie dedicada a trigo y maíz. Comparando ambos períodos se registraron aumentos en la mayor parte de la provincia, dado por el aumento en los rendimientos y del incremento en la superficie dedicada al doble cultivo.



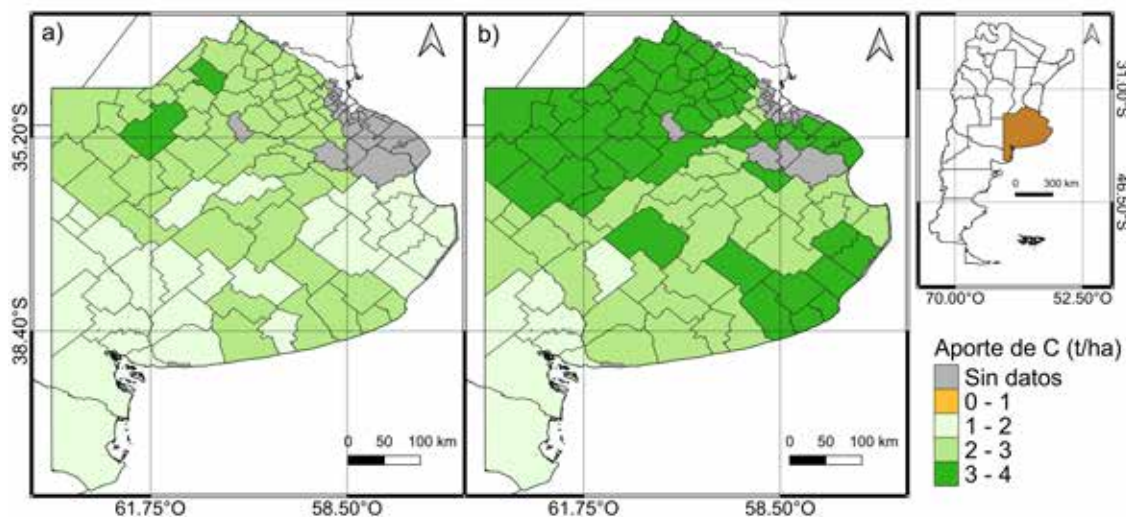


Figura 2. Distribución espacial del aporte de Carbono al suelo (t/ha) en la provincia de Buenos Aires promedio trienal para el período 2000-2003 (a) y 2018-2021 (b)

CONCLUSIONES

Los rendimientos de los cultivos aumentan y con ellos también los aportes de C al suelo. Además, existen otros aportes, no contemplados en este análisis, por ejemplo, la vegetación espontánea que se desarrolla entre cultivos y que pueden generar un ingreso de C.

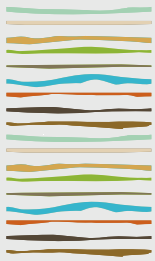
El cultivo de soja (bajo aporte de residuos y baja relación C/N) en general provoca mayores disminuciones del contenido de MO, mientras que los cereales (alto aporte de residuos – alta relación C/N), se asocia con menores caídas.

De acuerdo al modelo aplicado en este análisis, el aporte por el doble cultivo trigo/soja 2da es similar al aportado por el cultivo de maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez R. (2006) Balance de Carbono en los suelos. Información técnica de trigo Campaña 2006. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 105.
- Álvarez R. & H. Steinbach (2006). Balance de carbono en suelos cultivados. Pp 55-68 En: Materia Orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. UBA. 256P
- Bolinder M.A., H.H. Janzen, E.G. Gregorich, D.A. Angers, A.J. VandenBygaart. (2007) An approach for estimating net primary productivity and annual carbón inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118 (2007) 29–42
- Buyanovsky, GA & GH Wagner. 1997. Crop residue input to soil organic matter in the Sanborn field. En: EA Paul, E.A. et al., (eds). Soil organic matter in temperate ecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp. 73-83.
- Richmond P. F. y S. N. Rillo. 2009. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS).(IPNI). Número 43, pag 22-26





INTENSIFICACIÓN CON CULTIVOS DE SERVICIO: ECONOMÍA DEL AGUA Y APORTE DE CARBONO DE LA BIOMASA

Prieto-Angueira, S.^{1y2*}, E. Schefer³, M.C. Berton³, M. Lescano¹, M.C. Ochoa², A. Azar¹, P. Savino¹, A. Anriquez²

¹ INTA EEA Santiago del Estero;

² Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero;

³ INTA EEA Quimilí

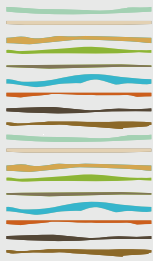
* Jujuy 850 (4200) Santiago del Estero, Prov. de Santiago del Estero,
prieto.salvador@inta.gob.ar

RESUMEN

En el Chaco Semiárido el avance de los años de agricultura disminuyó el contenido de carbono orgánico del suelo. Dado que las secuencias de cultivos predominantes incluyen sólo cultivos estivales (soja-maíz principalmente), intensificar realizando cultivos de servicio invernales (CS) permitiría incrementar la evapotranspiración real (ETr) y el aporte de biomasa (BA) y carbono (CBA) al suelo. El objetivo fue evaluar cómo la intensificación con CS previo a maíz modifica el uso del agua, el aporte de BA y CBA y la eficiencia del uso del agua para la producción de BA (EUABA) y CBA (EUACBA) de los cultivos individuales y la secuencia. Se realizó un experimento durante 2019-2020 en Isca Yacu (27°05'21.66''S, 64°40'51.78''O) y Quimilí (27°36'25.01''S, 62°43'20.14''O). Los tratamientos fueron secuencias con diferentes antecesores de maíz: barbecho químico (BQ) y CS centeno (Cen) y vicia villosa (Vv) puros y tres mezclas (75, 50 y 25%Cen). El diseño fue completamente aleatorizado (n=3). Se determinó contenido de humedad y se calculó por balance la ETr (CS y maíz), la evaporación (Ev) durante períodos sin cultivos (BQ y transición entre el secado del CS y siembra de maíz), ETrTotal (CS+maíz) y ETr+Ev de la secuencia. Se evaluó BA y el contenido de CBA (LECO) de los CS y maíz (BA descontando grano) y secuencia. Se calculó EUABA y EUACBA. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y comparados con test LSD. La ETr+Ev no se incrementó ($p > 0.05$), pero la intensificación con CS aumentó ($p < 0.05$) la ETrTotal de la secuencia (688 en CS vs 533 mm en BQ) disminuyendo el componente de Ev. Esto se debió a: i) durante el período con CS, ETr de los CS superó ($p < 0.05$) a la Ev del BQ (228 promedio vs 119 mm), siendo Vv=mezclas>Cen y ii) en la transición BQ superó ($p < 0.05$) a los CS en Ev (216 vs 140 mm promedio). La secuencia con Vv fue la de mayor ETrTotal. Hubo diferencias ($p < 0.05$) en la EUABA entre CS y en la EUACBA de los CS y del maíz como consecuencia del antecesor. La EUABA y EUACBA de Vv fue inferior respecto al resto de los CS (19.6 vs 25.2 kgBA.ha⁻¹.mm⁻¹ y 8.3 vs 13.3 kgCBA.ha⁻¹.mm⁻¹, respectivamente). Durante el ciclo del maíz ocurrió lo contrario, la EUACBA del maíz con antecesor Vv, 50%Cen y 25%Cen fue superior ($p < 0.05$; 8.0 kgCBA.ha⁻¹.mm⁻¹). La realización de CS incrementó ($p < 0.05$) el aporte de BA y CBA respecto al BQ (13.3 vs 8.3 tn.ha⁻¹ y 5.8 y 3.6 tn.ha⁻¹ promedio en CS y BQ, respectivamente). Las secuencias con Vv, 25%Cen y 50%Cen fueron las de mayor BA y CBA como consecuencia de una significativa mayor BA y CBA de maíz en el caso del antecesor Vv y una mayor BA y CBA de los CS en el caso de las mezclas. Se concluye que la intensificación de los sistemas agrícolas del Chaco Semiárido con CS incrementa la ETr reduciendo el componente de Ev y consecuentemente aumenta el aporte de biomasa y carbono al suelo, aspecto que contribuiría a la sustentabilidad.

Palabras clave: secuencia de cultivos, evapotranspiración real, eficiencia del uso del agua.





LA MEJORA EN LA REPOSICIÓN DE AGUA EN SUELOS Y ACUÍFERO FREÁTICO EN EL SUDESTE BONAERENSE. PRIMEROS RESULTADOS

Puricelli, M.M.¹, M.J. Eiza¹

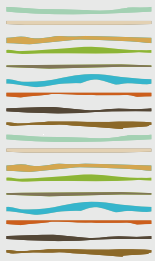
¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Ruta Nacional 226, Km. 74, (7620), Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Puricelli.marino@inta.gov.ar

RESUMEN

En territorios como la Región pampeana, la reposición de agua en suelos y acuíferos (en inglés: “water replenishment”) es crecientemente necesaria para mantener y mejorar la calidad del medio ambiente en general y del sistema hídrico en particular. En esta última década, la investigación de esta temática ha tomado gran relevancia, desarrollándose líneas de investigación y metodologías orientadas al aumento de la cantidad de agua disponible en la superficie del suelo que es factible de ingresar al mismo, restablecer sus reservas hídricas, así como abastecer al acuífero infrayacente y de esta forma asegurar la demanda hídrica total actual y futura del territorio contribuyendo al bienestar y seguridad de su población. Este proceso depende de factores que lo condicionan, tanto físicos, como legales e institucionales, demandando esfuerzos que trascienden lo eminentemente técnico. Estos factores están relacionados con el uso del agua, las tasas de recarga, las características del paisaje y los suelos, la legislación vigente en temas hídricos, etc., orientando a la aplicación de diferentes metodologías al respecto. Particularmente, en regiones como la pampeana, donde la producción agropecuaria es predominante, la metodología a aplicar se vincula directamente con el manejo conservacionista orientadas a la mejora en el manejo de suelos y aguas. En el presente resumen se exponen los primeros resultados desarrollados en un establecimiento agrícola-ganadero del SE bonaerense (Est. “El sombrerito”), localizado en el partido de Lobería a 8 km de la localidad de Dos Naciones. Se afectaron 232.3 has de uso agrícola – ganadero, donde el 96% de los suelos corresponden a la serie Mar del Plata (Argiudol típico) y el resto es roca aflorante asociada al basamento del sistema de Tandilia. Hidrográficamente, el área pertenece a la cuenca del Arroyo Grande y se localiza dentro de la Subregión hidrogeológica provincial VI, asociada principalmente a la recarga del acuífero freático regional. El objetivo del trabajo fue la cuantificación de la reposición de agua en suelos y acuífero freático local. Dicha cuantificación fue estimada empleando el método de la Curva Número. Al momento del inicio de las tareas, la cobertura de los suelos se caracterizaba por escaso volumen de rastrojo. Se identificaron patrones visuales que responden a un nivel de erosión hídrica de grado medio a grave, con reducción de los espesores del horizonte superficial y presencia de surcos y cárcavas. Los suelos del área de trabajo presentaban altos valores de compactación superficial y subsuperficial, alcanzando valores promedio de 3 Mpa a los 5 cm de profundidad, con máximos de 4 Mpa a los 10 cm y los valores de infiltración acumulada final en promedio no superaron los 30 mm h⁻¹. En los lotes analizados, se realizaron tareas de descompactación superficial y suavizado del perfil transversal de cárcavas empleando un arado de cincel o una rastra ligera según el lote. Las estimaciones de volúmenes de escurrimiento en la situación con suelos descompactados en comparación a la situación inicial indicaron una reducción de la degradación de los suelos en relación con la mejora de la recarga hídrica, denominado “beneficio volumétrico”, de alrededor de 416 millones de litros por año.

Palabras clave: reposición de agua, escurrimiento superficial, erosión hídrica.





CONTRIBUCIONES DEL SISTEMA RADICULAR DEL BIOMA PAMPA CONTRA LA PERDIDA DE SUELO POR EROSION HIDRICA

Quicaña, A.D.C.^{1*}, C.G. TORNQUIST², C.H. GAMBOA¹, F.C.B. VIEIRA³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Solo da Faculdade de Agronomia, Av. Bento Gonçalves 7712 – Porto Alegre, RS – Brasil;

² Professor Titular do Departamento de Solos e orientador do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS (PP-GCS-UFRGS).

* Mestrando no PPGCS-UFRGS – alex davidcq@gmail.com, professor associado I na área de Ciências do Solo da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Rua Aluizio Barros Macedo, BR 290, km 423 Bairro Pirai, São Gabriel/ RS

RESUMEN

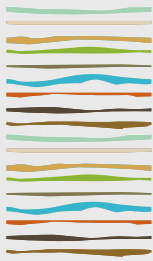
La erosión es uno de los procesos de degradación que promueve la pérdida de suelo, pudiéndose suscitar tanto en cultivos como en áreas de vegetación nativa. En el estado de Rio Grande del Sur, Brasil, la expansión del área cultivadas, principalmente granos, tiene por consiguiente la disminución de las áreas remanecientes de campo nativo, propio del bioma Pampa. Esta pérdida del campo nativo también supone una reducción en las posibilidades de conocer los sistemas radiculares de la vegetación propia de este bioma, y su contribución en la protección y conservación del suelo.

En el bioma pampa, las plantas presentan la mayor actividad radicular en los primeros 50 cm de profundidad, siendo la capa 0-20 cm la que presenta el mayor desarrollo de estructuras como rizomas, bulbos, etc. Estas características hacen que incremente la susceptibilidad de las plantas a los efectos de la mecanización. El objetivo fue analizar el desarrollo radicular, la estabilidad de agregados, y la pérdida de suelo cuando es expuesto a los efectos de la lluvia, de un Argissolo Vermelho Distrófico en un área de campo nativo, en la Estación Agronómica experimental de la UFRGS, en el municipio de El Dorado del Sur en el estado de RS, Brasil. Raíces fueron colectadas con barreno holandés, en las profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm; lavadas para separar la parte mineral de los tejidos de la raíz y almacenadas en frascos con agua destilada, y conservadas a 4 C. Posteriormente fueron evaluadas por el Scanner EPSON Expression 10000XL con el software WinRhizo v.2015. Fueron obtenidas imágenes de 600 DPI de resolución y atributos como: RLD (Densidad de longitud de raíz) y diámetro de raíces. Fue retirada la capa de suelo de 0-20 cm, y en la capa subsecuente de 20-30 cm fueron colectados monolitos de suelo inalterado. En estos se evaluó la estabilidad de agregados en seco y húmedo, y el índice de estabilidad, así como, la pérdida de suelo por lluvia simulada con precipitación constante de 76 mm, durante 1 hora. Los resultados muestran que, en las capas 0-10, 10-20 y 20-30 cm el valor de la RLD fue de 0.909, 0.680 y 0.287 cm cm⁻³ de suelo, respectivamente. En la capa 20-30 cm el diámetro 0.00-0.50 mm representó el 91% de las raíces, en cuanto los diámetros 0.50-1.00mm y 1.00-4.5mm el 8% y el 1% respectivamente. El Índice de Estabilidad de Agregados fue de 0.97. Se observó que posterior a los 50 minutos de lluvia simulada, hubo pérdida de 6.4 g m⁻² de suelo, con un caudal de escurrimiento de 0.005 Ls⁻¹.

Las informaciones obtenidas en este trabajo muestran que el sistema radicular de la vegetación del bioma pampa presenta buen desarrollo radicular hasta los 30 cm lo que favorece la estabilidad de agregados y la resistencia a la erosión por la lluvia. Lo que demuestra la importancia de la vegetación nativa del bioma Pampa para la conservación de suelo; es preciso ampliar las líneas de investigación que convergen en estudios de la raíz en estas áreas.

Palabras clave: RLD, bioma pampa, simulador de lluvia





CARACTERIZACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO Y SUBCUENCAS EN LA PAMPA INTERIOR

Rainhart, L.¹; Peinetti, H.R.¹; Noellemeyer, E.J.¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad de La Pampa;
Ruta Provincial N° 35, km 334, Prov. de la Pampa, lucianorainhart@agro.unlpam.edu.ar,

RESUMEN

Los ciclos hidrológicos de la llanura pampeana generan efectos directos en la producción vegetal, e indirectos a través de la salinización de los suelos. En este trabajo se describe el patrón espacio-temporal del ciclo hidrológico de la subregión de la pampa interior de la región pampeana a través de la caracterización de superficies anegadas (SA) y su relación con variaciones en las precipitaciones. Se diferenciaron dos cuencas de drenaje, denominadas norte (CN; 2.1 106 ha) y sur (CS; 6.7 106 ha), en base a un mapa digital de elevación de 90 m de resolución. Para delinear las SA se utilizó el índice espectral MNDWI derivado de imágenes de la serie Landsat 5, 7 y 8, para el periodo 1987 a 2019 y con una frecuencia objetivo de 6 meses. Se determinaron dos ciclos de inundaciones en CN y tres en CS, definidos como valores de SA mayor al percentil 90%. Los ciclos hídricos (sucesión de años con autocorrelación positiva o negativa) incluyeron periodos de exceso de corta duración (~2 años) cada ~5 años en CN y ~12 años en CS. En cambio, los de deficiencia fueron más frecuentes y más cortos en la CN. La correlación de SA entre cuencas fue significativa pero baja ($r = 0,66$ $P < 0,0001$). Las precipitaciones acumuladas para la serie, obtenidas de la interpolación de datos de 8 localidades de la región, explican con un coeficiente de correlación muy débil su asociación con las superficies anegadas. La heterogeneidad regional de las SA probablemente resultó de una combinación de diferencias en precipitación y en aportes externos de agua subterránea. Esta caracterización regional aporta a la implementación de acciones de manejo acordes con la variabilidad del paisaje.

Palabras clave: precipitaciones, áreas anegadas, salinización.

INTRODUCCION

El sistema hidrológico de la región pampeana se caracteriza por presentar cuencas de drenaje con baja pendiente y un escurrimiento lento (Dornes et al., 2015), lo cual favorece la acumulación de agua superficial en periodos de altas precipitaciones. El paisaje en la región es muy llano, sin embargo, en las cercanías de los ríos se vuelve ligeramente ondulado. Existe una red de drenaje poco definida, con grandes cuencas arreas caracterizadas por la presencia de lagunas permanentes o temporarias, muchas de las cuales se corresponden con suelos salinizados. El sistema hidrológico de esta región está vinculado a fluctuaciones del cauce del río Quinto (Jensen et al., 2000). Este río de carácter endorreico se extiende desde los cerros centrales de la provincia de San Luis (fuera de la Pampa) y desemboca en la laguna amarga (Carignano, 1999). El río sigue un gradiente topográfico que oscila entre los 900 m, hasta menos de 100 m s.n.m. en las tierras bajas inundables del noroeste de la provincia de Buenos Aires. En esta última región se encuentran las tierras más bajas de la cuenca del río Quinto y representan un caso típico de zonas anegables. Estos ambientes de pastizales (Hall et al., 1992), que fueron paulatinamente reemplazados por cultivos agrícolas sufrieron consecuencias en el balance hídrico (Houghton et al., 2001). Debido a la baja evapotranspiración y sistemas de raíces poco profundas de los cultivos anuales en comparación con los pastizales (Nosetto et al., 2012), el cambio de uso del suelo produjo un aumento de los niveles freáticos favoreciendo al ciclo de inundaciones y salinización (Contreras et al., 2008). Las inundaciones periódicas socavan la economía regio-



nal, sin embargo, existe poca información que permita anticipar la ocurrencia de excesos hídricos y reducir la vulnerabilidad de la producción agrícola. Para comprender la dinámica de las inundaciones de la región pampeana es necesario conocer la importancia relativa de los aportes hídricos de carácter pluvial y fluvial como determinante de anomalías hídricas.

En este estudio se describen las anomalías hídricas registradas en la subregión de la pampa interior en los últimos 32 años y su relación con la pluviometría local y aportes superficiales y subsuperficiales externos a la región. Una de las limitaciones de este estudio es la falta de registros históricos de caudales o redes de freatometros relacionadas al río Quinto, principal fuente de agua externa a la región. Por lo cual, este análisis se limitó a establecer el poder predictivo del agua aportada por precipitaciones asumiendo que el porcentaje de variabilidad no explicada por esta variable se correspondería a la fuente de agua de origen fluvial. Se evaluaron aportes pluviométricos de corto (3 meses) y largo plazo (2 años) para dos cuencas de drenaje formadas por redes hídricas que reciben distinto escurrimiento superficial del río Quinto. De esta manera, es esperable que el poder predictivo de las precipitaciones de los excesos hídricos sea mayor en la cuenca de drenaje de menor escurrimiento superficial del río Quinto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la porción centro norte de la subregión pampa interior de la región pampeana. El paisaje comprende una planicie levemente ondulada con suelos originados por acumulación de materiales finos de origen cuaternario. El clima es subhúmedo seco, con temperaturas medias anuales que varía entre los 15 y 17,5 °C (Casagrande et al., 2006). Las precipitaciones varían en dirección noreste en el sudoeste en un rango de 1000mm a 600 mm anuales (León, 1992). Estas se originan por el choque de masa de aire húmedo que ingresan desde el norte y noreste con las de aire más seco y frío provenientes del suroeste. Las precipitaciones se concentran preponderantemente en primavera, verano y principios del otoño. El invierno es típicamente seco con temperaturas mínimas muy bajas desde -3 a -15 C°. La hidrología de esta región se caracteriza por ciclos de excesos hídricos que generan inundaciones temporarias, lo cual ha producido la salinización de suelos fundamentalmente por excesos de sales y sodio (Taboada, 2009). Los suelos corresponden en su mayor parte al orden Molisoles (Hapludoles, Haplustoles y Argiudoles) y algunos Entisoles y Alfisoles hacia el oeste (SAGyP & INTA, 1990).

Para caracterizar la hidrología del sector centro norte de la subregión pampa interior, se realizó un análisis de cuencas con la herramienta Hidrología de ARCGIS 10 en base a un modelo digital de terreno (SRTM Void Filled) con una resolución espacial de 90 m. Se identificaron dos cuencas de drenaje a partir de las redes de primer orden de un sistema de drenaje de cinco órdenes de importancia. Estas se denominaron como, cuenca norte (CN) con una superficie de 2.03 Mha y cuenca sur (CS) con 6,69 Mha (Fig. 1). El cauce del río quinto se corresponde con el drenaje de primer orden de la CN, por lo cual es esperable que el aporte de agua de este río sea mayor en la CN que en la CS.



Figura 1. Redes de drenajes y cuencas circunscriptas a la área de estudio

Para delimitar el área de estudio se realizó la intersección espacial entre las cuencas de drenaje con cuatro imágenes del satélite Landsat que se corresponden con la cobertura de las cuencas (path/row: 227/084, 227/085, 228/084 y 228/085 del sistema cartográfico del satélite LANDSAT). La superficie delimitada fue de 8,7 Mha, de la cual el 33% corresponde a la CN y el 77% a la CS.

El patrón espacio-temporal de las superficies anegadas (SA) se determinó mediante análisis de imágenes de las misiones LANDSAT y MODIS descargadas del sitio Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Se utilizaron imágenes geoméricamente corregidas de los satélites Landsat 4-5, 7 y 8 del periodo 1987-2019 (32 años), con resolución espacial de 30 m y con un porcentaje de nubes inferior al 10%. La frecuencia objetivo fue semestral, sin embargo, debido a problemas en la disponibilidad de imágenes de calidad por nubosidad o errores del sensor, no fue posible mantener la consistencia temporal en los 32 años de análisis. Todos los años quedaron representados por al menos una imagen Landsat a excepción del año 1994 y 2012. En el caso del año 2012, se utilizaron dos imágenes del producto MODIS con una resolución espacial de 250 metros. Para el año 1994 no fue posible encontrar imágenes de misiones espaciales para el área de interés. El área anegada se determinó mediante el índice espectral MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) (Xu, 2006) en el caso de las imágenes Landsat. Este índice relaciona las bandas de longitud de onda de luz de color verde (G) y la banda infrarrojo de onda corta SWIR (infrarrojo de onda de longitud corta) del espectro electromagnético. El rango de variación del índice es de -1 a 1. Valores de MNDWI < -0,1 indican anegamiento. En el caso de MODIS, las SA se obtuvieron del producto Land Water Mask (MOD44W). Las áreas de las SA se calcularon en la proyección UTM 20S luego de transformar las imágenes a formato vectorial. Las imágenes y datos espaciales derivados de las imágenes satélites fueron procesados en ArcGIS 10 (ESRI, Redlands, CA, USA).

El patrón espacio-temporal del régimen pluviométrico se describió a través de mapas mensuales de precipitación generados mediante interpolación espacial de precipitaciones mensuales registradas en estaciones meteorológicas de la región de estudio. Se compilaron datos de precipitación mensual para el período 1985-2019 de pluviómetros ubicados en las localidades de Laboulaye en la provincia de Córdoba; Realicó, General Pico, Eduardo Castex y Santa Rosa en la provincia de La Pampa; Trenque Lauquen y Villegas en la provincia de Buenos Aires y Villa Reynolds en la provincia de San Luis. Los datos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional, Policía Provincial de la Pampa (<https://policia.lapampa.gob.ar/contenidos/ver/lluvias>) y de la Estación experimental INTA Villegas. Los mapas mensuales de precipitación se generaron mediante interpolación por distancia inversa ponderada en ArcGIS 10 (ESRI, Redlands, CA, USA) considerando un tamaño de grilla de 10 km.

Análisis de datos. Se caracterizaron los ciclos hídricos considerando la variación anual en SA y precipitaciones de manera separada para las CN y CS y el grado de coincidencia del comportamiento hídrico entre cuencas. Se evaluó: a) Duración de los ciclos hídricos. Estos se determinaron mediante análisis de autocorrelación temporal (correlogramas) de las SA y de las precipitaciones. Los periodos de exceso y déficit hídrico fueron definidos considerando sucesiones de años con autocorrelación positiva o negativa, respectivamente, b) Anomalías hídricas positivas. Estas se identificaron considerando los percentiles de la serie temporal de SA y precipitaciones. Se definieron como años de anomalías "muy alta" los comprendidos en el percentil ≥ 90 y años de anomalía "alta" los comprendidos en el rango de percentil [$<90 : \geq 80$], c) Grado de correspondencia del comportamiento hídrico entre cuencas. Se estimó mediante análisis de correlación de Pearson. Posteriormente, se evaluó en qué medida la variación en SA es explicada por la acumulación de agua por precipitación, utilizando modelos lineales. Se generaron modelos de regresión lineal para cada cuenca, considerando a) SA en función de la precipitación acumulada de 3, 6, 12 y 24 meses a partir de la fecha de registro de cada SA. b) delta SA, calculada como diferencia entre dos registros sucesivos de SA, en función de la precipitación acumulada entre ambos registros. c) delta SA ponderado, calculado como cociente entre delta SA y el registro inicial de SA del período, en función de la precipitación acumulada entre ambos registros. Para el cálculo de las variables delta SA y delta SA ponderado, se consideraron únicamente registros sucesivos de SA con una separación temporal máxima de 8 meses. El número de registros que cumplieron con este criterio fue de 40 de un total de 51 tanto en la CN como en la CS.



RESULTADOS Y DISCUSION

Los ciclos de SA en ambas cuencas se caracterizaron por periodos de exceso de corta duración (~2 años) intercalados con periodos más largos de deficiencia hídrica (Fig. 2). En CN se detectaron dos periodos de deficiencia hídrica de 5 años duración aproximadamente, en cambio en CS la duración del periodo de deficiencia hídrica fue más prolongado (12 años) pero menos marcado.

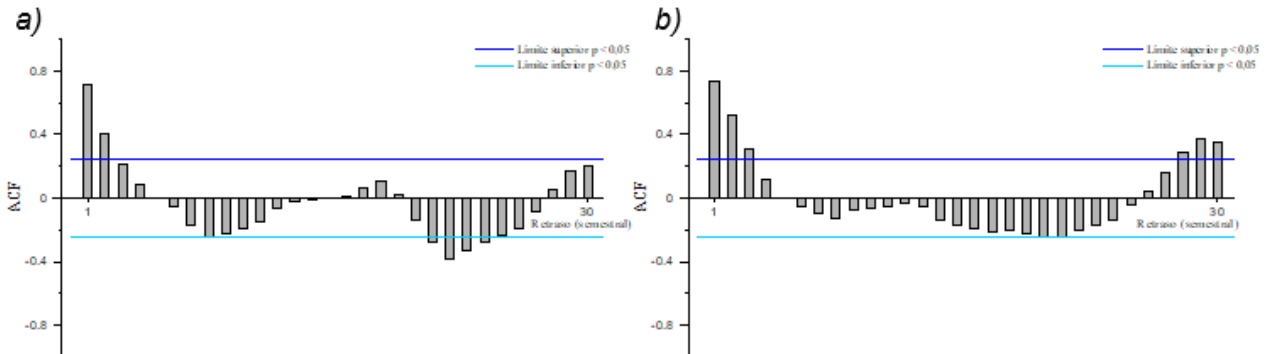


Figura 2. Autocorrelación de las superficies anegadas con un despagamiento máximo de 30 semestres, para cuenca norte (a) y sur (b).

A diferencia de SA, no se evidenciaron alternancia cíclica entre periodos de alta y baja precipitaciones, tanto en CN como CS. Asimismo, la precipitación media anual fue similar entre cuencas (871 mm para CN y 847 mm para CS, $p=0,5892$).

Los años con anomalías hídricas positivas en SA y precipitación fueron parcialmente coincidentes (Fig. 3). En la mayoría de los casos el desfase entre anomalías de SA y precipitación no fue superior a un año, lo cual podría estar indicando un retraso temporal en la correspondencia entre variables. Sin embargo, la anomalía en precipitación registrada en el año 2012 no está temporalmente relacionada a anomalías en SA. En el caso de la CN, se destacan también la falta de relación temporal entre estas variables en los años 1987 y 2010 (Fig. 3a). Las anomalías hídricas positivas fueron similares tanto para SA como precipitaciones, a excepción de los excesos hídricos en SA registrados en 1987 y 1988 solamente en CS.

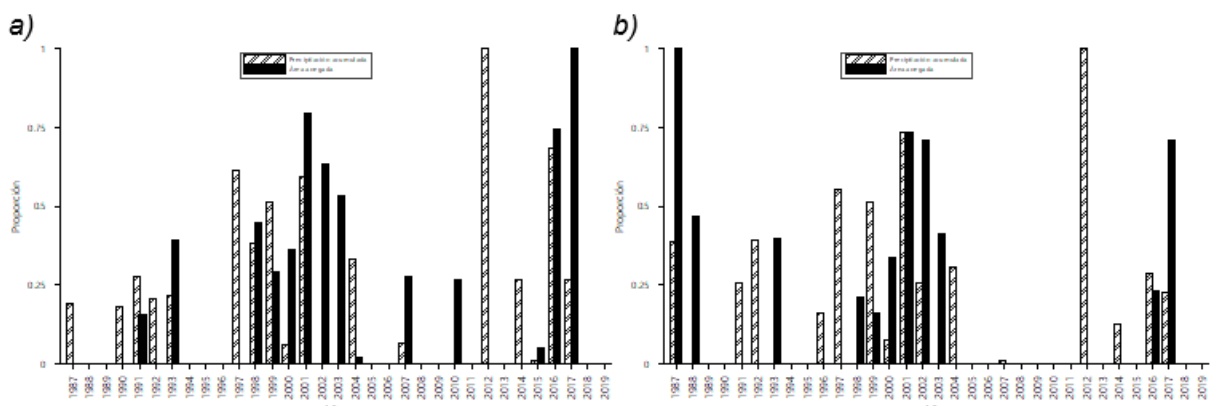


Figura 3. Desvío respecto a la media, de superficies anegadas y precipitaciones expresado como proporción, entre 1987 y 2019 para la cuenca norte (a) y cuenca sur (b). Solo están representados los años con variación positiva.

La proporción de la variabilidad en SA explicada por las precipitaciones tiende a mejorar con el número de meses de acumulación de agua aportada por precipitaciones en el rango de 3 a 24 meses, aunque todos los modelos mostraron un bajo valor predictivo (Tabla 1). En la CN, el modelo lineal fue significativo para todas las precipitaciones acumuladas (3, 6, 12, y 24 meses). Sin embargo, los modelos con precipitaciones acumuladas de 3 y 6 meses explican un porcentaje muy bajo de la variabilidad y presentan datos anómalos en años de alta SA (segundo semestre del año 2017 y primer semestre del año 2001, respectivamente), esto podría estar explicado por el aporte externo de agua a la región tanto a través de la escorrentía superficial como la subterránea. Las precipitaciones acumuladas de 6 y 12 meses tuvieron un mayor poder predictivo,



con valores de $R^2 \sim 0,5$, pero los residuales de los modelos muestran una marcada reducción de la predictibilidad a valores altos de SA. En general, se observa que valores altos de SA se correspondieron con valores altos en precipitaciones acumuladas de 12 o 24 meses; pero no necesariamente las altas precipitaciones acumuladas se asociaron con valores altos valores de SA. En la CS, las precipitaciones acumuladas de 3, 6 y 12 meses no mostraron relación lineal con la SA. La acumulada de 24 meses mejora el porcentaje de explicación, pero la falta de ajuste se observa en los residuales que muestran la misma tendencia que en la CN.

Tabla 1. Parámetros de los modelos de regresión lineal correspondientes a superficie anegada en función de precipitación acumulada de 3, 6, 12 y 24 meses para cuenca norte y sur.

Lluvia acumulada	Cuenca norte		Cuenca sur	
	R ²	p-valor	R ²	p-valor
3 meses	0.081	0.039	0.01	0.403
6 meses	0.102	0.021	0.01	0.398
12 meses	0.485	$9.79 \cdot 10^{-9}$	0.222	$4 \cdot 10^{-3}$
24 meses	0.494	$6.13 \cdot 10^{-9}$	0.511	$2.51 \cdot 10^{-9}$

Por otra parte, el delta de SA no mostro un buen ajuste con el agua acumulada por precipitaciones en ninguna de las cuencas ($R^2=0,17$, $p=0,008$ para CN y $R^2=0,02$, $p=0,387$ para CS). La ponderación del delta SA en base al área inicial mejora el modelo lineal, pero con un coeficiente de determinación muy bajo ($R^2=0,22$, $p=0.002$ para CN y $R^2=0,05$, $p=0,185$ para CS). Parte de la variabilidad interanual en SA no explicada por precipitaciones estaría causada por aportes hídricos externos a la región, principalmente a través del río Quinto.

CONCLUSIONES

La reconstrucción del patrón espacio-temporal de la SA en los últimos 33 años en la pampa interior permitió identificar el comportamiento cíclico de las inundaciones y la presencia de anomalías hídricas. Estas anomalías no pudieron explicarse considerando como variable predictiva el régimen de precipitaciones. La información generada en este estudio contribuye al desarrollo de estrategias de mitigación y la toma de decisiones de manejo agronómico. El mapeo de áreas anegadas presentado en este trabajo aporta información valiosa sobre las áreas de paisaje de mayor vulnerabilidad a sufrir erosiones hídricas, inundaciones y posterior riesgo de salinización que lleva a una degradación en la calidad de los suelos. Para el desarrollo de modelos predictivos es necesario contar con otras variables que incluyan tanto la evapotranspiración, el aporte externo de agua a la región como así también el cambio de uso de suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Carignano, C. A. (1999). Late Pleistocene to recent climate change in Cordoba Province, Argentina: Geomorphological evidence. *Quaternary International*, 57–58, 117–134. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(98\)00054](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(98)00054)
- Casagrande, G. A., Vergara, G T, & Bellini Saibene, Y. N. (2006). Cartas agroclimáticas actuales de temperaturas, heladas y lluvia de la provincia de La Pampa (Argentina). *Semiárida. UNLPam*, 17, 15–22. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/6041>
- Contreras, S., Nosetto, M. D., Calderon, S., & Jobbágy, E. G. (2008). Impacto de las aguas subterráneas en la producción de agroecosistema: modelización acoplada a través del código VegNap. *XXIII Reunión Argentina de Ecología, San Luis, Argentina*.
- Dornes, P., Mariño, E., & Schulz, C. (2015). *Inventario de los recursos hídricos de la provincia de La Pampa*. UNLPam-Consultora.
- Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghersa, C. M., & Culot, J. P. (1992). Field-crop systems of the Pampas. *C.J. Pearson, Ecosystems of the World. Elsevier (Netherlands)*, 413–450.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Nogueir, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group
- Jensen, R., Marazzi, M., Savioli, J., Brea, J., & Tavecchio, H. (2000). *Diagnóstico de la situación de inundación en la región noreste de la provincia de La Pampa, Argentina*. Gobierno de la provincia de La Pampa, inédito.
- León, R. J. C. (1992). Río de la Plata Grasslands. *Regional Sub-Divisions. In: Coupland, R. T. (Ed.). Ecosystems of the World 8A: Natural*



Grasslands, Elsevier, Amsterdam., 376–407.

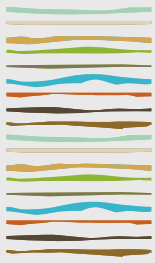
Nosetto, M. D., Jobbágy, E. G., Brizuela, A. B., & Jackson, R. B. (2012). The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154, 2–11. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2011.01.008>

SAGyP, & INTA. (1990). *Atlas de suelos de la República Argentina*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca; Proyecto PNUD ARG. 85/019; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Taboada, M. A. , D. F. , & L. R. S. (2009). Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. *Alteraciones de La Fertilidad de Los Suelos: El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*, 103–127.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>





CULTIVOS DE COBERTURA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS SIMPLIFICADOS PARA MEJORAR LA AGREGACIÓN DEL SUELO

Ramírez, J.A.^{1*}, J. Irigoín¹, L. Bulos¹, M.R. Petrasek¹, V.E. Bonvecchi¹

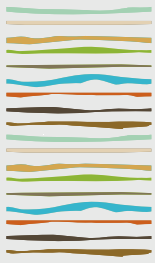
¹Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján,
Ruta 5 y Avenida Constitución (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina.
*angelesneschuk@gmail.com

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) constituyen una práctica alternativa para mitigar el deterioro de los servicios ecosistémicos, permitiendo una producción sostenible, eficiente y rentable. En la región pampeana se recomienda su inclusión en los sistemas agrícolas con el objetivo de incrementar la cobertura y mejorar la calidad física de los suelos. El objetivo fue evaluar el efecto de los CC en la estabilidad de los agregados del suelo mediante la cuantificación de las glomalinas. Se realizó un experimento en un lote con historia agrícola de más de 30 años en siembra directa con predominancia de cultivos de verano (soja y maíz), ubicado en el Partido de Luján, provincia de Buenos Aires. Los CC utilizados fueron avena (*Avena sativa* L.) y vicia (*Vicia sativa* L.). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y las parcelas experimentales tenían un tamaño de 90 m². El cultivo antecesor fue un maíz temprano (*Zea mays*). Los tratamientos fueron: T1-avena temprana, T2-avena-vicia temprana, T3-avena temprana fertilizada con urea en macollaje T4-avena tardía, T5-avena-vicia tardía, T6-avena tardía fertilizada con urea en macollaje y T7- testigo sin CC. Se determinó biomasa del CC, estabilidad estructural y glomalinas solubles y totales. Los datos se analizaron mediante ANOVA y test de Tukey ($p < 0,05$). Se encontró que la biomasa aérea producida por vicia se incrementó significativamente en la segunda fecha de siembra (03/06) respecto a la primer fecha de siembra (07/04), mientras que los otros tratamientos no mostraron diferencias en la producción de biomasa aérea entre ambas fechas de siembra. Así también, la biomasa aérea producida por vicia fue significativamente menor que los otros cultivos en la primer fecha de siembra. Además, se encontró que la biomasa aérea producida por la vicia consociada fue significativamente mayor que la vicia pura en ambas fechas de siembra. En relación a la estabilidad estructural se encontraron diferencias significativas en el diámetro medio ponderado (DMP), siendo mayor en la profundidad (0-5) cm respecto a la profundidad (5-20) cm. A su vez, la vicia consociada y la avena fertilizada presentaron un DMP significativamente mayor que el testigo para la profundidad (0-5) cm. Con respecto a las glomalinas solubles y totales, las parcelas sembradas con vicia presentaron una cantidad significativamente mayor de glomalinas tanto solubles como totales en la profundidad (0-5) cm respecto a la profundidad (0-20) cm. No se hallaron diferencias significativas en las cantidades de glomalinas entre diferentes profundidades en los otros tratamientos. Tampoco se encontraron diferencias significativas en las cantidades de glomalinas solubles y/o totales entre tratamientos. Los resultados muestran que, un solo año de inclusión de CC, consociado (avena-vicia) y avena fertilizada, determinaron una mayor estabilidad de la estructura del suelo en relación al testigo. Con respecto a las glomalinas, el tratamiento vicia fue el único en el que se incrementó el nivel de glomalinas superficialmente.

Palabras clave: glomalinas - estabilidad estructural del suelo-servicios ecosistémicos





AUMENTO EN LA SUPERFICIE OCUPADA POR DOS ARROYOS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Regner, G.^{1*}; S.A. Gianotti¹; J.D. Marticorena¹; E. Lonardi¹; M.F. Saluzzio¹; G.A. Piérola¹; L.R. Steger¹; C.A. Heinze¹; J.J. Gvozdenovich^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER;

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria;

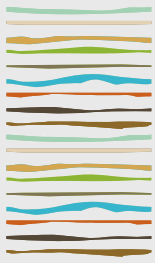
* Ruta Provincial 11, km 12,5, Prov. de Entre Ríos. regnergastob@gmail.com

RESUMEN

El cambio climático tiene efectos directos como indirectos en la productividad agrícola, entre ellos se evidencian cambios en los regímenes pluviométricos de cantidad e intensidad, sequías, inundaciones. En la región pampeana, se ha registrado un incremento en la intensidad de las precipitaciones, asociado a épocas del año donde los sistemas productivos presentan menor cobertura del suelo, causando escurrimiento. La provincia de Entre Ríos al tener suelos con baja capacidad de infiltración debido a características texturales, provoca que los excesos hídricos vayan a los arroyos que van incrementando sus dimensiones. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue analizar el crecimiento de los cauces de agua temporarios y permanentes comparando la información actual y la disponible en páginas oficiales para tomar decisiones en conservación de suelos y aguas, y evaluar su relación con la variación de las precipitaciones en dicho periodo. El estudio se realizó en dos subcuencas que aportan en el inicio de la Cuenca del Arroyo de la Ensenada (Diamante - Entre Ríos), subcuenca 1 de 3.277 ha y subcuenca 2 de 2.715 ha. Para realizar esta comparación se utilizaron herramientas de sistema de información geográfico, utilizando la base de datos oficiales disponible del año 2006 y las imágenes satelitales actuales del 2021. Para determinar el área actual de los cauces de agua, se midió largo y ancho de cada uno, además, se estimó mediante modelos digitales de elevación la profundidad de los nuevos cauces y de esta manera estimar su volumen. Respecto a las precipitaciones, en el periodo de 15 años de estudio, el 73% de los años fue superior a la media (promedio serie histórica de 88 años = 1.034 mm), lo cual indicaría que fueron años erosivos. Para la subcuenca 1, con datos oficiales del 2006, se obtuvo una superficie 125.560 m², mientras que en el 2021 fue de 178.710 m². Para la subcuenca 2, en 2006 fue de 89.789 m² y en 2021 de 137.301 m². El aumento de superficie de las dos subcuencas fue en promedio de 47.6% (42.3% y 52.9%, respectivamente). Esto equivale a un volumen de suelo erosionado de 155.019 m³ en 15 años (81.851 m³ y 73.168 m³, respectivamente). En cuanto a los arroyos de las dos subcuencas, se obtuvo un incremento en la longitud de los cauces a nivel de 12.1 y 11.1 km, respectivamente. Se puede concluir que las precipitaciones no han variado significativamente su volumen en la serie histórica estudiada. Aunque en los últimos 15 años se evidencian años extremos, tanto en sequía como en excesos. Con el paso de los años, los arroyos han crecido en tamaño, principalmente largo y ancho. Se produjo pérdida de suelo por erosión hídrica asociada a las variaciones del cambio climático de aproximadamente 155.019 m³ en tan solo 15 años, afectando la producción, los caminos, el ambiente, ciudades y la sociedad.

Palabras clave: arroyo, erosión, cambio climático





CULTIVOS DE COBERTURA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA: IMPACTO A LARGO PLAZO SOBRE LAS RESERVAS ORGÁNICAS EDÁFICAS

Restovich, S.B.^{1*}, S.I. Portela¹, A.E. Andriulo¹, F. Ferchaud², N. Beaudoin²

¹Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

Ruta 32 km 4,5, 2700 Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

²INRA Unité d'Agronomie LRM, rue Fernand Christ, 02007 Laon, France

*restovich.silvina@inta.gob.ar

RESUMEN

El uso de cultivos de cobertura (CC) y la fertilización nitrogenada, genera incertidumbre sobre los posibles efectos a largo plazo sobre las reservas de carbono (C) en el suelo y la dinámica del nitrógeno (N). El objetivo fue evaluar el efecto de rotar soja-maíz con distintos CC y niveles contrastantes de fertilización nitrogenada sobre el balance de N y su impacto en las reservas orgánicas del suelo luego de 30 años. Para ello, se utilizó el modelo de simulación suelo-cultivo STICS, variando el CC (vicia o cebada) en la rotación soja-maíz y la dosis del fertilizante nitrogenado aplicada al cultivo de maíz (32 y 96 kg ha⁻¹) en V₄₋₅, comparando siempre con la rotación soja-maíz sin CC. Luego de 30 años, la secuencia soja-maíz sin CC con 32 y 96 kg N ha⁻¹ de fertilización nitrogenada mantuvo las reservas de C y N orgánicos con respecto al inicio (34,9 y 3,4 Mg ha⁻¹, respectivamente) e incrementó la lixiviación de N con mayores dosis de fertilización. Al incluir vicia como CC, las reservas orgánicas aumentaron con respecto al inicio (50,0 Mg C ha⁻¹ y 4,9 Mg N ha⁻¹), independientemente de la dosis de fertilización utilizada, debido al mayor aporte de C y N a partir de la biomasa total. Con cebada como CC, el aumento del C y N orgánicos del suelo fue mayor cuando se combinó con la mayor dosis de fertilización. El uso de vicia como CC incrementó la lixiviación de N en comparación con el uso de cebada o la secuencia sin CC. Estos resultados confirman la necesidad de ajustar las dosis del fertilizante nitrogenado en los sistemas de cultivo actuales en relación al CC utilizado, aportando al diseño sostenible de los sistemas de cultivo, sin abandonar los aspectos productivos demandados por el mundo.

Palabras clave: lixiviación, excedentes de N, sistemas agrícolas.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agropecuarios enfrentan múltiples desafíos, por un lado producir alimentos y por otro reducir su impacto ambiental y contribuir a mitigar el cambio climático (Recous *et al.*, 2019). En relación a esto último, los suelos agrícolas tienen el potencial para secuestrar carbono (C). La diversificación ecológica de los agroecosistemas utilizando cultivos de cobertura (CC) se ha sugerido como estrategia para incrementar las reservas de C orgánico en el suelo (COS) y mejorar su agregación (Frasier *et al.*, 2016; Restovich *et al.*, 2019) y fomentar la conservación y el reciclaje de nitrógeno (N) en el sistema suelo-planta en el mediano plazo (Restovich *et al.*, 2012; Portela *et al.*, 2016). No obstante, a pesar de los diferentes beneficios que los CC aportan a los agroecosistemas (Daryanto *et al.*, 2018), su inclusión en las rotaciones agrícolas combinada con fertilización nitrogenada, genera incertidumbre sobre los posibles impactos a largo plazo en las reservas de C del suelo y, particularmente, sobre la dinámica del N. En este contexto, es importante contar con herramientas predictivas que permitan extender las observaciones de campo y que evalúen los efectos interactivos de las prácticas de manejo, el suelo y el clima. Así, los modelos de simulación se utilizan cada vez más para predecir el comportamiento de diferentes manejos a determinadas escalas espaciales y temporales (Beaudoin



et al., 2008). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de rotar soja-maíz con distintos CC y niveles contrastantes de fertilización nitrogenada sobre el balance de N y su impacto en las reservas orgánicas del suelo luego de 30 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar adelante este objetivo, se utilizó el modelo STICS (*Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard*), el cual se evaluó en las parcelas experimentales de CC de larga duración en INTA Pergamino (Restovich, 2021). STICS (v10) es un modelo unidimensional que simula tanto variables agrícolas (desarrollo y rendimiento del cultivo) como variables ambientales (dinámica del agua, C y N en el suelo y las plantas), las cuales están impulsadas por datos climáticos, características del suelo y prácticas agrícolas (Yin et al., 2020). Las simulaciones fueron realizadas para un plazo de 30 años en un contexto de variabilidad climática conocida (1989-2019) para poder atribuir los cambios de las variables de estudio al manejo de los sistemas productivos. Los manejos agrícolas consistieron en variar el CC (vicia ocebada) en la rotación soja-maíz y la dosis del fertilizante nitrogenado aplicada al cultivo de maíz (32 y 96 kg ha⁻¹) en V_{4-5r} comparando siempre con la rotación soja-maíz sin CC (control). A partir de los resultados arrojados por el modelo se realizó un balance simple de masa de N para cada tratamiento con y sin CC y niveles de fertilización luego de 30 años de rotación. Se consideraron como ingresos de N a los provenientes de la fertilización y la fijación biológica de cultivos de leguminosas y como egresos a la exportación en grano y al N-NO₃ lixiviado. El N aportado por fijación biológica en el modelo representó, en promedio, el 58% del total absorbido de las leguminosas utilizadas (soja y vicia) y esto estuvo de acuerdo con lo reportado por Salvagiotti et al. (2008) y Enrico et al. (2020) para la región pampeana. Para comparar los valores simulados de COS y nitrógeno orgánico del suelo (NOS) entre tratamientos se utilizó el RMSE del modelo de cada variable. Si la diferencia entre tratamientos es mayor que el RMSE, se puede aceptar, con alta probabilidad, que dos tratamientos son diferentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de 30 años de rotación soja-maíz sin CC, los stocks iniciales de COS y NOS se mantuvieron estables, independientemente de la dosis de N aplicada al cultivo de maíz (promedio 34,9 y 3,4 Mg ha⁻¹, respectivamente) (Figura 1). Esto ocurrió con un aporte promedio de 4020 (66) y 4393 (74) kg C (N) ha⁻¹ año⁻¹ proveniente de los residuos de los cultivos de cosecha, para cada dosis de fertilización, respectivamente. La secuencia soja-maíz sin CC y sin fertilización provocó una disminución del N orgánico en el largo plazo. Este resultado coincide con lo reportado luego de 6 años por Restovich et al. (2019) asociado, posiblemente, a que la falta de ingreso de N al sistema tiene un impacto negativo sobre la fracción orgánica de N (Dube et al., 2012). Los rendimientos promedio de maíz en el control fueron de 6,5 ± 2,0 y 7,3 ± 2,5 Mg ha⁻¹ con 32 kg N ha⁻¹ y 96 kg N ha⁻¹, respectivamente, y el aporte adicional de C por el maíz combinado con mayor nivel de fertilización no tuvo un impacto positivo sobre el COS. Esto coincide con lo reportado por otros autores (Khan et al., 2007; Triberti et al., 2008). En este sentido, cuando se triplicó la dosis de fertilización en la secuencia soja-maíz sin CC, el sistema se volvió más ineficiente, debido a que si bien incrementó los rendimientos, no aumentó las reservas orgánicas del suelo y aumentó considerablemente la pérdida de N por lixiviación.



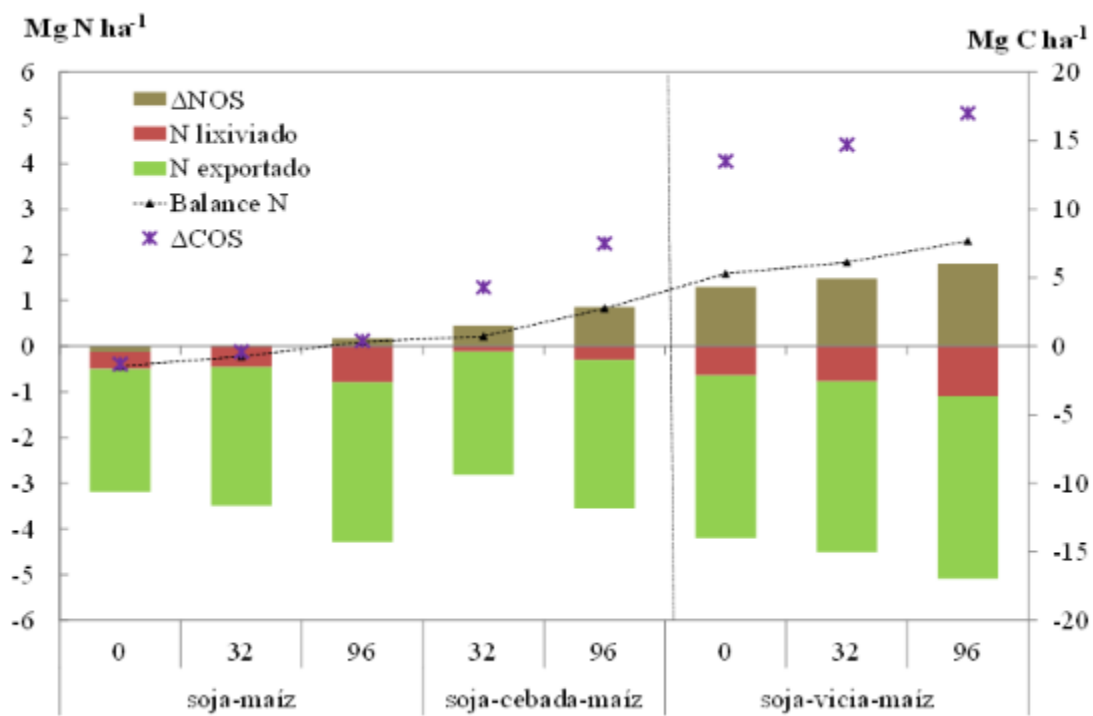


Figura 1. Partición del N luego de 30 años de rotación maíz-soja con y sin CC y con tres niveles de fertilización con N al cultivo de maíz (0, 32 y 96 kg ha⁻¹). El balance de N fue calculado como la diferencia entre los ingresos como FBN + fertilizante y los egresos a partir del N exportado en el grano y el N lixiviado.

La inclusión de CC en la secuencia soja-maíz con 32 kg N ha⁻¹ aumentó las reservas orgánicas del suelo y esto estuvo asociado al mayor aporte de C y al aumento en la circulación interna de N por parte de los CC. Sin embargo, la inclusión de vicia como CC tuvo mayor impacto que el uso de cebada, en asociación con los mayores ingresos de C y N en la rotación (C: 7246 y 5371 kg ha⁻¹ año⁻¹; N: 258 y 94 kg ha⁻¹ año⁻¹, para vicia y cebada, respectivamente). Las leguminosas tienen mayor concentración de N que las gramíneas y esto determina una menor relación C/N (Restovich *et al.*, 2012). Mary *et al.* (2020) explican que la dinámica del COS responde principalmente al aporte de C de la biomasa total y que una menor relación C/N de los residuos estimula el incremento de COS. Al utilizar una gramínea como CC, el aumento de COS y NOS se ve limitado por la baja disponibilidad de N, pero también es menor la pérdida de N por lixiviación, que con una leguminosa, debido a la mayor relación C/N de las gramíneas (Plaza-Bonilla *et al.*, 2015). La inmovilización de N se produce en el suelo durante las primeras etapas de descomposición de los residuos de CC, a expensas del N mineral del suelo y estos residuos contribuyen positiva o negativamente a la tasa de mineralización anual dependiendo de su relación C/N (Constantin *et al.*, 2012). Al triplicar la fertilización con N en la secuencia soja-cebada-maíz, el aumento de COS fue 3,2 Mg ha⁻¹ más elevado que cuando se utilizaron 32 kg N ha⁻¹ (42,4 vs 39,2 Mg COS ha⁻¹), demostrando que cuando prevalecen las gramíneas en una rotación es necesario mayor ingreso de N para aumentar las reservas orgánicas (Dube *et al.*, 2012). No obstante, el uso de cebada y 96 kg N ha⁻¹ aumentó las pérdidas de N por lixiviación en comparación con el uso de menor dosis. Rimski-Korsakov *et al.* (2016) observaron en una secuencia de raigrás-maíz, que el N del fertilizante retenido en la materia orgánica se mineraliza rápidamente y está sujeto a posibles pérdidas en el tiempo.

En el largo plazo, la implementación de vicia como CC, en comparación con cebada o la secuencia soja-maíz sin CC, potenció las pérdidas de N por lixiviación cuando se combinó con el nivel más alto de la fertilización nitrogenada. Estos resultados coinciden con Tribouillois *et al.* (2018) quienes observaron, en un período de 45 años, que el uso de leguminosas como CC aumenta la lixiviación en comparación con el uso de gramíneas y con el control sin CC. Por otro lado, Restovich *et al.* (2019) observaron que la rotación con vicia no acumuló NOS luego de seis años en el caso de los tratamientos fertilizados con N, y que ello podría estar asociado a mayores pérdidas de N por lixiviación. Las rotaciones con vicia pueden dejar niveles particularmente altos de N mineral a la cosecha de maíz luego de estaciones secas que reducen la absorción de N y la producción

de maíz; aumentando el riesgo de lixiviación entre la cosecha y la siembra del siguiente CC (Restovich *et al.* 2012). En este sentido, el excedente de N (ingresos>salidas) se presenta a menudo como un indicador de las pérdidas hacia sistemas adyacentes; sin embargo, también puede estar asociado a un incremento en las reservas de N y C orgánicos del suelo en el largo plazo (Autret *et al.*, 2019). El excedente de N luego de rotar soja-maíz con vicia como CC, independientemente de la presencia o ausencia del fertilizante, se tradujo en mayor almacenaje de N y C orgánico en comparación con la inclusión de cebada y el control sin CC. El alto impacto que tiene vicia sobre las reservas de C y N del suelo compensa las salidas de N de estos sistemas, pero presentan menor lixiviación de N cuando se combina con nulas o bajas dosis de fertilizantes nitrogenados. Con respecto a la inclusión de una gramínea como CC, se demostró que el excedente de N también se reflejó en un mayor almacenaje de N y C orgánico, cuando se combinó con altas dosis de fertilizante nitrogenado. Estos resultados demuestran la importancia del aporte de N en el incremento de las reservas de COS, y que esto se puede lograr utilizando leguminosas como CC, o cuando se usan gramíneas como CC a través de la fertilización al cultivo principal.

CONCLUSIONES

El uso de CC combinado con la fertilización con N impacta de forma diferente sobre las reservas orgánicas del suelo y la dinámica del N. Estos resultados confirman la necesidad de ajustar las dosis del fertilizante nitrogenado en los sistemas de cultivo actuales en relación al CC utilizado. Adicionalmente, otra opción sería consociar leguminosa y gramínea para gestionar eficientemente la circulación de los flujos de C y N dentro del sistema suelo-planta. Esta información aporta al diseño sostenible de los sistemas de cultivo, sin abandonar los aspectos productivos demandados por el mundo.

AGRADECIMIENTOS

El financiamiento de esta investigación fue otorgado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) a través de los proyectos 2019-PE-E1-I011-001 y 2019-PD-E3-I062-001. Los autores agradecen a María Juliana Torti, Leticia García y Jimena Dalpiaz por el trabajo en laboratorio y a Diego Colombini y Fabio Villalba por el trabajo de campo.

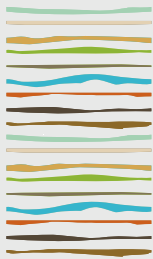
BIBLIOGRAFÍA

- Autret, B; N Beaudoin; L Rakotovololona; M Bertrand; G Grandeau; E Gréhan; F Ferchaud & B Mary. 2019. Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France. *Geoderma* 342: 20-33.
- Beaudoin, N; M Launay; E Sauboua; G Ponsardin & B Mary. 2008. Evaluation of the soil crop model STICS over 8 years against the "on farm" database of Bruyères catchment. *Eur. J. Agron.*29: 46-57.
- Constantin, J; N Beaudoin; M Launay ;J Duval & B Mary. 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agric, Ecosyst & Environ* 147: 36-46.
- Daryanto, S; B Fu; L Wang; P-A Jacinthe & W Zhao. 2018. Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews* 185: 357-373.
- Dube, E; C Chiduzza & P Muchaonyerwa. 2012. Conservation agriculture effects on soil organic matter on a Haplic Cambisol after four years of maize-oat and maize-grazing vetch rotations in South Africa. *Soil Till Res* 123: 21-28.
- Enrico, JM; CF Piccinetti;MR Barraco;MB Agosti;RP Ecclesia&F Salvagiotti.2020. Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *Eur. J. Agron.*115: 126016.
- Frasier, I; A Quiroga & E Noellemeier. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of the Total Environment* 562: 628-639.
- Khan, SA; RL Mulvaney; TR Ellsworth & CW Boast. 2007. The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration. *J. Environ. Qual.*36: 1821-1832.
- Mary, B; H Clivot; N Blaszczyk; J Labreuche & F Ferchaud. 2020. Soil carbon storage and mineralization rates are affected by carbon inputs rather than physical disturbance: Evidence from a 47-year tillage experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 299: 106972. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106972>
- Plaza-Bonilla, D; J-M Nolot; D Raffailac & E Justes.2015.Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. *Agric Ecosyst Environ* 212: 1-12.



- Portela, SI; S Restovich; H González & MJ Torti. 2016. Deep drainage and nitrogen leaching reduction in crop rotations with cover crops. *Ecología Austral* 26: 212 - 220
- Recous, S; G Lashermes; I Bertrand; M Duru & S Pellerin. 2019. Chapter 3: C–N–P Decoupling Processes Linked to Arable Cropping Management Systems in Relation With Intensification of Production. Lemaire G; CPDe Faccio; S Kronberg & S Recous (ed) *Agroecosystem Diversity Academic Press* 35-53.
- Restovich, SB. 2021. Los cultivos de cobertura y la fertilización nitrogenada como reguladores de los ciclos de C y N en rotaciones agrícolas: evaluación experimental y modelización a mediano y largo plazo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, p. 186.
- Restovich, SB; AE Andriulo; CM Armas-Herrera; MJ Beribe & SI Portela. 2019. Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. *Plant Soil* 442: 401-417.
- Restovich, SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res* 128: 62-70.
- Rimski-Korsakov, H; MS Zubillaga; MR Landriscini & RS Lavado. 2016. Maize and cover crop sequence in the Pampas: Effect of fertilization and water stress on the fate of nitrogen. *J. Soil Water Conserv.* 71: 12-20.
- Salvagiotti, F; KG Cassman; JE Specht; DT Walters; A Weiss & A Dobermann. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res* 108: 1-13.
- Triberti, L; A Nastri; G Giordani; F Comellini; G Baldoni & G Toderi. 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *Eur. J. Agron.* 29: 13-20.
- Tribouillois, H; J Constantin & E Justes. 2018. Analysis and modeling of cover crop emergence: Accuracy of a static model and the dynamic STICS soil-crop model. *Eur. J. Agron.* 93: 73-81.
- Yin, X; N Beaudoin; F Ferchaud; B Mary; L Strullu; F Chlébowski; H Clivot; C Herre; J Duval & G Louarn. 2020. Long-term modelling of soil N mineralization and N fate using STICS in a 34-year crop rotation experiment. *Geoderma* 357: 113956.





MONITOREO EDÁFICO EN SITUACIÓN DE MANEJO DE BOSQUES CON GANADERIA INTEGRADA EN EL ESPINAL CORRENTINO

Rey Montoya, T.S.^{1,2*}, J.P. Matteio¹, C.E. Grancic^{1,2}, G.M. Pereyra², M.V. Maurig³

¹EEA INTA Corrientes - Estación Experimental Agropecuaria Corrientes. Ruta 12 Km 1008. El Sombrero - Corrientes;

²Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131. Corrientes CP:3400.

³AER INTA Esquina; Av. Juan Ramón Vidal 402. Esquina - Corrientes.

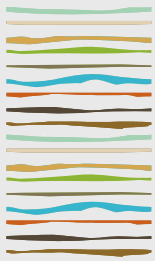
*Autor de contacto: montoya.tania@inta.gob.ar

RESUMEN

El manejo de bosques con ganadería integrada es una tecnología de bajo impacto ambiental, que se apoya en una visión integral del ambiente, equilibrando la capacidad productiva del sistema, con su integridad y sus servicios, respetando el principio de mantener y mejorar el bienestar del productor y de las comunidades circundantes. El presente trabajo se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en la región norte del Espinal (Esquina, Corrientes). Es una explotación de 100 ha de bosque nativo dedicado exclusivamente a la cría bovina, categorizado como sector de mediano valor de conservación por el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos. En este sentido, se evaluó un sitio piloto característico del distrito Ñandubay donde el objetivo del trabajo fue valorar el comportamiento de las variables físico – químicas del suelo en un bosque nativo. El suelo en estudio corresponde a la serie Mombiri que se clasifica como Argiudol vértico, arcillosa fina. En el sitio se definieron tres zonas según el manejo silvícola: a) sin intervención como testigo (T), b) con mediana intervención (poda y levantamiento de copa de árboles sin raleo) (MEF) y c) Máxima intervención (área totalmente raleada utilizada para el movimiento de hacienda) (MAF). En cada una de estas zonas se realizó un muestreo de suelos donde se tomaron muestras compuestas con tres repeticiones a dos profundidades cada una (0-10cm y 10-30cm) y se determinó a campo densidad aparente por el método del cilindro en las mismas profundidades. Las muestras fueron llevadas al laboratorio, secadas al aire, molidas y tamizadas, para posterior análisis de: pH por el método potenciométrico, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ por complejometría por EDTA, K⁺ por fotometría de llama, carbono orgánico por Walkey & Black, nitrógeno determinado por Kjeldahl y fósforo disponible por Bray I. Con los datos obtenidos se realizó un análisis multivariado por cada una de las profundidades evaluadas donde para la profundidad de 0-10cm se observó que el CP1 (58,1%) divide a los tratamientos T y MEF, caracterizado por las variables de CO, Mg y P distinta de MAF donde se caracterizó por las variables densidad aparente, K y Ca. En cambio, en la profundidad de 10-30 cm el CP1 (72,8%) que nos separa los tratamientos T y MEF, caracterizados por las variables densidad, CO y Mg y el tratamiento de máxima intervención está caracterizado por la variable K, pH, Ca y P. Podemos llegar a la conclusión de que en este primer análisis el comportamiento de las variables del suelo difieren según el manejo sobre el sistema donde se podría sugerir un manejo de mediana intervención para mantener las condiciones de equilibrio con el ambiente.

Palabras clave: ganadería integrada, bosque nativo, indicadores edáficos.





CAMBIOS EN EL TIEMPO DE AGITADO PARA DETERMINAR CARBONO OXIDABLE CON PERMANGANATO DE POTASIO (COXP)

Ricciuto, D.J.^{1,*}, S. Rodriguez¹, S.N. Tourn¹, G.V. Garcia^{1,2}, G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

* Ruta Nac. 226 km 73,5. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. deborajricciuto@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas productivos requieren de indicadores de salud edáfica (ISE) simples, sensibles, prácticos y económicos. El CoxP cumple ampliamente con esos requisitos y fue propuesto como ISE. Sin embargo, la técnica original no mostró suficiente sensibilidad a los cambios provocados por manejos contrastantes en el sudeste bonaerense. Se hipotetiza que mayor tiempo de agitado mejora el desempeño de CoxP como ISE. El objetivo fue evaluar al CoxP obtenido con diferentes tiempos de agitado como ISE bajo diferentes sistemas de cultivo en un Molisol del sudeste bonaerense. Se utilizaron muestras de un ensayo de larga duración con siete sistemas de cultivo (SC), desde pastura permanente hasta agricultura con siembra directa (SD) o labranza convencional (LC) continuas y en rotación con pasturas. Se determinaron CoxP con agitados de 1, 2, 3, 4 y 5 min, carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) y estabilidad de agregados (EA). Hubo una mejora en la relación entre CoxP y las demás variables cuando el tiempo de agitado se incrementó de 2 (técnica original) a 3 y 4 min. Los coeficientes de correlación de Pearson más altos se registraron cuando el tiempo fue 4 min. Sin embargo, con este tiempo de agitado, CoxP presentó la menor sensibilidad para mostrar cambios entre los sistemas de cultivo, comparado con las demás propiedades. El incremento del tiempo de agitado a 5 min no produjo los resultados esperados. La concentración de permanganato de potasio (KMnO_4) en la solución habría sido limitante para la expresión plena de los resultados esperados al incrementar el tiempo de agitado a 4 y 5 min. Por tanto, los resultados obtenidos apoyan parcialmente la hipótesis planteada. Las características de la técnica la hacen muy promisorio como ISE. Debería continuarse estudiando alternativas metodológicas tendientes a mejorar su desempeño como tal.

Palabras clave: indicador de salud edáfica, sistema de cultivo, ajuste metodológico.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los cambios en la forma de producción sumados a las exigencias de altos rendimientos, han conducido a un deterioro del suelo. Así, profesionales, científicos y productores demuestran su preocupación e interés por contar con ISE (Wander, 2004) que permitan monitorear la salud del suelo de manera sencilla. Propiedades edáficas propuestas como ISE tales como el COT y el COP (Domínguez *et al.*, 2009) presentan desventajas. El COT no es suficientemente sensible para detectar cambios en el corto a mediano plazo en la salud del suelo (Domínguez *et al.*, 2016). El COP permite detectar cambios tempranos en la salud edáfica, pero, debido a su complejidad y el tiempo operativo requerido, los laboratorios de servicio no adoptan su determinación (Diovisalvi *et al.*, 2014). La EA, propuesta para monitorear el estado de salud física de los suelos (Aparicio & Costa, 2007), tampoco es realizada por los laboratorios de servicio, debido al tiempo y trabajo de procesamiento que demanda. El CoxP permite la cuantificación de una fracción lábil de la materia orgánica (Weil *et al.*, 2003) y se ha mostrado sensible al efecto de las prácticas de manejo (Bongior-



no *et al.*, 2019). Es una determinación muy sencilla, rápida, económica y segura y, además, se relaciona con otras propiedades edáficas comúnmente utilizadas como ISE (Culman *et al.*, 2012; Bongiorno *et al.*, 2019). No obstante, si bien el CoxP fue sensible en suelos del sudeste bonaerense a los cambios producidos por su uso, no fue la variable que mejor los reflejó. Además, su asociación con otras variables que definen la salud edáfica fue menor que la esperada (Rodríguez *et al.*, 2022). Dadas las bondades reportadas del CoxP como ISE, sería deseable hacer ajustes metodológicos para mejorar su desempeño como tal. La variación del tiempo de agitado (Weil *et al.*, 2003) podría ser una alternativa para ello. Se hipotetiza que mayor tiempo de agitado mejora el desempeño de CoxP como ISE. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño como ISE del CoxP obtenido con diferentes tiempos de agitado bajo diferentes sistemas de cultivo en un Molisol del sudeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron muestras de suelo extraídas en julio de 2014, con pala a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm), de un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas y sistemas de labranza iniciado en 1976, en la Unidad Integrada Balcarce (37° 45' 13" S, 58° 17' 53" W; 136 m sobre el nivel del mar). Se estudiaron siete SC: **100SD**: agricultura permanente bajo SD, **100LC**: agricultura permanente bajo LC, **75SD**: 75% del tiempo bajo SD y 25% bajo pastura, **75LC**: 75% del tiempo bajo LC y 25% bajo pastura, **50SD**: 50% del tiempo bajo SD y 50% bajo pastura, **50LC**: 50% del tiempo bajo LC y 50% bajo pastura, y **PP**: pastura permanente. Al muestreo, **PP**, **50SD** y **50LC** estaban bajo pastura, y el resto de los SC, bajo agricultura. Más información sobre el ensayo se puede ver en Tourn *et al.* (2019).

Cada muestra se tamizó por un tamiz de 8000 μm y se secó en estufa (con circulación forzada de aire a 50°C). Se determinó la EA a través del cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) siguiendo el procedimiento descrito por Six *et al.* (2000). Por otro lado, una alícuota de las muestras de suelo se molió hasta pasar por un tamiz de 2000 μm , para realizar las determinaciones de CoxP, COT, COP y NAN. El CoxP se determinó según Culman *et al.* (2012) y con otros tiempos de agitado. Brevemente, tubos con 2,5 g de suelo y 20 mL de KMnO_4 0,02 M (pH 7,2) se agitaron 1, 2 (el tradicional, Culman *et al.*, 2012), 3, 4 y 5 min a 120 rpm y se centrifugaron (10 min a 1006 RCF). Se midió la absorbancia de los sobrenadantes (dilución 0,2:10) por espectrofotometría visible a 525 nm. Para determinar el COP se realizó el fraccionamiento físico de las muestras por tamizado en húmedo con tamiz de 53 μm (Cambardella & Elliot, 1992) y se recuperó la fracción que pasó el tamiz. En la masa total de suelo (COT) y en la fracción menor que 53 μm (carbono orgánico asociado a la fracción mineral) se determinó el contenido de carbono orgánico por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (Schlichting *et al.*, 1995). El contenido de COP (fracción mayor que 53 μm) se determinó por diferencia entre COT y el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (Cambardella & Elliot, 1992). Para la determinación del NAN se utilizó el método de incubación anaeróbica corta (Keeney, 1982) y el nitrógeno de amonio mineralizado se determinó por microdestilación por arrastre con vapor (Keeney & Nelson, 1982). Todas las variables se calcularon para la profundidad de 0-20 cm, realizando el promedio de los resultados para 0-5 y 5-20 cm ponderados por el espesor de cada estrato. Se realizaron análisis de varianza para evaluar si CoxP con distintos tiempos de agitado fue sensible para distinguir los efectos de los SC y en caso de haber efecto significativo de aquéllos, las medias se compararon con la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD). Para establecer el grado de asociación entre las variables evaluadas (CoxP, COT, COP, NAN, CDMP) se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa estadístico "R" (R Core Team, 2018). El nivel de significación utilizado fue de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presenta el rango del contenido de CoxP para todos los tiempos de agitado estudiados. En todos los casos, se observaron mayores valores de CoxP en los primeros 5 cm de profundidad, lo que coincide con lo informado por Chen *et al.* (2009) y Bongiorno *et al.* (2019). El contenido de CoxP aumentó a medida que se incrementó el tiempo de agitado, coincidiendo con lo reportado por Weil *et al.* (2003).



Tabla 1. Contenido mínimo y máximo de carbono oxidable por una solución diluida de permanganato de potasio (CoxP), en los siete sistemas de cultivo estudiados, cuando la determinación se realizó empleando diferentes tiempos de agitado, a tres profundidades.

Profundidad		Tiempo de agitado (min)					
		1	2	3	4	5	
Cm		----- g kg ⁻¹ -----					
	0-5	Mínimo	0,40	0,45	0,40	0,55	0,58
		Máximo	0,70	0,82	0,70	0,86	0,91
5-20	Mínimo	0,33	0,32	0,33	0,48	0,51	
	Máximo	0,56	0,56	0,56	0,65	0,70	
0-20	Mínimo	0,37	0,37	0,39	0,52	0,56	
	Máximo	0,57	0,58	0,59	0,69	0,71	

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson para las relaciones entre el CoxP y el resto de las propiedades edáficas determinadas (COT, COP, NAN, CDMP). Cuando la determinación de CoxP se realizó agitando durante 1 min, no se relacionó con ninguna de las variables estudiadas (Tabla 2). Esto podría deberse a que este tiempo de agitado habría permitido sólo la oxidación de una pequeña parte de la fracción lábil. La correlación entre el CoxP y las demás variables fue significativa cuando la determinación se realizó con 2, 3 y 4 min de agitado. En la Tabla 2 se puede observar que, a medida que se incrementó el tiempo de agitado, se obtuvieron mayores valores de coeficiente de correlación de Pearson para las relaciones analizadas, siendo 4 min el tiempo de agitado que presentó los mejores resultados. Sin embargo, para 5 min de agitado, los resultados no siguieron esa tendencia. Esto podría ser consecuencia de que la concentración del oxidante fue limitante de la oxidación de las fracciones de materia orgánica expuestas en mayor cantidad por el incremento del tiempo de agitado.

Independientemente del tiempo de agitado, la variable que mejor se relacionó con el CoxP fue el COT (Tabla 2). La fuerte relación encontrada entre CoxP y COT, comparada con las relaciones con las restantes fracciones lábiles de la materia orgánica fue reportada por varios autores (Weil *et al.*, 2003; Culman *et al.*, 2012; Bongiorno *et al.*, 2019, Rodriguez *et al.*, 2022), ya que el CoxP comprende no sólo el carbono oxidado de las fracciones más lábiles sino también parte del carbono de las más estables del COT (Culman *et al.*, 2012). Por lo tanto, la disminución del CoxP en el suelo podría ser un indicio temprano de la disminución del COT, siendo esto una alerta sobre el deterioro de la salud del suelo, debido a la pérdida de materia orgánica (Chen *et al.*, 2009; Bongiorno *et al.*, 2019).

En la Figura 1 se presentan los contenidos promedio de CoxP cuando la determinación se realizó agitando durante 2, 3 y 4 min. El CoxP fue 21%, 17% y 16% menor en 100LC comparado con PP para 2, 3 y 4 min de agitado, respectivamente (Figura 1). Para estos tres tiempos de agitado, la disminución del CoxP bajo 100LC respecto a PP fue mucho menor que la observada para COP (63,5%) y NAN (45%), y cercana a la observada para el COT (21,5%) (datos no mostrados). Es decir que, de las variables analizadas, el CoxP con 2, 3 y 4 min de agitado fue la que presentó, la menor disminución entre los tratamientos extremos de situaciones de manejo. Esto estaría indicando que, en las condiciones metodológicas con que se trabajó, el CoxP fue la variable menos sensible al uso agrícola del suelo, coincidiendo con lo reportado por Romero *et al.* (2018) y por Rodriguez *et al.* (2022).



Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson entre el carbono oxidable por una solución diluida de permanganato de potasio (CoxP) y otras propiedades edáficas habitualmente utilizadas como indicadores de salud edáfica, para distintos tiempos de agitado.

Tiempo agitado (min)	COT	COP	NAN	CDMP
1	NS	NS	NS	NS
2	0,59**	0,46*	0,44*	-0,42#
3	0,73**	0,59**	0,61**	-0,50*
4	0,80**	0,65**	0,66**	-0,54*
5	NS	NS	NS	NS

COT: carbono orgánico total, COP: carbono orgánico particulado, NAN: nitrógeno de amonio mineralizado durante una incubación anaeróbica corta, CDMP: cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados.

** Significativo a $P < 0,01$; * Significativo a $P < 0,05$; # $P = 0,055$; NS = no significativo.

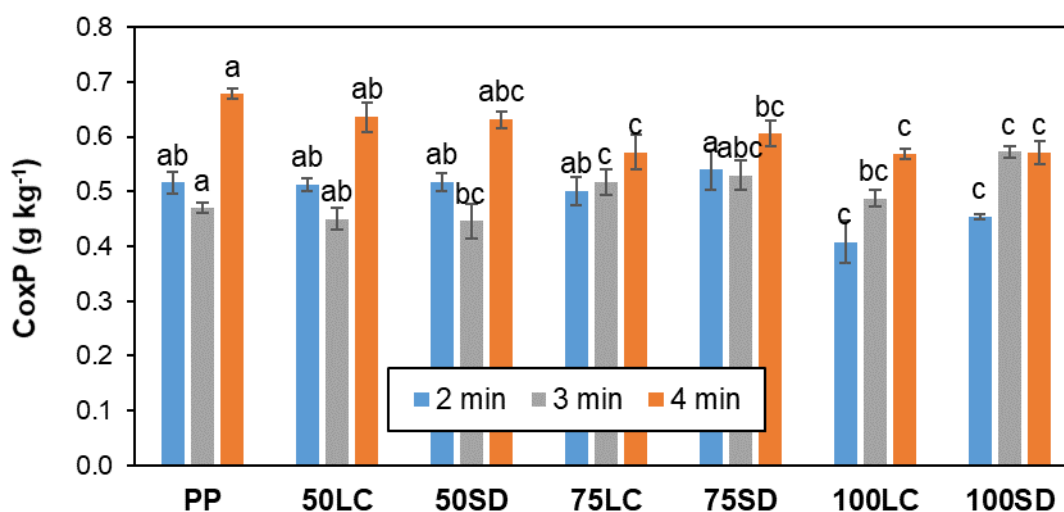


Figura 1. Carbono oxidable con permanganato de potasio (CoxP) para tres tiempos de agitado (2, 3 y 4 min). Las barras verticales indican error estándar de la media. Para cada tiempo de agitado, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la concentración de KMnO_4 en la solución utilizada (0,02 M) habría sido insuficiente para oxidar las fracciones expuestas por el mayor tiempo de agitado por encima de los 2 min. Tal limitación habría impedido que se expresara la diferencia entre tratamientos y la correlación con otras variables cuando el tiempo de agitado fue de 5 min. En el caso del agitado por 4 min, la concentración de KMnO_4 en la solución no habría sido suficiente para que se expresaran por completo las diferencias entre los tratamientos más extremos (PP y 100LC). No obstante, con 4 min de agitado los coeficientes de correlación con las otras variables (Tabla 2) fueron los más elevados.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos apoyan parcialmente la hipótesis planteada. Se observó una mejora en la relación entre CoxP y las demás variables utilizadas como ISE (COT, COP, CDMP, NAN) cuando el tiempo de agitado se incrementó de 2 (técnica original) a 3 y 4 min. Los valores más altos de coeficientes de correlación de Pearson se registraron cuando el tiempo fue de 4 min. Sin embargo, con este tiempo de agitado, CoxP fue la variable que presentó menor sensibilidad para mostrar cambios entre los sistemas de cultivo analizados,



comparado con las demás propiedades físico-químicas estudiadas. Asimismo, el incremento del tiempo de agitado a 5 min no produjo los resultados esperados. La concentración de KMnO_4 en la solución habría sido limitante para la expresión plena de los resultados esperados al incrementar el tiempo de agitado a 4 y 5 min. La simpleza, practicidad y seguridad de la técnica la hacen muy promisorias como ISE, y, por lo tanto, deberían continuarse estudiando alternativas metodológicas tendientes a mejorar su desempeño como tal. Estas alternativas deberían referirse al incremento del tiempo de agitado con incrementos en la concentración del oxidante.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este trabajo forma parte de la Tesis de Ingeniera Agrónoma de la primera autora. Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Universidad Nacional de Mar del Plata (proyectos AGR633/20 y AGR653/21) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (RIST I-503).

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- Bongiorno, G; EK Bünemann; CU Oguejiofor; J Meier; G Gort; R Comans; P Mäder; L Brussaard & R De Goede. 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecol. Indic.* 99:38-50.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Chen, H; R Hou; Y Gong; H Li; M Fan & Y Kuzyakov. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 106:85-94.
- Culman, SW; SS Snapp; MA Freeman; ME Schipanski; J Beniston; R Lal; LE Drinkwater; AJ Franzluebbers; JD Glover; AS Grandy; J Lee; J Six; JE Maul; SB Mirksy; JT Spargo & MM Wander. 2012. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:494-504.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; NI Reussi Calvo; GF Domínguez & A Berardo. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. *Ciencia del Suelo* 32:85-94.
- Domínguez, GF; NV Diovisalvi; GA Studdert & MG Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102:93-100.
- Domínguez, GF; GV García; GA Studdert; MA Agostini; SN Tourn & MN Domingo. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6:82-97.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In: AL Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 643-698.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: AL Page (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 643-698.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing (v. 3.5.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. Último acceso febrero de 2022.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2022. Permanganate oxidizable carbon, new soil health indicator for mollisols of the Southeastern Argentinean Pampas? *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 53:2029-2044.
- Romero, CM; RE Engel; J D'Andrilli; C Chen; C Zabinski; PR Miller & R Wallander. 2018. Patterns of change in permanganate oxidizable soil organic matter from semiarid drylands reflected by absorbance spectroscopy and Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Org. Geochem.* 120:19-30.
- Schlichting, E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum.* Paul Parey. Hamburg, Berlin, Alemania. 209 p.
- Six, J; ET Elliott & K Paustian. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64:1042-1049.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggrega-

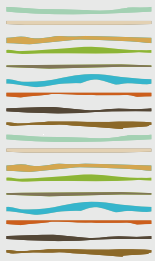


tion of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411.

Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: Magdoff, F & RR Weil (eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. pp. 67-102.

Weil, RR; KR Islam; MA Stine; JB Gruver & SE Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agr.* 18:3-17.





CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN PARA DETERMINAR CARBONO OXIDABLE CON SOLUCIÓN DE PERMANGANATO DE POTASIO (COXP)

Ricciuto, D.J.^{1,*}, S. Rodriguez¹, S.N. Tourn¹, G.V. Garcia^{1,2}, G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

* Ruta Nac. 226 km 73,5. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. deborajricciuto@gmail.com

RESUMEN

Es necesario contar con indicadores de salud edáfica (ISE) simples, sensibles, prácticos y económicos. El CoxP fue propuesto como ISE porque cumple con esos requisitos. Sin embargo, en suelos del sudeste bonaerense, la técnica convencional no mostró suficiente sensibilidad a los cambios provocados por manejos contrastantes. El objetivo fue evaluar el desempeño como ISE de CoxP obtenido con diferentes concentraciones de permanganato de potasio (KMnO_4) en la solución oxidante en un Molisol del sudeste bonaerense bajo diferentes sistemas de cultivo. Se usaron muestras de un ensayo de larga duración con siete sistemas de cultivo (SC), desde pastura permanente hasta agricultura con siembra directa (SD) o labranza convencional (LC) continuas y en rotación con pasturas. Se determinó CoxP con soluciones de KMnO_4 de concentraciones 0,020 (convencional), 0,015 y 0,010 M, carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) y estabilidad de agregados (EA). El CoxP obtenido con una solución al 0,010 M sólo se relacionó con COT. El CoxP determinado con soluciones al 0,015 y 0,020 M se relacionó significativamente con COT, COP y NAN. El CoxP determinado con una solución al 0,020 M se relacionó significativamente con la EA. No obstante, con una solución al 0,015 M, el coeficiente de correlación de Pearson fue similar, pero la relación fue significativa con alfa de 0,10. Concentraciones de KMnO_4 inferiores a 0,020 M habrían sido insuficientes para oxidar las fracciones lábiles expuestas. Por lo tanto, 0,020 M proporcionó los mejores resultados de las tres concentraciones evaluadas. Sin embargo, la concentración de KMnO_4 en la solución no habría sido suficiente para que se expresaran por completo las diferencias entre los SC más extremos. Las características de la técnica hacen de CoxP una variable muy promisoría como ISE. Deberían continuarse estudiando alternativas metodológicas tendientes a mejorar su desempeño como tal.

Palabras clave: indicador de salud edáfica, sistema de cultivo, ajuste metodológico.

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente necesidad por parte de productores, profesionales y científicos de contar con ISE que permitan monitorear la salud del suelo de forma rápida y sencilla (Wander, 2004). Algunas de las propiedades edáficas propuestas como ISE presentan ciertas desventajas por las cuales no son elegidas para su uso como tal. El COT es un indicador de baja sensibilidad para la detección de cambios en el corto a mediano plazo (Domínguez *et al.*, 2016). El COP, por su parte, permite detectar cambios tempranos en la salud edáfica, pero su determinación es compleja y requiere muchas horas-operario (Diovisalvi *et al.*, 2014). Al igual que el COP, la EA, propuesta para monitorear la salud física de los suelos (Aparicio & Costa, 2007), insume gran cantidad de tiempo y complejidad en el procesamiento de las muestras. El CoxP es una técnica simple, económica y segura, que permite la cuantificación de fracciones lábiles de la materia orgánica (Weil *et al.*, 2003) y se ha mostrado sensible al efecto de las prácticas de manejo (Bongiorno *et al.*, 2019). Además, se relaciona con otras propiedades edáficas comúnmente utilizadas como ISE (Culman *et al.*, 2012; Bongiorno



et al., 2019). Sin embargo, en suelos del sudeste bonaerense, el CoxP no fue la variable que mejor reflejó los cambios producidos por el uso y, asimismo, su asociación con otras variables que definen la salud edáfica, fue menor que la esperada. Esto fue atribuido a que, con la técnica convencional, además de fracciones lábiles de la materia orgánica, se estaría oxidando parte de las fracciones estabilizadas (Rodríguez et al., 2022). Debido a que el CoxP tiene características que lo harían un buen ISE, sería deseable hacer ajustes metodológicos para tratar de mejorar su desempeño como tal. Reducciones en la concentración de la solución de KMnO_4 (Weil et al., 2003) podría ser una alternativa para buscar que sólo se oxiden las fracciones más lábiles y mejorar su comportamiento como ISE. El objetivo fue evaluar el desempeño como ISE del CoxP obtenido con concentraciones más bajas de KMnO_4 en la solución oxidante que las indicadas en la técnica convencional, bajo diferentes sistemas de cultivo en un Molisol del sudeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo utilizadas fueron extraídas con pala a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm) en julio de 2014 de un ensayo de larga duración de rotaciones mixtas y sistemas de labranza iniciado en 1976, en la Unidad Integrada Balcarce (37° 45' 13" S, 58° 17' 53" W; 136 m sobre el nivel del mar). Se estudiaron siete SC: **100SD**: agricultura permanente bajo SD, **100LC**: agricultura permanente bajo LC, **75SD**: 75% del tiempo bajo SD y 25% bajo pastura, **75LC**: 75% del tiempo bajo LC y 25% bajo pastura, **50SD**: 50% del tiempo bajo SD y 50% bajo pastura, **50LC**: 50% del tiempo bajo LC y 50% bajo pastura, y **PP**: pastura permanente. Al muestreo, **PP**, **50SD** y **50LC** estaban bajo pastura, y el resto de los SC, bajo agricultura. Más información sobre el ensayo se puede ver en Tourn et al. (2019).

Cada muestra se tamizó por un tamiz de 8000 μm y se secó en estufa (con circulación forzada de aire a 50°C). Se determinó la EA a través del cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) siguiendo el procedimiento descrito por Six et al. (2000). Una alícuota de las muestras de suelo se molió hasta pasar por un tamiz de 2000 μm , para realizar las determinaciones de CoxP, COT, COP y NAN. El CoxP se determinó según Culman et al. (2012) modificando las concentraciones de la solución de KMnO_4 . Brevemente, tubos con 2,5 g de suelo y 20 mL de solución de KMnO_4 con las concentraciones de 0,020 (original indicada por Culman et al., 2012), 0,015 y 0,010 M con pH 7,2, se agitaron 2 min a 120 rpm y se centrifugaron (10 min a 1006 RCF). Se midió la absorbancia de los sobrenadantes (dilución 0,2:10) por espectrofotometría visible a 525 nm. Para determinar el COP se realizó el fraccionamiento físico de las muestras por tamizado en húmedo con tamiz de 53 μm (Cambardella & Elliot, 1992) y se recuperó la fracción que pasó el tamiz. En la masa total de suelo (COT) y en la fracción menor que 53 μm (carbono orgánico asociado a la fracción mineral) se determinó el contenido de carbono orgánico por combustión húmeda con mantenimiento de la temperatura de reacción (Schlichting et al., 1995). El contenido de COP (fracción mayor que 53 μm) se determinó por diferencia entre el COT y el carbono orgánico asociado a la fracción mineral (Cambardella & Elliot, 1992). Para la determinación del NAN se utilizó el método de incubación anaeróbica corta (Keeney, 1982) y el nitrógeno de amonio mineralizado se determinó por microdestilación por arrastre con vapor (Keeney & Nelson, 1982). Todas las variables se calcularon para la profundidad de 0-20 cm, realizando el promedio de los resultados para 0-5 y 5-20 cm ponderados por el espesor de cada estrato. Se realizaron análisis de varianza para evaluar si el CoxP obtenido con soluciones oxidantes con distintas concentraciones de KMnO_4 fue sensible para distinguir los efectos de los SC y, en caso de haber efecto significativo de aquéllos, las medias se compararon con la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD). Para establecer el grado de asociación entre las variables evaluadas (CoxP, COT, COP, NAN, CDMP) se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa estadístico "R" (R Core Team, 2018). El nivel de significación utilizado fue de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los rangos del contenido de CoxP obtenido con todas las concentraciones estudiadas. En todos los casos, se observaron mayores valores de CoxP en los primeros 5 cm de profundidad, lo que coincide con lo informado por Chen et al. (2009) y Bongiorno et al. (2019). El contenido de CoxP aumentó a medida que se incrementó la concentración de la solución utilizada hasta 0,020 M, coincidiendo con lo reportado por Weil et al. (2003).



Tabla 1. Contenido mínimo y máximo de carbono oxidable por una solución diluida de permanganato de potasio (CoxP), en los siete sistemas de cultivo estudiados, con tres concentraciones de la solución y a tres profundidades.

Profundidad		Concentración de la solución (M)		
		0,010	0,015	0,020
0-5	Mínimo	0,33	0,42	0,45
	Máximo	0,47	0,63	0,82
5-20	Mínimo	0,23	0,31	0,32
	Máximo	0,37	0,52	0,56
0-20	Mínimo	0,26	0,38	0,37
	Máximo	0,40	0,54	0,58

La determinación de CoxP utilizando una solución de KMnO_4 de concentración 0,010 M se relacionó significativamente sólo con COT (Tabla 2). La falta de correlación con las otras variables analizadas puede haberse debido a que dicha concentración de KMnO_4 en la solución habría permitido sólo la oxidación de una pequeña parte de la fracción lábil (Weil *et al.* (2003).

Al utilizarse soluciones de KMnO_4 con concentraciones de 0,015 y 0,020 M se obtuvieron relaciones altamente significativas con COT y significativas con COP y NAN (Tabla 2). En cuanto a la relación entre CoxP y CDMP, se puede observar que fue significativa cuando la determinación de CoxP se realizó con una solución cuya concentración de KMnO_4 fue 0,020 M. No obstante, con una menor concentración de KMnO_4 (0,015 M), el valor del coeficiente de correlación de Pearson fue similar al obtenido con una solución de KMnO_4 0,020 M, pero la relación fue significativa con un nivel de significación de 0,10 (Tabla 2).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre el carbono oxidable por soluciones de distintas concentraciones de permanganato de potasio (0,010; 0,015 y 0,020 M) (CoxP) y otras propiedades edáficas habitualmente utilizadas como indicadores de salud edáfica.

Concentración (M)	COT	COP	NAN	CDMP
0,010	0,45*	NS	NS	NS
0,015	0,70**	0,47*	0,45*	-0,39#
0,020	0,59**	0,46*	0,44*	-0,42*

COT: carbono orgánico total, COP: carbono orgánico particulado, NAN: nitrógeno de amonio mineralizado durante una incubación anaeróbica corta, CDMP: cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados.

** Significativo a $P < 0,01$; * Significativo a $P < 0,05$; # $P = 0,085$; NS = no significativo.

Independientemente de la concentración de KMnO_4 en la solución, la variable que mejor se relacionó con CoxP fue COT, comparada con las relaciones con COP y NAN (Tabla 2). Esto coincide con lo reportado por varios autores (Weil *et al.*, 2003; Culman *et al.*, 2012; Bongiorno *et al.*, 2019, Rodríguez *et al.*, 2022). Esto estaría indicando que, para las tres concentraciones analizadas, el CoxP comprendería no sólo el carbono oxidado de las fracciones más lábiles, sino también parte del carbono de las más estables del COT (Culman *et al.*, 2012). Así, el cambio en el CoxP obtenido con cualquiera de aquellas concentraciones de KMnO_4 en la solución podría ser un indicio temprano de los cambios en el contenido de COT, constituyéndose en una alerta temprana sobre el deterioro de la salud del suelo debido a la pérdida de materia orgánica (Chen *et al.*, 2009; Bongiorno *et al.*, 2019).



En la Figura 1 se presentan los contenidos promedio de CoxP cuando la determinación se realizó usando soluciones con las tres concentraciones de KMnO_4 . El CoxP fue 15%, 12% y 21% menor en 100LC comparado con PP para soluciones de concentración de KMnO_4 de 0,010, 0,015 y 0,020 M, respectivamente (Figura 1). Para las tres concentraciones utilizadas, la disminución de CoxP en 100LC respecto a PP fue mucho menor que la observada para COP (63,5%) y NAN (45%), y más cercana a la observada para el COT (21,5%) (datos no mostrados). Además, el CoxP obtenido con una concentración de KMnO_4 de 0,010 M no permitió distinguir claramente entre los distintos SC, mientras las soluciones con mayor concentración de KMnO_4 (i.e. 0,015 y 0,020 M) dieron como resultado valores de CoxP que mostraron más sensiblemente las diferencias entre SC. Todo esto muestra que, de las variables analizadas, el CoxP determinado con soluciones de diferente concentración de KMnO_4 (0,010; 0,015; 0,020 M), fue la que presentó el menor cambio entre los tratamientos extremos de las situaciones de manejo evaluadas. Esto estaría indicando que, en las condiciones metodológicas con que se trabajó e independientemente de la concentración de KMnO_4 , el CoxP fue la variable menos sensible al uso agrícola del suelo, coincidiendo con lo reportado por Romero *et al.* (2018) y por Rodríguez *et al.* (2022). Asimismo, la capacidad de discriminar entre diferentes alternativas de manejo de suelo se incrementó con la concentración de KMnO_4 en la solución.

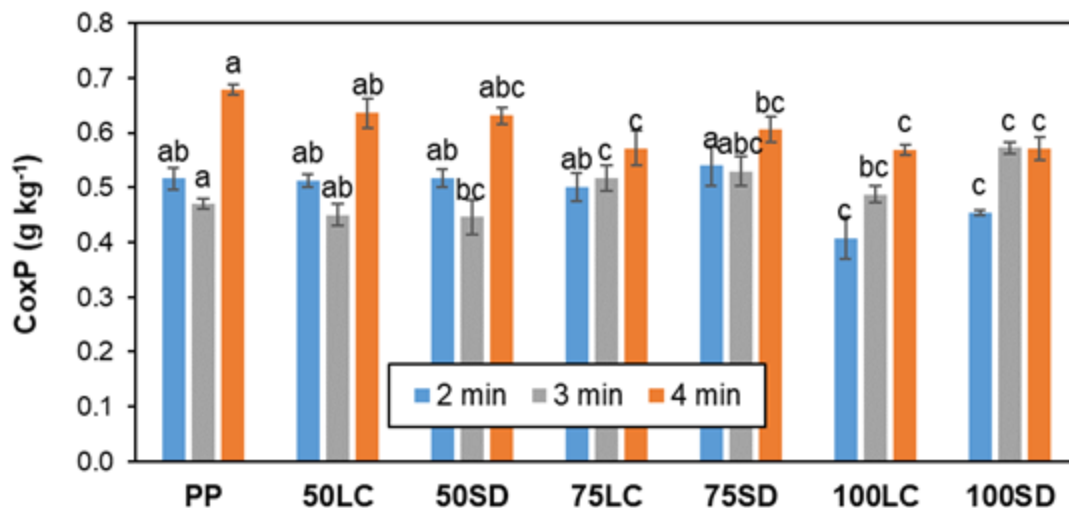


Figura 1. Carbono oxidable con permanganato de potasio (CoxP) para tres concentraciones de permanganato de potasio en la solución oxidante. Las barras verticales indican error estándar de la media. Para cada concentración de solución oxidante, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

En función de los resultados presentados, se observa que concentraciones de KMnO_4 inferiores a 0,020 M podrían haber sido insuficientes para oxidar las fracciones lábiles expuestas, coincidiendo con lo informado por Weil *et al.* (2003). Esto habría sido la causa de que no se expresaran claramente las diferencias entre tratamientos (Figura 1) y el grado de asociación con otras variables que hacen a la salud del suelo fuera más bajo (Tabla 2). A pesar de que el CoxP obtenido con la concentración de 0,020 M presentó valores más bajos del coeficiente de correlación con las otras variables comparado con 0,015 M (Tabla 2), el CoxP con esta última concentración no se correlacionó con CDMP. Por lo tanto, 0,020 M proporcionó los mejores resultados de las tres concentraciones evaluadas. Sin embargo, la concentración de KMnO_4 en la solución no habría sido suficiente para que se expresaran por completo las diferencias entre los tratamientos más extremos (PP y 100LC).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la reducción de la concentración de KMnO_4 en la solución oxidante no mejoró el desempeño del CoxP como ISE. No obstante, las características metodológicas del CoxP motivan el seguir estudiando alternativas metodológicas tendientes a mejorar su desempeño ISE. De esta manera, el



CoxP podría constituirse en una herramienta muy accesible para que productores y asesores pudieran hacer un monitoreo rápido y sencillo de la salud edáfica.

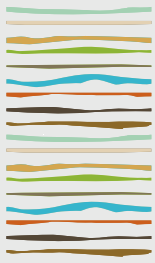
AGRADECIMIENTOS

La información presentada en este trabajo forma parte de la Tesis de Ingeniera Agrónoma de la primera autora. Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Universidad Nacional de Mar del Plata (proyectos AGR633/20 y AGR653/21) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (RIST I-503).

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- Bongiorno, G; EK Bünemann; CU Ogueji; J Meier; G Gort; R Comans; P Mäder; L Brussaard & R De Goede. 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecol. Indic.* 99:38-50.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- Chen, H; R Hou; Y Gong; H Li; M Fan & Y Kuzyakov. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 106:85-94.
- Culman, SW; SS Snapp; MA Freeman; ME Schipanski; J Beniston; R Lal; LE Drinkwater; AJ Franzluebbers; JD Glover; AS Grandy; J Lee; J Six; JE Maul; SB Mirsky; JT Spargo & MM Wander. 2012. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:494-504.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; NI Reussi Calvo; GF Domínguez & A Berardo. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. *Ciencia del Suelo* 32:85-94.
- Domínguez, GF; GV García; GA Studdert; MA Agostini; SN Tourn & MN Domingo. 2016. Is anaerobic mineralizable nitrogen suitable as soil health indicator? *Spanish J. Soil Sci.* 6:82-97.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In: AL Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 643-698.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: AL Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 643-698.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing (v. 3.5.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. Último acceso febrero de 2022.
- Rodríguez, S; MC Baeza; GV García; GF Domínguez; NL Clemente & GA Studdert. 2022. Permanganate oxidizable carbon, new soil health indicator for mollisols of the Southeastern Argentinean Pampas? *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 53:2029-2044.
- Romero, CM; RE Engel; J D'Andrilli; C Chen; C Zabinski; PR Miller & R Wallander. 2018. Patterns of change in permanganate oxidizable soil organic matter from semiarid drylands reflected by absorbance spectroscopy and Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. *Org. Geochem.* 120:19-30.
- Schlichting, E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum.* Paul Parey. Hamburg, Berlin, Alemania. 209 p.
- Six, J; ET Elliott & K Paustian. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64:1042-1049.
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411.
- Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: Magdoff, F & RR Weil (eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture.* CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU. pp. 67-102.
- Weil, RR; KR Islam; MA Stine; JB Gruver & SE Samson-Liebig. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agr.* 18:3-17.





CARBONO ORGANICO Y FRACCIONES BAJO DIFERENTES USOS EN SUELOS DE LA RESERVA PROVINCIAL "SANTA CATALINA"

Rodriguez, H.A.^{1,2,*}, J. De Grazia^{1,2}, F.T. Blanco Rodriguez¹, B.P. Prack McCormick^{1,2}, A.C. Sokolowski^{1,2}, I.R. Paladino^{1,3}, S.P. Debelis^{1,2}, M.B. Barrios^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora;

²Instituto de Investigación sobre Producción Agropecuaria. Ambiente y Salud;

³CEI Gorina – INTA AMBA;

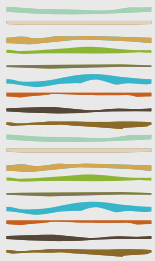
*Ruta Provincial 4, km 2, (1836) Llavallol, Prov. de Buenos Aires, rodriguezhernan09@hotmail.com

RESUMEN

El carbono orgánico (CO) del suelo es un factor clave en la capacidad del recurso suelo para mantener la productividad agrícola, la calidad ambiental y el desarrollo social. Los cambios en el uso de la tierra modifican el aporte de carbono, así como su dinámica y nivel de equilibrio en el suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios en el contenido del CO del suelo y de sus fracciones granulométricas en sitios con diferentes usos de la tierra. Los usos de la tierra analizados fueron: sectores con historia agrícola-ganadera de más de 100 años (Trabajado), sector con vegetación arbustiva utilizada como cerco vivo (Cerco Vivo), y sectores de bosque caducifolio (Bosque) de la Reserva Provincial de Santa Catalina, ubicada entre los paralelos 34°45' y 34°48' de Latitud Sur y entre los meridianos 58°29' y 58°24' de Longitud Oeste. En cada situación se tomaron muestras compuestas de 0-10cm. Se determinó: CO Total (COT), CO particulado grueso (COPg, 105-2000 μm), CO particulado fino (COPf, 53-105 μm), CO asociado a la fracción mineral (COM, <53 μm), y se calcularon las relaciones entre las fracciones granulométricas y su correspondiente COT. Los valores de CO fueron expresados en Mg ha^{-1} , utilizando la densidad aparente, y las relaciones fueron expresadas en porcentaje. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó análisis de la varianza (ANOVA) y el test de DGC para la comparación de medias ($p \leq 0,05$). El COT de los sectores analizados presentó valores de 2,29; 3,45 y 4,27 Mg ha^{-1} para los sectores Trabajado, Cerco Vivo y Bosque, respectivamente, y fue afectado significativamente por el uso de la tierra ($p < 0,05$), separando el sector Trabajado del resto. En cuanto a las fracciones granulométricas del CO, el análisis reveló diferencias significativas por el uso de la tierra ($p < 0,05$). El COPg mostró una separación idéntica que el COT, con valores de 0,26; 0,48 y 0,39 Mg ha^{-1} para los sectores Trabajado, Cerco Vivo y Bosque, respectivamente. El COPf, a diferencia de las anteriores, mostró asociación entre Trabajado y Cerco Vivo. Los valores fueron de 0,20; 0,31 y 0,45 Mg ha^{-1} para los sectores Trabajado, Cerco Vivo y Bosque, respectivamente. La última fracción granulométrica, COM, evidenció la mayor diferenciación posible, separando los tres usos de la tierra. Los valores fueron de 1,83; 2,67 y 3,43 Mg ha^{-1} para los sectores Trabajado, Cerco Vivo y Bosque, respectivamente. Por otra parte, el análisis de las relaciones entre las fracciones granulométricas y su correspondiente COT no mostró diferencias significativas por el uso de la tierra ($p < 0,05$). El CO refleja modificaciones en las características de los residuos en cada situación de uso de la tierra. Bajo influencia de vegetación arbórea, hay mayor acumulación de COT y de cada una de sus fracciones granulométricas, inclusive en aquellas de mayor estabilidad, con respecto a aquellos sistemas con vegetación herbácea. Sin embargo, el uso de la tierra no modificó las relaciones de las fracciones granulométricas con respecto al COT.

Palabras clave: CO particulado grueso, CO particulado fino, CO asociado a la fracción mineral.





SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA Y SU RELACIÓN CON PARÁMETROS EDÁFICOS EN PATAGONES

Rodriguez, E.¹, J.C. Colazo², J.I. Vanzolini^{3,1}, L. Zubiaga³

¹Universidad Nacional del Sur*;

²INTA EEA San Luis; ³INTA EEA Ascasubi

*San Andrés 800, Bahía Blanca, Buenos Aires emiliano.rodriguez@uns.edu.ar, colazo.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

El partido de Patagones se emplazó sobre una región naturalmente arbustiva (Región fitogeográfica de Monte) que se encontraba en equilibrio con la alta erosividad climática de la región y la fragilidad de los suelos, donde predominan las texturas gruesas. El desmonte y las prácticas productivas extrapoladas de zonas húmedas generaron degradación de los suelos con situaciones catastróficas en periodos de sequías graves. La Fracción Erosionable (FE) y la Estabilidad Estructural en Seco (EES) calculadas empíricamente con Tamiz Rotativo brindan valiosa información para predecir la susceptibilidad de los suelos. El objetivo de este trabajo es diferenciar y caracterizar los dominios edáficos y analizar los distintos parámetros que influyen en la susceptibilidad de los mismos a la erosión eólica. Pudimos observar que la arena total es el factor que más influye en estos suelos que se dividen principalmente en dos texturas: Arenoso Franco y Franco Arenoso. Los primeros presentan una susceptibilidad extrema (FE: 63%). Los Franco Arenosos (FE: 46%) presentan alto riesgo, pero mayor proximidad al umbral crítico de 40%. Comparando los datos empíricos con ecuaciones predictivas demostramos que es necesario el ajuste local de dichas ecuaciones. En los suelos de Patagones la cobertura superficial y toda práctica que la promueva, es la herramienta más valiosa para evitar la erosión.

Palabras clave: Erosión Eólica, Patagones, Degradación irreversible.

INTRODUCCIÓN

La erosión eólica (EE) de los suelos es un proceso de degradación que reviste magnitudes catastróficas en las regiones áridas y semiáridas del mundo (Lal, 2001). En la Argentina, el área ocupada por regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que representa el 75% de la superficie total del país (Abraham *et al.*, 2011), se encuentra seriamente amenazada por la recurrencia de procesos erosivos que conducen a la pérdida del recurso natural. El cambio de uso y cobertura del suelo, asociado a la intensificación productiva, sumado a la variabilidad interanual en las precipitaciones en estas regiones, son factores que determinan un aumento de la susceptibilidad a la EE.

La EE degrada los suelos en forma irreversible, modifica la humificación y disminuye la tasa de acumulación de materia orgánica. Además del efecto negativo sobre el suelo, el polvo fino contiene cantidades desproporcionadas de nutrientes y contaminantes, contribuye al cambio climático global. Por otro lado, el polvo en suspensión puede generar accidentes mortales por visibilidad reducida en rutas (Visser *et al.*, 2005). El partido de Patagones se emplazó sobre una región naturalmente arbustiva (Monte) con la predominancia de especies leñosas como alpataco (*Prosopis alpataco*), chañar (*Geoffroea decorticans*) y piquillín (*Condalia microphylla*) que se encontraba en equilibrio con la alta erosividad climática y la fragilidad de los suelos. Estos presentan escaso desarrollo y textura gruesa, buen drenaje y mediana provisión de materia orgánica (MO) y nutrientes (Abraham *et al.*, 2011). El cambio de uso del suelo con eliminación de vegetación nativa



y la utilización de prácticas extrapoladas de zonas húmedas y menos frágiles, desencadenaron procesos de degradación de diversa magnitud, principalmente durante periodos de sequía, haciendo más complejo el abordaje de la problemática.

El objetivo de este trabajo fue analizar Fracción Erodible (FE) y la Estabilidad Estructural en Seco (EES) como indicadores de la susceptibilidad a la erosión eólica, correlacionando dichos valores con distintos parámetros edáficos como textura y contenido de materia orgánica con el fin de diferenciar dominios edáficos que requieran diferentes manejos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el partido de Patagones ubicado en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). El clima es de tipo semiárido, mesotermal sin ningún exceso de agua según Thornthwaite y árido estepario según Köeppen (Sanchez *et al.*, 1998). Los suelos predominantes son Aridisoles, Entisoles y Haplustoles (Abraham *et al.*, 2011). Se seleccionaron 15 sitios con pares de suelos con diferentes dominios edáficos en función de la carta de suelo. Cada sitio estuvo compuesto por un par de pedones adyacentes sometidos a manejos contrastantes. Por un lado, suelos cultivados con labranza convencional, generalmente rastra de disco (LAB). La rotación predominante de la región es: Trigo / Potrero / Trigo. Por el otro, suelos sin cultivar, los cuales estaban ubicados en el ecosistema caracterizado por la presencia de un estrato arbustivo de monte en condición de mínimo disturbio (MON). En cada tratamiento se seleccionaron, al azar, tres áreas de 10 m². Dichas áreas fueron consideradas réplicas. En cada una de ellas se extrajeron muestras sin disturbar de los primeros 2,5 cm. Las mismas se almacenaron en bandejas de plástico. Una vez secas al aire fueron fragmentadas y tamizadas con un tamiz rotativo (Silenzi, 1990).

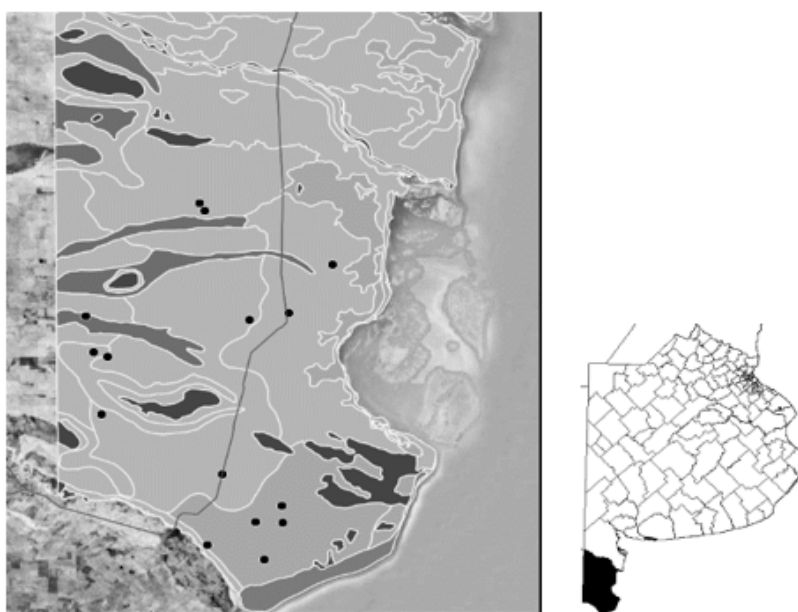


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Los puntos representan los sitios de muestreo. Los polígonos de diferente color representan unidades cartográficas del mapa de suelos en escala 1:50.000

La proporción de partículas menores a 0,84 mm, que representan la fracción erosionable por el viento (FE) fue calculada utilizando la siguiente expresión (Ecuación 1)

$$FE = \frac{A_{<0,84}}{TA}$$

[1]

Donde FE es la fracción erosionable por el viento [%], $A < 0,84$ es el peso [g] de los agregados menores a 0,84 mm, y TA es el peso total de la muestra [g]. También se determinó la estabilidad estructural en seco mediante un segundo tamizado de la muestra (Colazo *et al.*, 2010) (Ecuación 2)

$$EES = \left[1 - \frac{A < 0,84_2}{A > 0,84_1} \right] \times 100 \quad [2]$$

$A < 0,84_2$ [g] es el peso de los agregados que pasaron a través de la malla de 0,84 mm luego de un segundo tamizado, y $A > 0,84_1$ [g] es el peso de los agregados retenidos por la malla de 0,84 mm durante el primer tamizado.

Junto con las muestras sin disturbar se tomaron muestras con barreno de los primeros 20 cm. Estas fueron secadas al aire y tamizadas a través de una malla de 2 mm. En ellas se determinó textura por el método combinado de la pipeta y el tamizado en húmedo (Gee y Or, 2002) y el contenido de carbono orgánico por medio de la oxidación en húmedo (Nelson y Sommer, 1996). Los valores de FE y ESS se relacionaron con estos últimos parámetros para la elaboración y ajuste de índices de erodabilidad potencial en función del modelo EWEQ (Panebianco y Buschiazzo, 2008). Los efectos medios de los tratamientos en FE y EES fueron analizados como ANOVA doble, con dominio edáfico y manejo como factores principales siguiendo la metodología propuesta por Colazo *et al.* (2010). En caso de existir diferencias se utilizó la prueba LSD de comparación de medias. Las relaciones entre FE y las propiedades de suelo fueron estudiadas mediante un análisis de correlación lineal. La bondad de ajuste entre la FE observada y la estimada por modelos fue analizada mediante regresión lineal. Todos los análisis fueron realizados utilizando el software Infostat con un nivel de significación del 5% (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fracción erodible y manejo

Los dominios edáficos del partido de Patagones están representados por dos clases texturales predominantes en los primeros 20 cm de perfil de suelo: Franco Arenoso (FrA) y Arenoso Franco (AFr). El 83,3% de los suelos LAB y el 91,6 % de los MON arrojaron valores de FE superiores al umbral crítico de 40%, valor a partir del cual los suelos se consideran desprovistos de las fuerzas de resistencia que actúan evitando el proceso erosivo (Tatarko, 2001), siendo los FrA los más cercanos a dicho umbral. En LAB el promedio de FE para FrA fue de 46% mientras que para AFr fue de 63%. Estos resultados coinciden con los hallados por de Dios Herreiro *et al.* (2013) en suelos de igual textura en la provincia de San Luis.

Se encontraron diferencias significativas entre clases texturales ($p < 0,05$) pero no hubo diferencias entre manejos ($p > 0,05$). De cualquier forma, en AFr se observa una tendencia al aumento de FE en los suelos LAB mientras que en suelos FrA el manejo no genera diferencia en la FE (Figura 1a). Resultados contrarios observaron Colazo *et al.* (2010) cuando separaron los suelos de La Pampa en grupos, donde los de textura media presentaron diferencias entre manejos y no así los de textura gruesa. Aunque esto puede deberse a que dichos autores agruparon los suelos con diferente criterio y los de textura gruesa presentaban más de 80% de arena total. No existió interacción sitio-manejo. La EES también presentó diferencias significativas entre texturas ($p < 0,05$) sin diferir significativamente entre manejos ($p > 0,05$) (Figura 1b).



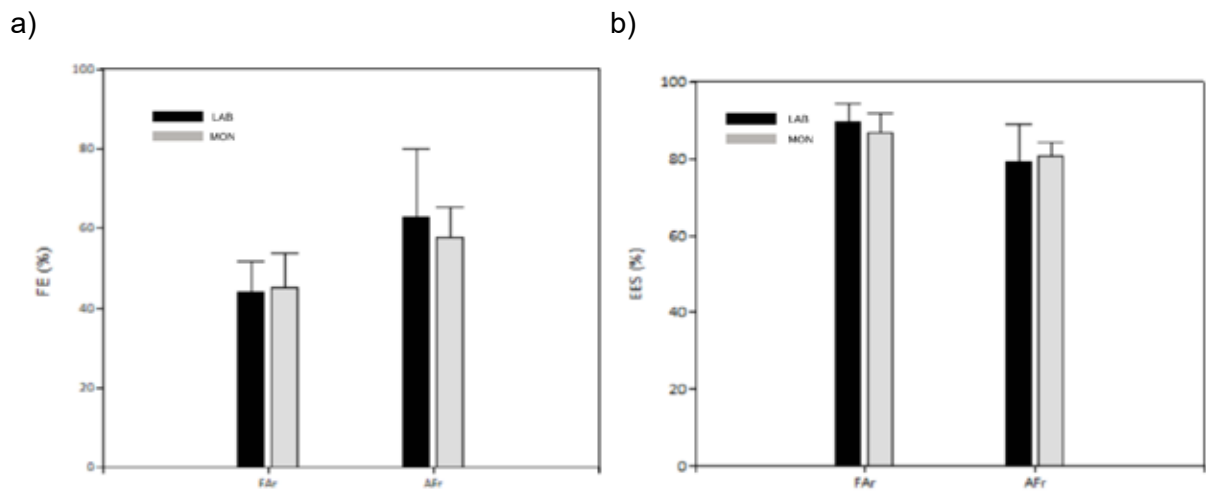


Figura 2. A) Fracción erodible (FE) y B) Estabilidad Estructural en seco (EES) en función de dos manejos, suelos cultivados (LAB) y con mínimo disturbio (MON) agrupados en función de dos clases texturales: Franco arenosos (FrA) y Arenosos franco (AFr). Las barras verticales indican el desvío estándar (n=78).

En este caso los suelos AFR son los que demuestran menor resistencia ante el disturbio (EES=80%) y los FrA un valor promedio de EES igual a 88%. Todos los suelos evaluados presentaron alto riesgo de erosión eólica. Si a esto se le suma la alta erosividad climática de la región (Abraham et al., 2011), se vuelve determinante y excluyente la presencia de cobertura vegetal para evitar la pérdida de suelo. Los suelos AFR presentan un riesgo de erosión extrema (FE promedio: 63%) con lo cual, deben mantenerse obligatoriamente bajo vegetación perenne, ya sea nativa o implantada y coberturas superiores al 40% si tomamos como referencia la EWEQ y una tolerancia de pérdida de 10 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Los suelos FrA podrían adecuarse, según cada caso, a manejos agrícolas conservacionistas o de siembra directa. Aunque para afirmarlo serían necesarios más estudios específicos. Cualquier manejo inadecuado de los suelos FrA puede derivar en pérdida de fracciones finas con la consiguiente transformación en suelos AFR (Buschiazzi y Taylor, 1993).

Relación entre la fracción erosionable y las propiedades de suelo.

La Tabla 1 muestra la correlación lineal entre la FE y las propiedades o índices de suelos medidos para cada manejo. Se observa que la FE está relacionada con la mayoría de las variables seleccionadas. Las asociaciones más fuertes se producen entre los componentes de la textura, principalmente con el contenido de arena. No existe una mejor asociación al combinar el contenido de arena con la arcilla a diferencia de otros estudios (Lopez et al., 2007; Colazo et al., 2010).

Tabla 1. Correlación lineal (Pearson) entre la fracción erodible y parámetros edáficos en suelos cultivados (LAB) y con mínimo disturbio (MON). MO = Materia orgánica, L+A = Limo + Arcilla, AMG = Arena muy gruesa, AG = Arena gruesa, AF = Arena fina, AMF = Arena muy fina.

	LAB	MON
MO	-0,37	-0,38
Arena	0,69	0,71
Limo	-0,48	-0,72
Arcilla	-0,57	-0,51
Arena/Arcilla	0,67	0,58
MO/L+A	0,6	0,31
AMG	-0,53	-0,33
AG	-0,16	-0,10
AM	0,69	0,46
AF	0,54	0,59
AMF	-0,04	0,42

Esto nos demuestra que en los suelos de Patagones la variable que más influye en la susceptibilidad a la erosión eólica es el contenido de arena total de los mismos. Por lo tanto, con la realización de análisis de textura con el método del hidrómetro (Bouyoucos) que es más simple y económico que el de la Pipeta (Gee y Or, 2002), se podría diagnosticar y diferenciar dominios edáficos con susceptibilidades a la erosión que requieren manejos distintos.

Ajuste de datos observados y predichos.

La figura 2 muestra el ajuste entre fracción erodible observada (FE_o) y la estimada (FE_e) mediante el modelo de predicción EWEQ y la propuesta por de Dios Herrero et al. (2013) para los suelos de San Luis (SL). Se observa que la EWEQ subestima la FE en suelos con menos de 60% de arena, mientras que SL sobrestima con menos de 50% de arena. Estos resultados han sido previamente reportados por Rojas et al. (2013) en suelos de Chaco y demuestran la importancia de calibrar los modelos de predicción en función de los suelos.

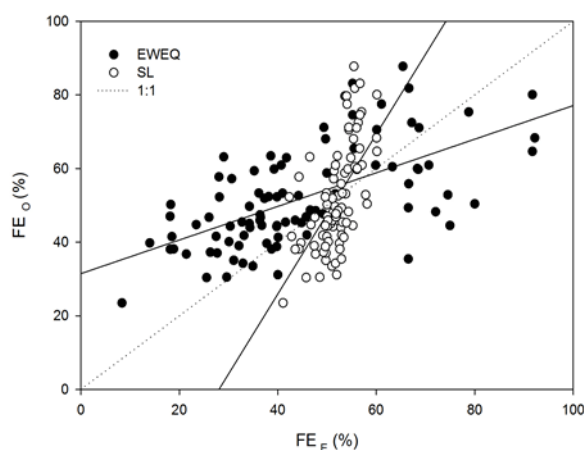


Figura 2. Fracción erodible observada (FE_o) en función de la fracción erodible estimada (FE_e) según el modelo EWEQ y la función propuesta por de Dios Herrero et al. (2013, SL).

CONCLUSIONES

El partido de Patagones presenta naturalmente una alta susceptibilidad a la erosión eólica con valores altos de FE tanto en Monte como en Labranza. El laboreo de los suelos no aumenta significativamente la suscepti-



bilidad a la erosión respecto a la situación prístina, pero si los deja expuestos a la acción del viento debido a la remoción de la cobertura superficial. La cobertura superficial es el recurso fundamental y más importante para evitar la erosión eólica. En dichos suelos, el contenido de arena total es el principal determinante de la susceptibilidad y dicho factor podría ser utilizado para caracterizar y clasificar suelos que requieran distinto manejo utilizando métodos simples de análisis de textura. Las ecuaciones para predecir la erosión eólica requieren de ajustes locales que representen las variaciones de los distintos tipos de suelos de cada región.

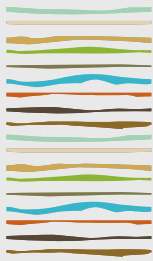
AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo con el financiamiento de INTA. Agradecemos a Andrés Grand y Guillermo Gonzales de la agencia de extensión Patagones de INTA por su predisposición y colaboración en los muestreos. También a Conservación de Suelos UNS por permitir el uso del Tamiz Rotativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, M.E., Corso, ML y Maccagno, P. 2011. Tierras secas y desertificación en Argentina. En "Evaluación de la desertificación en la Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO". Capítulo 1. 13-65.
- Buschiazzo, D.E. y V. Taylor. 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 10-11: 46-53.
- Colazo, J.C. y D.E. Buschiazzo. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, Volume 159, Pages 228-236,
- de Dios Herrero J.M., J.C. Colazo & D.E. Buschiazzo. 2013. Estimación de la fracción erosionable por el viento en suelos de la provincia de San Luis. En: *Actas de las Jornadas Argentinas de Conservación de Suelos, Buenos Aires*. (En CD).
- Di Rienzo, JA; F. Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2017. *InfoStat v. 2017*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gee, G.W. and Or, D. (2002) Particle Size Analysis. In: Dane, J.H. and Topp, G.C., Eds., *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*, Soils Science Society of America, Book Series No. 5, Madison, 255-293.
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degrad. Dev.* 12 (6), 519–539
- López, M.V., de Dios Herrero, J.M., Hevia, G.G., Gracia, R., Buschiazzo, D.E., 2007. Determination of the wind-erodible fraction of soil using different methodology. *Geoderma* 139, 407–411.
- Nelson, DS & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: DL Sparks (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3*. Pp 961-1010.
- Panebianco J.E. & D.E. Buschiazzo. 2008b. EWEQ (Versión en español de la Wind Erosion Equation). Expediente INPI N° 700982.
- Rojas, J.M.; D.E. Buschiazzo; O.E.A. Arce. 2013. Parámetros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del chaco. *Ciencia del Suelo*. 133-142
- Sanchez, R.M.; Pezzola, N.A. y J.V. Cepeda. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia de la EEA INTA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones. Pcia. Buenos Aires. 56p.
- Silenzi, J.C., Marrón, G.R. y Puricelli, C.A. 1990. Modelo simplificado de tamiz rotatorio para determinar el índice de erosionabilidad eólica de los suelos. *Ciencia del Suelo*. Volumen 8
- Tatarko, J. 2001. Soil Aggregation and Wind Erosion: Processes and Measurements. *Annals of Arid Zone*. 251-263
- Visser, S.M., Stroosnijder, L., Chardon, W.J., 2005. Nutrient losses by wind and water, measurements and modelling. *Catena* 63, 1–22.





CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO BAJO CAMPO NATURAL Y MEJORAMIENTOS DEGRADADOS EN EL LARGO PLAZO

Rogel, L^{1*}, L. Salvo², M.V. Pravia¹

^{1*}Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA Treinta y Tres, Ruta 8, Km 281, Treinta y Tres, Uruguay. letyroguar@gmail.com

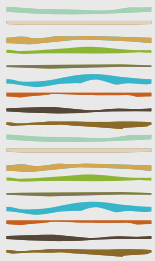
² Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay.

RESUMEN

La siembra de leguminosas sobre campo natural con fertilización fosfatada, es una actividad habitual de manejo para aumentar la productividad de forraje en sistemas ganaderos. Asociado a este aumento de productividad, y a que las especies de leguminosas son fijadoras de nitrógeno atmosférico en asociación con rhizobium, se espera que haya también un mayor nivel de carbono (C) y de nitrógeno (N) aportados al suelo. De acuerdo con el manejo, en el largo plazo, estos cambios pueden llevar a desplazar las especies nativas y dar lugar a la invasión de especies exóticas como *Cynodon dactylon*. Estos cambios en productividad y especies que conforman el tapiz pueden generar cambios en el stock de C y N y su distribución por profundidad y en las fracciones físicas de la materia orgánica del suelo (MOS). El objetivo general fue comparar el almacenaje de C orgánico del suelo (COS) y N luego de 24 años de instalado un mejoramiento de campo con siembra de leguminosas y diferentes dosis de fertilización fosfatada, que actualmente se encuentra degradado, respecto al campo natural. Se utilizó un experimento instalado en el año 1996 en INIA Treinta y Tres, con un diseño experimental es de cinco bloques con tres tratamientos por bloque: A) Campo Natural (CN), B) Campo natural mejorado con siembra de leguminosas el primer año y una fertilización anual de 30 Kg P₂O₅ ha⁻¹ y C) Campo natural mejorado con siembra de leguminosas el primer año y una fertilización anual de 60 Kg P₂O₅ ha⁻¹. En el año 2020 se realizó un muestreo de suelo de los estratos de 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm de profundidad, a los cuales se les determinó la densidad aparente, el contenido y stock de COS y N y su distribución en dos fracciones físicas de la MOS: la materia orgánica particulada (MOP) > 53 micras, y la materia orgánica asociada a la fracción mineral del suelo (MOAM) < 53 micras. Los cálculos de stock se realizaron por profundidad fija. De 0 a 30 cm el suelo bajo CN tuvo un stock de COS de 62,3 Mg ha⁻¹, significativamente mayor que el promedio de los mejoramientos de campo, con 49,2 Mg ha⁻¹. No se observaron diferencias significativas entre los mejoramientos de campo con diferentes niveles de fertilización. Las fracciones de la MOS siguieron la misma tendencia, siendo el stock C-MOP 14,0 Mg ha⁻¹ en el CN vs 10,6 Mg ha⁻¹ y el stock C-MOAM en el CN de 48,3 Mg ha⁻¹ vs 38,6 Mg ha⁻¹ en los mejoramientos. El contenido de COS total y de las fracciones, medido en porcentaje mostró los mismos resultados, así como también en los stocks de N total y sus fracciones. Los principales cambios se observaron en los primeros 5 cm del suelo, donde el CN tuvo mayor %C, stock de C-MOP y C-MOAM que los mejoramientos de campo. Estos resultados observados en el largo plazo permitieron constatar que la degradación del tapiz provocó pérdidas en los contenidos y en el almacenaje de COS y N del suelo.

Palabras clave: leguminosas, fósforo, degradación.





IMPACTO DE SECUENCIAS CON CENTENO Y VICIA EN EL CARBONO DEL SUELO

Rojas, J.M.^{1*}, L.S. Czyruk ^{1,2*}, M.F. Roldán ^{1,2}, M.B. Burdyn ²

¹ EEA INTA Sáenz Peña;

² Universidad Nacional del Chaco Austral;

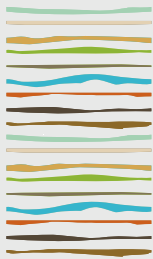
* Ruta Provincial 95, km 1108, (3700) Roque Sáenz Peña, Prov. de Chaco, rojas.julieta@inta.gob.ar

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) son una alternativa de manejo cada vez más conveniente frente al barbecho químico para mantener el suelo cubierto en el período otoño-invernal, aportar materia orgánica al sistema, proteger al suelo de la erosión y reducir el uso de herbicidas. A partir de una encuesta realizada a productores de la región, se inició en 2016 la evaluación del impacto de los cultivos de vicia y centeno sobre el suelo, las malezas y los cultivos de renta (CR) principales (soja, maíz, algodón). Ambos CC fueron sembrados en dos fechas (temprana (F1) y tardía (F2)); el centeno en densidad de siembra baja (40 kg/ha, DB) y alta (55 kg/ha, DA), y vicia con (I) y sin inoculación (SI). El presente trabajo tuvo como objetivo determinar si los CC o las secuencias CC/CR aumentaron en el corto plazo el stock de carbono (SC) del suelo y si existe una relación entre la biomasa producida por los CC y/o el carbono orgánico particulado (COP). Se calculó el SC para los CC y las secuencias con CR para una masa equivalente de suelo de 3530 t/ha. Se halló que algodón sobre centeno y vicia presentó mayor SC que sobre barbecho (entre 4 y 5 t C/ha) y maíz sobre centeno y sobre barbecho aportó más carbono que sobre vicia (de 2 a 3 t C/ha). Respecto a las secuencias, los valores más altos de SC lo presentaron algodón/centeno F1 DA (50 t C/ha) y maíz/centeno F2 DA (49,2 t C/ha), mientras que los menores se determinaron en las secuencias maíz/vicia SI F2 (42,1 t C/ha) y soja/vicia I F1 (41,9 t C/ha). Respecto al COP, las secuencias que más aportaron fueron algodón/vicia y maíz/vicia en F1 y F2, y soja/centeno F2, por otra parte, las que menos aportaron fueron maíz/barbecho, soja/centeno, soja/vicia I F1 y soja/barbecho. Se determinó mayor contenido de COP en algodón (0,48%) seguido de maíz (0,44%) y soja (0,43%), siendo las diferencias significativas entre soja y algodón ($p=0,05$). El CC que mayor biomasa aportó fue el centeno F1 para las dos densidades de siembra (7030 y 6690 kg MS/ha). El barbecho evaluado a través de la biomasa aportada por las malezas produjo la menor biomasa (promedio de 664 kg MS/ha). Vicia F2 presentó la menor biomasa tanto SI (2047 kg MS/ha) como I (1867 kg MS/ha). Se halló una tendencia lineal positiva entre aporte de biomasa y COP con el aumento del SC en el suelo, pero no fue suficiente para ajustar un modelo. Los datos muestran la importancia de planificar las secuencias con CC en función del objetivo principal de manejo ya que en solo dos años una secuencia puede definir el resultado hacia una mayor acumulación de COP. En todas las secuencias evaluadas los CC implican una ganancia frente al barbecho convencional. Por lo tanto, teniendo en cuenta el costo ambiental y económico que significa mantener un barbecho sin malezas, sin duda los CC con una elección específica de secuencias son una práctica superadora.

Palabras clave: cultivos de cobertura, biomasa, carbono particulado.





TOMOGRAFIA DE RESISTIVIDAD ELECTRICA APLICADA A LA INFILTRACION EN SUELOS AGRIETADOS

Romay, C.^{1*}, B.N. Losinno^{1*}, F. Lemeillet^{1*}

^{1*} Facultad de Agronomía UBA;

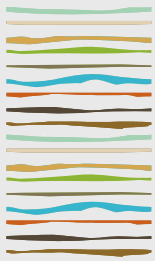
* Av. San Martín 4453 – C1417DSE – CABA, Prov. de Buenos Aires, romay@agro.uba.ar

RESUMEN

Los suelos en general presentan diferentes heterogeneidades tales como fisuras, grietas, fracturas, y macro poros de origen biótico. Dichas heterogeneidades afectan significativamente el movimiento del agua y de solutos en el suelo, originando flujos de velocidades no uniformes y variables espacialmente; a estos flujos se los llama preferenciales. En particular, los suelos de texturas finas, que se contraen y se hinchan ante ciclos de secado y humedecimiento, originan la formación de grietas. En estos suelos al recibir precipitación y/o riego se lleva a cabo un proceso de infiltración lenta y en su mayoría presentan escurrimiento superficial. Sin embargo la presencia de grietas a menudo disminuye ese escurrimiento al aumentar la tasa de infiltración total, y por ende aumenta el contenido de agua que ingresa en el perfil del suelo. Al haber una disminución del escurrimiento superficial, afecta en gran medida la eficiencia del riego. Por otro lado, la infiltración en las grietas se asocia con el transporte acelerado de solutos, llegando a mayores profundidades del perfil, presentando altos riesgos de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, como así también la percolación de los nutrientes por debajo del sistema de raíz de los cultivos agrícolas. El objetivo fue caracterizar el movimiento del agua de un suelo agrietado, mediante tomografía de resistividad eléctrica (TRE) y de sensores de humedad. Se armó una maceta tipo cantero, con suelo de textura franco arcillo limosa (35% arcilla), cuya densidad aparente y porosidad se determinó como 0.95 g/cm³ y 65% respectivamente y cuya tasa de infiltración básica se estableció en 0,57 mm/h. Se instalaron cinco sensores de humedad (Decagon PN EC-5) en lugares estratégicos de la maceta, registrando la variación continua de la humedad del suelo. Se inundó la maceta y una vez alcanzado el contenido hídrico a capacidad de campo (CC), se la sometió a procesos de humedecimiento y secado con el objetivo de generar grietas. Una vez lograda las grietas se comenzaron los ensayos (TRE, bajo lluvia simulada). Se utilizó la TRE, ya que detecta la presencia de grietas, debido a la alta resistividad que presentan, al actuar como barreras para la circulación de partículas cargadas. Se utilizó un dispositivo a pequeña escala (electrodos) conectados a una resistivímetro (Saris) que proporciona información acerca de la variación de la resistividad eléctrica, caracterizando el perfil, a través de modelos. Para la lluvia simulada se usó agua con bromuro de potasio (BrK), para resaltar los contrastes de resistividad (inversa de la conductividad) del agua infiltrada respecto de la matriz de suelo. Los resultados mostraron que el flujo que infiltra lateralmente puede ser substancial. La dinámica de los registros de los sensores de humedad, arrojaron que hay flujo de infiltración vertical, tanto como lateral (que se condice con lo que se visualiza en los modelos de TRE) y se refuerza con el hecho de que la percolación producida fue menor a la esperada.

Palabras clave: grietas, flujo preferencial, TRE.





USOS DE LA TIERRA QUE PERMITEN SOSTENER EROSIÓN TOLERABLE EN UNA CUENCA DE PAMPA ONDULADA

Romo, S.M.¹, S. Vangeli ^{1,2}, F.B. Kraemer ^{1,3}, C.I. Chagas¹

¹ Manejo y Conservación de Suelos, FAUBA;

² Instituto de Clima y Agua, INTA/CONICET,

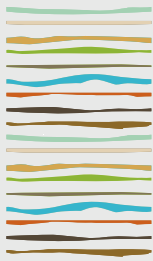
³CONICET, sromo@agro.uba.ar

RESUMEN

La erosión hídrica es un proceso de degradación importante en Argentina. No obstante, la susceptibilidad de las tierras a sufrir este proceso a menudo no es tenida en cuenta al planificar el uso del territorio. El objetivo de este trabajo fue determinar qué usos de la tierra permiten sostener niveles de erosión tolerables en los distintos sectores de una cuenca agropecuaria de 865 km² ubicada en el sector NE de Buenos Aires (Pampa Ondulada). Adicionalmente, se estimó la erosión actual para determinar en qué sectores de la cuenca la erosión actual superaba la tolerancia. Para ello, se integraron en un Sistema de Información Geográfica distintas capas de datos para estimar la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, que estima la erosión a partir de parámetros fácilmente disponibles en tierras agropecuarias de esta región. En una primera instancia, se obtuvo un mapa de riesgo de erosión potencial de toda la cuenca cruzando datos climáticos, topográficos y edáficos. A partir de la erosión potencial, se realizaron mapas de erosión actual para algunos de los principales usos de la tierra en esta región. Los usos evaluados, en orden creciente de protección del suelo, fueron: soja continua bajo labranza convencional (LC), soja continua en siembra directa (SD), soja-maíz SD, trigo-soja de segunda SD, Pastura y Campo Natural. Esto permitió determinar en qué sectores de la cuenca era posible realizar cada uso de la tierra sin superar la tolerancia. Luego, se generaron dos mapas continuos en los que se determinó el uso de la tierra menos conservacionista que se podría realizar en cada porción de la cuenca sin superar las 6 T ha⁻¹ año⁻¹ y 12 T ha⁻¹ año⁻¹ de erosión hídrica respectivamente. Por último, se estimó para toda la cuenca la erosión actual a partir de los usos de la tierra de la última década (2010-2020), y se los compararon con el umbral de tolerancia definido, para delimitar aquellos sectores de la cuenca en los que la erosión hídrica actual estaría superando los niveles tolerables. Para determinar el factor C se utilizó una ecuación que relaciona dicho factor C con el NDVI obtenido a partir del sensor MODIS. Los resultados obtenidos indican que solamente un 15,7% de la superficie de la cuenca tiene erosión actual mayor a 6 T ha⁻¹ año⁻¹. Para esas tierras, sugerimos usos alternativos más conservacionistas en función de la erosión potencial. Se espera que los productos generados, de fácil interpretación, puedan contribuir a la integración de la conservación del suelo en la planificación sustentable del uso del territorio.

Palabras clave: conservación del suelo, USLE, cuenca.





ANÁLISIS DE LA HETEROGENEIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOS-HIDROLÓGICOS DEL SUELO EN DISTINTOS CULTIVOS DEL SUDESTE BONAERENSE

Ronco, J.L.¹, P.A. Barbieri¹, F. Covacevich², M. Puricelli^{1,*}

¹Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS; CONICET-INTA),

²Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología (INBIOTEC)

* IPADS, Ruta 226 Km 73,5 (7620), Balcarce, Prov. de Buenos Aires, puricelli.marino@inta.gov.ar

RESUMEN

En monocultivo de soja (Monocultivo) es una práctica agrícola reduccionista que ha mostrado, disminuir las tasas de nutrientes esenciales, afectado la biodiversidad edáfica y degradado la estructura del suelo. Una estructura empobrecida, resulta en menor capacidad del suelo de capturar y/o almacenar agua. Investigaciones en el sudeste bonaerense (SEB) indican que la intensificación de cultivos (IC), con la inclusión de cultivos de cobertura (Cobertura) y cultivos variados como trigo y maíz (Rotación) reducen estos impactos. No obstante, la respuesta físico-hidrológica en diferentes IC no es divulgada debido a la heterogeneidad espacial de estos parámetros. Nuestro objetivo fue en un ensayo de larga duración con IC contrastantes (Monocultivo, Cobertura y Rotación) localizado en SEB, determinar la infiltración acumulada (F), analizar su variabilidad espacial y validar la homogeneización de F con método de escalado. Para ello se llevaron a cabo ensayos de infiltración a campo (anillo simple). F fue calculada mediante el modelo de Philips, que considera las condiciones físico-hidrológicas de suelo mediante la estimación de conductividad hidráulica (K) y sortividad (Sp). Luego mediante la generación de factores de escala, se obtuvieron nuevos valores de F* (infiltración acumulada escalada). De manera preliminar, los resultados muestran que los valores de Sp (estadios iniciales de la infiltración), tanto en Cobertura como Rotación fue mayor que en Monocultivo, probablemente relacionado a elevados niveles de compuestos orgánicos. En Cultivo Cobertura y Rotación F* evidencio ser mayor que en Monocultivo, lo que se sugiere responde a una mejor porosidad efectiva y agregación del suelo. Este análisis muestra no solo la validez y la utilidad práctica de la aplicación de factores de escala, sino también la sensibilidad de la determinación de la F para diagnosticar el estado físico-hidrológico en suelos agrícolas.

Palabras clave: infiltración, variabilidad espacial, escalado

INTRODUCCION

En áreas agrícolas la calidad del suelo ha disminuido como resultado de manejos de cultivos reduccionistas como lo es el monocultivo soja (Sj) (*Glycine max L.*). Estudios, particularmente en el sudeste bonaerense, muestran que este manejo provoca detrimento del, entre otros, contenido de la materia orgánica del suelo (MO) expresado en disminuciones del carbono orgánico (CO) (Martínez et al. 2019). El CO tiene influencia directa en el grado de agregación de las partículas del suelo, en su estabilidad (Six et al. 2004; Novelli et al. 2011) y así en la calidad física en superficie (Martínez et al. 2020; Crespo et al. 2021). Frente a este escenario, es primordial la inclusión de una mayor intensificación de cultivos (IC) que incrementen/sostengan las tasas de CO (Caviglia y Andrade, 2010) por tanto la agregación del suelo, la porosidad, las tasas de infiltración acumulada (F) (Felton et al.1995).

El comportamiento físico e hidrológico en suelos agrícolas se determina a través de F (Rezaei et al. 2016, Chari et al. 2020), cuyo comportamiento y distribución espacial está afectada por las micro y macro va-



riaciones de la capa superior del suelo (Soracco et al. 2019). Esta heterogeneidad, dificulta en ocasiones la interpretación y uso de F como diagnóstico de salud edáfica a pesar de su sensibilidad y mínimo costo económico. En consideración a esta variabilidad espacial, Miller y Miller (1956) introdujeron el concepto de escalado (*scaling*, en inglés) basado en la teoría de que dos medios porosos heterogéneos serán similares si se los convierte en modelos geoméricamente escalados entre ellos, a través de factores de escala. Desde entonces el escalado se ha convertido en un método para expresar la variabilidad espacial en términos de un único parámetro de base física (Warric, et al. 1977, Youngs and Price 1981, Ahuja et al. 1984, Ahuja and Nielsen, 1990, Das et al. 2005, Chari et al. 2020, entre otros). En efecto, el objetivo de este trabajo es evaluar la efectividad del escalado y la homogeneización de F estimada a partir de la ecuación desarrollada por Philip (1957). Esta ecuación considera la capacidad de absorción del medio poroso mediante la estimación de la conductividad hidráulica (K) y sortividad (S) en función del tiempo (t). Se plantea comprobar la sensibilidad de la F para distintos regímenes de cultivo (Monocultivo de soja, Cultivo Cobertura y Rotación) en respuesta al impacto en las características físico-hidrológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de los parámetros edáficos se realizó en un ensayo de larga duración (iniciado en 2006), con un diseño en tres bloques completos aleatorizados localizado en Balcarce, en un suelo Argiudol típico (textura franca y materia orgánica (MO) de 0-20 cm de 4 g/kg) (Soil Survey Staff, 2014) correspondiente a la serie Mar del Plata (INTA, 1979). Los tratamientos contrastados en el estudio, bajo siembra directa, son: (i) Monocultivo de soja (ii) Cobertura, cultivo cobertura (avena, *Avena Bizantina*) seguido por soja (iii) Rotación, rotación de soja seguido de cultivo cobertura, maíz (*Zea mays*) y trigo (*Triticum aestivum*).

Los ensayos de infiltración se condujeron a campo en invierno del 2021 (pre-siembra del cultivo cobertura), con una alta densidad de muestreo (n= 21) en cada parcela (5 x 15 mt) para cada régimen de cultivo. La F se determinó con el método del anillo simple (20 cm diámetro, 15 cm altura), el cual es introducido en los primeros 5 cm del perfil de suelo, sobre el que se invierte una botella de Mariotte enrasada con agua y graduada en su cara externa lo que permite determinar la lámina de agua infiltrada. Las lecturas se realizaron durante 1 min en los primeros 5 min y posteriormente cada 5 min, en total por el transcurso de 1 hora. La F se calculó con la ecuación de Philips (1957), definida como: $F = Sp^*t^{1/2} + K^*t$. La S y la K, de relevancia físico-hidrológica para el perfil de suelo, se estimaron de acuerdo a la técnica de mínimos cuadrados (Dingman 2002). Aquellos ensayos en los que Sp y/o K resultaron ser menores o iguales a cero fueron omitidos. La humedad del suelo (0-15 cm) se determinó en todos los casos.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa R-Studio 4.1.1. Una asimetría fue detectada en los residuales en los modelos de Sp y K, por lo que las variables fueron transformadas a través de Box y Cox y raíz cuadrada, respectivamente.

El escalado, buscando minimizar la heterogeneidad espacial de los parámetros analizados, se basó en lo propuesto por Sharma et al. (1980) con las sugerencias de Chari et al. (2020). En este sentido, cada uno de los ensayos de infiltración fueron analizados según el concepto de medias similares en un medio heterogéneo, de lo que se obtiene los factores de escala que permiten generar valores nuevos para los parámetros del modelo de Philip, (Sp* y K*, sortividad escalada y conductividad hidráulica escalada, respectivamente) y así una nueva tasa de infiltración escalada (F*).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Sp es entendida como la tendencia del suelo de absorber y transmitir agua por capilaridad (Philips, 1957) caracterizando los primeros estadios de la infiltración, así el análisis global de los parámetros físicos evidencio que la Sp es significativamente mayor en Monocultivo con respecto a Cultivo Cobertura y Rotación (Tabla1), quienes no mostraron diferencias significativas entre sí. La reducción inicial del ingreso del agua al perfil encontrada en Cultivo Cobertura y Rotación podría deberse a la presencia de sustancias hidrofóbicas relacionadas a la MO y a una mayor actividad de microorganismos, lo que ha sido confirmado en estudios previos para este ensayo (Commatteo et al. 2019, Crespo et al. 2021, Fernandez Gnecco et al. 2021). En esta



línea se ha encontrado que valores de hidrofobicidad altos y dispersos en la superficie, podrían enmascarar el potencial mátrico del suelo aumentando la variabilidad de la infiltración (Vogelmann et al. 2017). La Kt no mostró diferencias significativas entre regímenes de cultivo, respondiendo probablemente a la homogeneidad textural entre parcelas.

Los valores de la F* (escalados) y F (originales, no escalados), en función del tiempo se exponen en el Gráficos 1, 2 y 3. Los resultados escalados (Grafico 1a, 2a y 3a) muestran el aumento en la coalescencia de los valores de infiltración (eliminación de la heterogeneidad espacial) con respecto a los valores originales (Grafico 1b, 2b, 3b). El análisis producto del escalado de la infiltración acumulada sugieren, preliminarmente, un comportamiento diferencial entre el Monocultivo con respecto al Cultivo Cobertura y Rotación. Para el Monocultivo (Grafico 1a) puede deducirse que la mayor acumulación de infiltración escalada, (F*) es en promedio 70 mm luego 60 min transcurridos (tiempo escalado), mientras que la mayor F* para Cultivo de Cobertura (Grafico 2a) y Rotación (Grafico 3a) fue en promedio de 50 mm a los 50 min y de 25 mm en los primeros 20 min, respectivamente. Estos resultados sugieren un detrimento de las calidades físicas de suelo en Monocultivo provocando una disminución de la infiltración acumulada total, probablemente debidos a una disminución de la porosidad efectiva y aumento de la compactación (piso de arado) (Martinez et al. 2020). En congruencia, la reducción inicial del ingreso del agua al perfil (Sp) encontrados en los regímenes Cultivo Cobertura y Rotación (Tabla 1) podrían ser indicativos de una mejor y más estable agregación del suelo. Una Sp menor minimizaría el escape violento de aire dentro del agregado evitando la desagregación, la dispersión de partículas finas y el consecuente sellado de poros (Le Bissonnais 1996, Kinell 2005), aumentando finalmente la infiltración acumulada total en comparación con el Monocultivo.

CONCLUSIONES

Los resultados expuestos demuestran el éxito en el empleo del escalado como análisis de la heterogeneidad de los valores de infiltración medidos a campo en parcelas pequeñas. Esta propuesta muestra con sensibilidad las diferencias en la calidad física-hidrológica del suelo, que se sugieren correlacionar con parámetros químicos y microbiológicos, para manejos de IC contrastantes. Se evidencia de esta manera que la técnica expuesta permite detectar diferencias y/o anomalías hidrológicas significativas, ofreciendo un valor agregado para la evaluación de la influencia del manejo agrícola.

Tabla 1. Sorptividad transformada (Spt Box y Cox) y la conductividad hidráulica transformada (Kpt, raíz cuadrada) estimados a partir de ensayos de infiltración para tres regímenes de cultivo (Monocultivo, Cobertura y Rotación, detalladas en texto) en ensayo de larga-duración en Balcarce, Buenos Aires. Letras distintas indican diferencias significativas (ANOVA-test protegido de Fischer, $\alpha=0,05$).

Régimen de cultivo	Spt	Kpt
	(mm min ^{-1/2})	(mm min ⁻¹) ^{1/2}
Monocultivo	1,14 a	0,87 a
Cobertura	0,70 b	0,93 a
Rotación	0,72 b	0,92 a



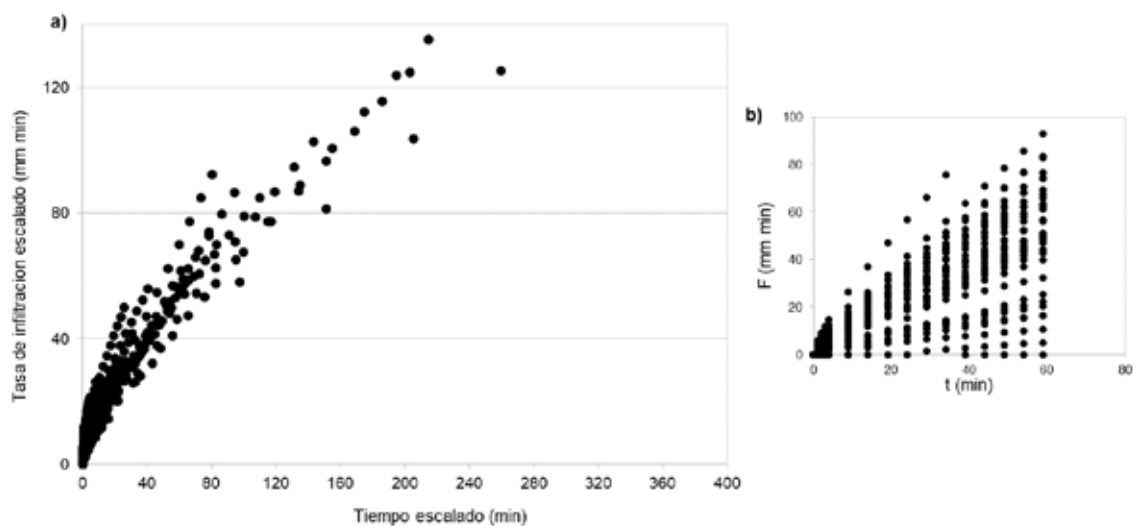


Gráfico 1. Tasa de infiltración en función del tiempo en ensayos de infiltración para Monocultivo en ensayo de larga-duración en Balcarce, Buenos Aires. a) Tasa de infiltración escalada (F^*) en función de tiempo escalado b) Tasa de infiltración original (F) en función de tiempo.

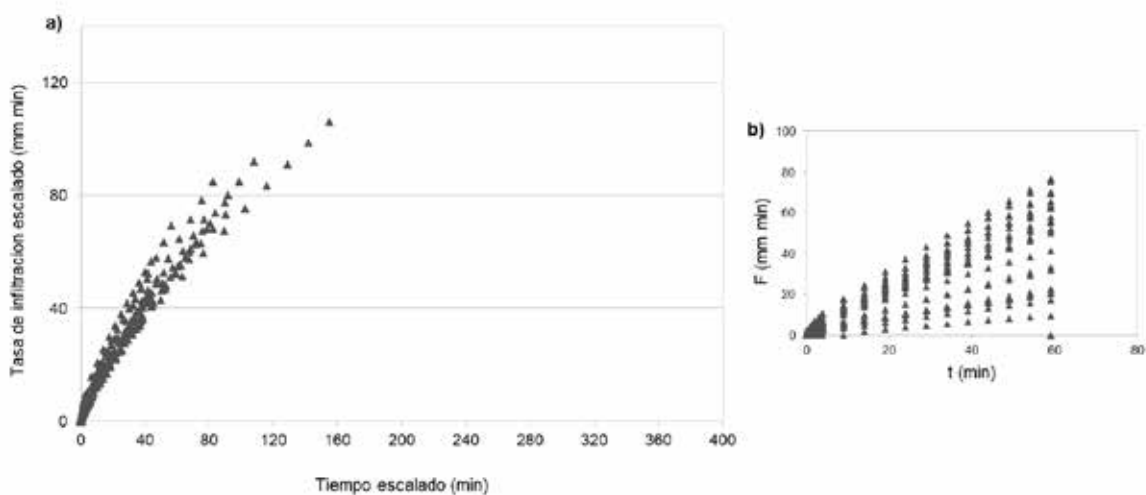


Gráfico 2. Tasa de infiltración en función del tiempo en ensayos de infiltración para Cobertura en ensayo de larga-duración en Balcarce, Buenos Aires. a) Tasa de infiltración escalada (F^*) en función de tiempo escalado b) Tasa de infiltración original (F) en función de tiempo.



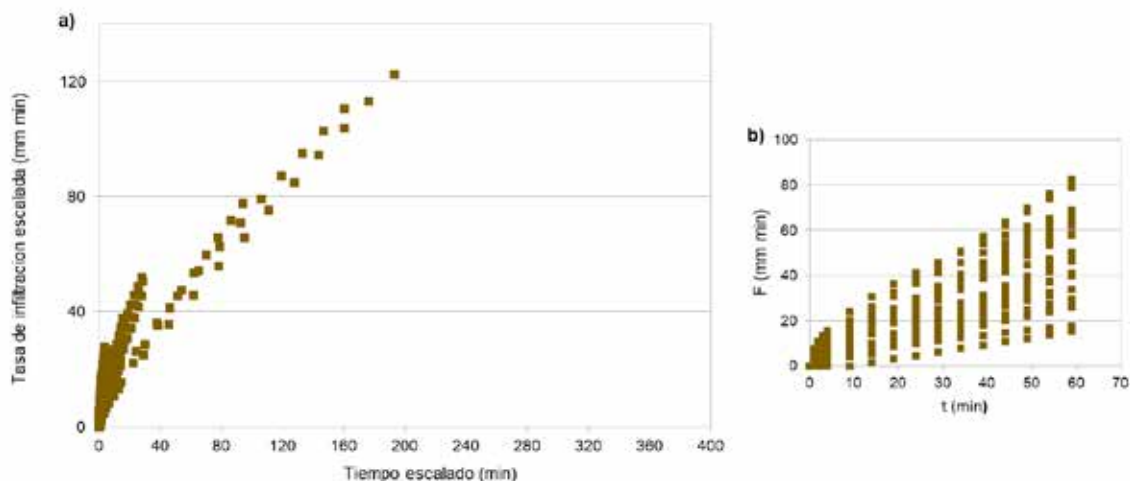


Gráfico 3. Tasa de infiltración en función del tiempo en ensayos de infiltración para Rotación en ensayo de larga-duración en Balcarce, Buenos Aires. a) Tasa de infiltración (F^*) en función de tiempo escalado b) Tasa de infiltración original (F) en función de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del equipo de Conservación de Suelos (INTA-Balcarce) y en especial al Ing. Agr., Mg. Eiza M. y al técnico Dosanto M.

BIBLIOGRAFIA

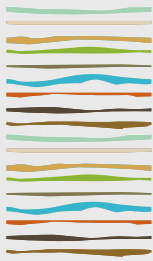
- Ahuja L. R. and Nielsen D. R. 1990. Field soil-water relations en: Stewart B. A. and D. R. Nielsen (Eds.) Irrigation of Agricultural Crops. ASAE Publ 30: 143-188.
- Ahuja L. R., Naney J. W., Nielsen D. R. 1984. Scaling soil water properties and infiltration modeling. Soils Sci.Soc. Am. J. 48:970-973.
- Caviglia, O.P. and Andrade, F.H. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: Capture and use efficiency of environmental resources. The Am J. Plant Sci. Biotech. 3 (Special Issue 1), 1-8.
- Chari M.M., Poozan M.T., Afrasiab P. 2020. Modeling soil water infiltration variability using scaling. Biosyst Eng. 196:56–66.
- Commatteo J. G., Consolo V. F., Barbieri P. A., Covacevich F. 2019. Indigenous arbuscular mycorrhiza and Trichoderma from systems with soybean predominance can improve tomato growth. Soil & Environment. 38 (2):151-161.
- Crespo C., Wyngaard N., Sainz Rozas H., Studdert G., Barraco M., Gudelj V., Barbagelata P., Barbieri P. 2021. Effect of the intensification of cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. CATENA, 200, 105145.
- Das B. S., Haws N. W., Rao P.S. 2005. Defining geometric similarity. Vadose Zone Journal, 4: 264-270.
- Dingman S.L. 2000. Water in soil: infiltration and redistribution Physical Hydrology (second edition). Upper Saddle River, New Jersey. Prentice-Hall, Chapter 6, 646.
- Felton, GK. 1995. Temporal variation of soil hydraulic properties on municipal solid waste amended mine soils. Trans. ASAE 38:775-782.
- Fernandez-Gnecco G., Smalla K., Maccario L., Sørensen S.J, Barbieri P., Consolo V.F., Covacevich F., Babin D. 2021. Microbial community analysis of soils under different soybean cropping regimes in the Argentinean south-eastern Humid Pampas, FEMS Microbiology Ecology. 97:3.
- INTA. 1979. Cartas de suelo de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Secretaría de Agricultura de Ganadería y Pesca. Buenos Aires Argentina.
- Kinnell P.I.A. 2005. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. Hydrol. Processes: Int. J., 19: 2815-2844.
- Le Bissonnais, Y. 1996, Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology, European Jour-



nal of Soil Science, 47:425-437.

- Martinez J.P., Crespo C., Cuervo M.T. 2020. Secuencias de cultivos con predominio de soja: efecto sobre indicadores de calidad física del suelo. *Cienc Suelo (Argentina)* 38:224-35.
- Martinez J.P., Crespo C., Sainz Rozas H., Echeverría H., Studdert G., Martinez F., Cordone G., Barbieri P., Kibblewhite M.G. 2019. Soil organic carbon in cropping sequences with predominance of soya bean in the Argentinean humid Pampas. In: *Soil Use and Management*, 36:173–183.
- Miller E.E., R.D. Miller. 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *Journal of Applied Physics*, 27(4):324-332.
- Novelli L.E., Caviglia O.P., Melchiori R.J.M. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols *Geoderma*, 167–168:254-260
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: I. The infiltration equation and its solution, *Soil Sci.* 83, 345-357.
- Rezaei M., Seuntjens P., Shahidi R., Joris I., Boëne W., Al-Barri B., Cornelis W. 2016. The relevance of in-situ and laboratory characterization of sandy soil hydraulic properties for soil water simulations. *Journal of Hydrology*, 534:251-265.
- Sharma M.L., G.A. Gander, C.G. Hunt. 1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, 45:101-122.
- Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79 (1): 7–31.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, EEUU, 372.
- Soracco C.G., R. Villarreal, E.M. Melani, J. Agustín, M. Paz, M. Florencia, A.B. Irizar, L. Alberto. 2019. Hydraulic conductivity and pore connectivity. Effects of conventional and no-till systems determined using a simple laboratory device. *Geoderma*, 337:1236-1244.
- Vogelmann E.S., Miguel J., Prevedello J., Oladele G., Cerdà A. 2017. Soil moisture influences sorptivity and water repellency of topsoil aggregates in native grasslands. *Geoderma* 305:374–381
- Warric A. W., G. J. Mullen, D. R. Nielsen. 1977. Scaling field-measured soil hydraulic properties using similar media concept. *Water Resources Research*, 13(2): 355- 362.
- Youngs, E. G. and R. I. Price. 1981. Scaling infiltration behavior in dissimilar porous media. *Water Resources Research* 17 (4): 1065-070.





CULTIVOS DE COBERTURA: EFECTOS SOBRE EL ESTADO HÍDRICO DE UN ARGJUDOL DEL SUDOESTE BONAERENSE

de Sá Pereira, E.¹, G. Arroquy¹, G. Minoldo², J. Iglesias², D. Morris¹, J. Galantini³

¹ INTA AER Coronel Suárez (EEA Naredo), Sauce Corto 589, 7540 Coronel Suarez desapereira.eduardo@inta.gob.ar;

² Dto. Agronomía (UNS);

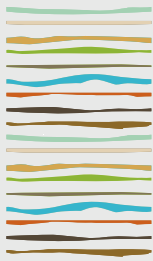
³ CERZOS-CONICET.

RESUMEN

Con el propósito de mejorar la productividad y calidad de los cultivos de cosecha (Cch) en Coronel Suárez, desde los 90' se ha intensificado el riego suplementario. La combinación con cultivos de cobertura (CC) potenciaría su efecto, reduciendo además efectos potenciales por acumulación de sales en el suelo. Se estudió el efecto de distintos CC sobre el contenido, dinámica y disponibilidad hídrica del suelo. En un *Argjudol Típico* de Coronel Suárez, Buenos Aires bajo siembra directa se evaluaron Triticale (Tr), Cebada (Ceb), Centeno (C), Vicia (V), V+Tr (VTr), V+Ceb (VCeb), V+C (VC) sembrados el 14/03/2021 y un barbecho químico testigo (T) como antecesores de maíz. La supresión se realizó al inicio de floración de las leguminosas (180 días post siembra). A la siembra y supresión de los CC y siembra de Cch se determinaron agua edáfica total (AET; mm) de 0-80 cm (capas de 0-20 cm) y biomasa aérea de CC (BA; kg MS ha⁻¹) y costo hídrico de los CC para los Cch (mm). Además, la infiltración básica (mm h⁻¹) y resistencia a la penetración (RST; mPa). Para el análisis estadístico de varianza y diferenciación de medias se utilizaron las pruebas ANAVA y DMS Fischer ($\alpha=0,05$). El AET de 0-80 cm al momento de supresión de los CC promedió 154 mm sin diferencias entre tratamientos, demostrando la eficiencia de utilización para la producción de MS de los CC vs las pérdidas de agua en T. A la siembra del maíz, VCeb y VC contenían mayor AET disponible en el perfil (VCeb 168 \geq VC 159 \geq VTr 155= T 155= Tr 154= C151 =V150> Ce148 mm). Los menores costos hídricos de los CC respecto al T se registraron en C, VC y Ce (6, 8 y 9 mm respectivamente), intermedios en VC, VTr y V (11, 12 y 14 mm), siendo Tr y VTr quienes mostraron los mayores consumos relativos de agua (15 y 16,5). La consociación de V con gramíneas influyó positivamente sobre la velocidad de infiltración en el perfil (VCeb 303 \geq Tr 249 \geq VC 231 \geq VTr 228 \geq C 224= Ceb 216= T 214> V 198, mm h⁻¹). Hasta los primeros 10 cm se observaron efectos positivos de los CC sobre la RST. De 0-5 cm los CC consociados y puros mostraron valores promedio 50 y 33 % inferiores respecto del T, respectivamente. De 5-10 cm, si bien en general se observó una capa más densificada, este efecto de los CC se mantuvo sin diferencias entre ellos. El C produjo la mayor cantidad de BA. El resto de CC produjo rendimientos de MS satisfactorios, sin diferencias entre ellos tendientes a disminuir a medida que se incorporaron leguminosas (C 5360> VTr 4026= VCeb 3013= VC 3011= V 2946= Tr 2933= Ceb 2920). CC adaptados a las condiciones del SO bonaerense, promueven beneficios en la condición física, captación y conservación hídrica edáfica, y el aporte de residuos de calidad previo a la producción estival de granos. Su inclusión en sistemas bajo riego admitiría la adecuación de planteos intensivos eficientizando la utilización de recursos.

Palabras clave: agua, infiltración, materia seca.





CULTIVO DE SERVICIO: EFECTO SOBRE LA INFILTRACIÓN EN UN ARGIUJOL DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Sainz, D.^{1,2*}, C. Contreras³, L. Magri³, M. Beltran^{1,4}, F. Becerra¹ y P. Carfagno¹

¹ Instituto de Suelos, CIRN INTA Castelar. De los Reseros y Nicolás Repeto S/N. Hurlingham (1686). Argentina.

² Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

³ Agencia de Extensión Agropecuaria Arrecifes INTA Pergamino- Centro Regional Buenos Aires Norte.

⁴ Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSADA).

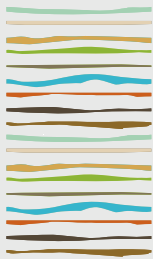
* sainz.daiana@inta.gob.ar

RESUMEN

La infiltración del agua en la zona no saturada del suelo es una propiedad ampliamente usada en la evaluación de la calidad física del suelo, ya que de su conocimiento derivan la mayoría de los modelos de transporte de agua-solutos y de crecimiento de cultivos. La tasa a la cual el agua ingresa y se mueve a través del perfil del suelo está influenciada por la condición física del mismo. Entre las propiedades físicas se enumeran textura, estructura, densidad aparente, porosidad y contenido de humedad del suelo. A su vez, otros factores que influyen la tasa de infiltración al suelo son las características de la superficie del mismo, tipo y cantidad de cobertura (vegetación viva o rastrojo) y sus propiedades hidrodinámicas. Asimismo, las prácticas de manejo también afectan al proceso de infiltración. Un suelo que es continuamente labrado, pisoteado o sometido a otras actividades antropogénicas desarrolla una pobre estructura conduciendo al sellado superficial de poros y encostramiento, restringiendo el ingreso y movimiento del agua e incrementando el escurrimiento superficial. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del centeno como cultivo de servicio sobre la infiltración en un Argiudol típico del norte de la provincia de Buenos Aires. Para ello se diseñó un ensayo de cultivos de servicios en 3 bloques divididos al azar. Los tratamientos utilizados fueron avena, vicia, centeno y barbecho. Los suelos presentes en la zona de estudio pertenecen principalmente a la Serie Arroyo Dulce (suelos franco limosos, oscuros, muy profundos, con aptitud agrícola, en un paisaje de lomas extendidas). En este trabajo se hará hincapié sobre el cultivo del centeno y sus efectos en estos tipos de suelos. El centeno fue sembrado el 7 de mayo del 2021 siendo la dosis de siembra de 70 kg ha⁻¹. Los ensayos de infiltración se realizaron con el método de anillo simple durante una hora hasta obtener los valores de infiltración básica. Este método consta de un cilindro metálico de 21 cm de diámetro, 12 cm de alto y 4,1 mm de espesor. Por encima del mismo, se ubica un disco de plástico de un diámetro levemente mayor al cilindro metálico. Este último tiene una perforación central en la cual se ubica una botella graduada o Mariotte de acrílico transparente con una escala graduada en mm de lámina de agua de forma invertida. Se realizaron 2 repeticiones por bloque y los datos se procesaron con el modelo Horton. Los valores promedios de tasa de infiltración fue de 107 mm h⁻¹ para las parcelas bajo centeno y de 62,73 mm h⁻¹ en las parcelas con barbecho. Estos resultados son similares a los encontrados en otros ensayos realizados en la zona de estudio bajo la implementación de cultivos de servicios. Esto está dado fundamentalmente por el efecto positivo otorgado por las raíces en la porosidad y de la cobertura en la superficie del suelo especialmente en estos suelos que tienden a compactarse y sellarse tanto por su contenido y como por las características genéticas de la fracción limo, especialmente en planteos de siembra directa.

Palabras clave: centeno, cultivos de cobertura, infiltrómetro de anillo.





EVALUACIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVO EN SISTEMAS SIN LABRANZAS BAJO RIEGO

Salgado, R.^{1,*}, M.C. Sánchez^{1,2}, J.I. Salvatierra¹, E. Raña²

¹INTA EEA Santiago del Estero, Grupo Recursos Naturales;

² UNSE- Facultad de Agronomía y Agroindustrias;

* Calle Jujuy N° 850, CP 4200, Prov. De Santiago del Estero, salgado.ramiro@inta.gob.ar

RESUMEN

Se evaluó el efecto de siete secuencias de cultivos en sistemas de labranza cero bajo riego por manto sobre la capacidad de la infiltración de agua en el suelo para ser utilizada como indicador de calidad de suelo al cabo de cuatro campañas agrícolas. Las siete secuencias involucraron a los cultivos de algodón (*Gosypium hirsutum*), soja (*Glycine max*), sorgo (*Sorgum bicolor*) y maíz (*Zea mays*) y se establecieron de la siguiente manera: Secuencia 1 (AlgMono), monocultivo de algodón; Secuencia 2 (SojaMono), monocultivo de soja; Secuencia 3 (MaízP/Soja2°), las cuatro campañas con maíz sembrado en primavera seguido de soja; Secuencia 4 (Alg/Maíz), alternando campañas con algodón y maíz; Secuencia 5 (Alg/Sorg), alternando campañas con algodón y sorgo granífero; Secuencia 6 (Alg/Soja), alternando campañas con algodón y soja; Secuencia 7 (MaízP/Soja2°/Alg). La infiltración básica y el tiempo para alcanzarla (tiempo básico) no se diferenciaron significativamente entre secuencias de cultivo. Solo la secuencia Alg/Maíz presentó una lámina de agua acumulada a los 60 minutos significativamente mayor que la secuencia Alg/Soja. Las secuencias con maíz como último cultivo sugieren mayores láminas acumuladas de agua que otras secuencias de cultivos y en relación con otros parámetros de infiltración se presenta como un indicador de calidad de suelo adecuado para caracterizar y comparar secuencias de cultivo de pocos años de duración en estos tipos de ambientes.

Palabras clave: indicador de calidad de suelo, lámina acumulada, riego por manto.

INTRODUCCION

Los sistemas de manejo conservacionistas pueden tener el mayor beneficio para la calidad del suelo en diferentes regiones climáticas con efectos sobre el aumento en las tasas de infiltración y los contenidos de humedad del suelo ante una ausencia de labranza (Thierfelder & Wall, 2009).

Es importante seleccionar las diferentes especies que promuevan la infiltración de agua y mejoren el almacenamiento de agua en el suelo (Huang et al., 2017) para aumentar la productividad agrícola y la calidad ambiental (Franzluebbbers, 2002a; Franzluebbbers, 2002b), ya que el uso y la cobertura del suelo afectan en gran medida la infiltración del agua reduciendo los efectos de las alteraciones superficiales del suelo bajo sistemas de labranza cero (Carlesso et al., 2011).

Por lo tanto, el impacto del manejo y la vegetación se refleja en el proceso de infiltración de agua y puede ser considerada un buen indicador de la calidad del suelo, dado que tiene una influencia directa en la producción de cultivos y una relación estrecha con la salud del ambiente (Arshad & Martin, 2002; Bharati et al., 2002).

La infiltración de agua en el suelo es el proceso más importante en el riego por superficie o manto. Esencialmente controla la cantidad de agua que ingresa a la reserva del suelo, así como el avance y la recesión



del flujo superficial. Es un proceso complejo que depende de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo (Walker et al., 2006; Waller & Yitayew, 2015).

Comprender la dinámica del agua del suelo y sus relaciones con otros parámetros en un sistema sin labranza bajo riego por manto con diferentes secuencias de cultivo proporcionará antecedentes para modelar estos sistemas y seleccionar el más adecuado arreglo de cultivos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las secuencias de cultivos en sistemas de labranza cero sobre la capacidad de la infiltración del agua en el suelo para ser utilizada como indicador de calidad de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se ubicó en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en el sistema de riego del Río Dulce de Santiago del Estero, Argentina (28° 3' S y 64° 15' W). El clima es semiárido, mesotermal, con precipitaciones medias anuales de 594 mm (estación meteorológica del INTA) concentradas en verano (Morello & Adamoli, 1974). La evapotranspiración de referencia media anual es de 1300 mm, la temperatura máxima media anual es de 27,5°C y la temperatura mínima media anual es de 12,7°C. El suelo está clasificado como un Haplustol torriorténtico perteneciente a la Serie La María, de origen aluvial y relativamente homogéneo, de textura franco-limosa con capacidad de retención de agua de 176 mm m⁻¹, capacidad de campo y punto de marchitez de 270 mm m⁻¹ y 92 mm m⁻¹, respectivamente (Angueira & Zamora, 2007).

El experimento duró cuatro campañas agrícolas (julio de 2005 a junio de 2009) con siete secuencias que incluyeron los cultivos de algodón (*Gossypium hirsutum*), maíz (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) distribuidas en cuatro bloques totalmente aleatorizados y establecidas de la siguiente manera: **Secuencia 1 (AlgMono)**, monocultivo de algodón; **Secuencia 2 (SojaMono)**, monocultivo de soja; **Secuencia 3 (MaízP/Soja2°)**, las cuatro campañas con maíz sembrado en primavera seguido de soja; **Secuencia 4 (Alg/Maíz)**, alternando campañas con algodón y maíz; **Secuencia 5 (Alg/Sorg)**, alternando campañas con algodón y sorgo granífero; **Secuencia 6 (Alg/Soja)**, alternando campañas con algodón y soja; **Secuencia 7 (MaízP/Soja2°/Alg)**, alternando campañas con maíz sembrado en primavera seguido de soja y algodón. La superficie del experimento fue de 10 ha con parcelas de 2.500 m² (50 m x 50 m) rodeada con bordos de 50 cm de altura para controlar las láminas aplicadas con el riego por manto o inundación (tres riegos aplicados de 90 mm aproximadamente cada uno en los periodos críticos de los cultivos). Los cultivos se sembraron en sistemas de labranza cero sin roturar el suelo y en fechas óptimas de siembra de acuerdo a las recomendaciones locales.

Se seleccionó la ecuación de Kostiakov para ajustar los datos observados de infiltración de campo (Williams et al. 1998, Naeth et al. 1991). La ecuación de Kostiakov (Kostiakov, 1932) es empírica, simple, con dos parámetros:

$$d = k t^m \quad (1)$$

donde d (mm) es la lámina de agua acumulada en el tiempo t (min) y k es una constante que depende de las condiciones del horizonte superficial del suelo, especialmente textura, estructura y contenido hídrico.

El exponente m es una constante que refleja las condiciones intrínsecas del suelo (textura, estructura y estabilidad del espacio poroso). La ecuación de velocidad de infiltración instantánea se obtiene derivando la ecuación de lámina acumulada en función del tiempo:

$$I = 60 k m t^{m-1} = K t^n \quad (2)$$

donde I es la velocidad de infiltración instantánea (mm h⁻¹) y los coeficientes K y n se calculan como:

$$\begin{aligned} K &= 60 k m & (3) \\ n &= m-1 & (4) \end{aligned}$$

Existe un valor de t a partir del cual los cambios en la velocidad son suficientemente pequeños como para



no ser tenidos en cuenta. A los fines del riego, se considera cuando la derivada de I con respecto al tiempo toma un valor igual a $-0,1$:

$$(\delta I) * (\delta t)^{-1} = k m (m-1) 60 t_b m^{-2} = -0,1 \quad (5)$$

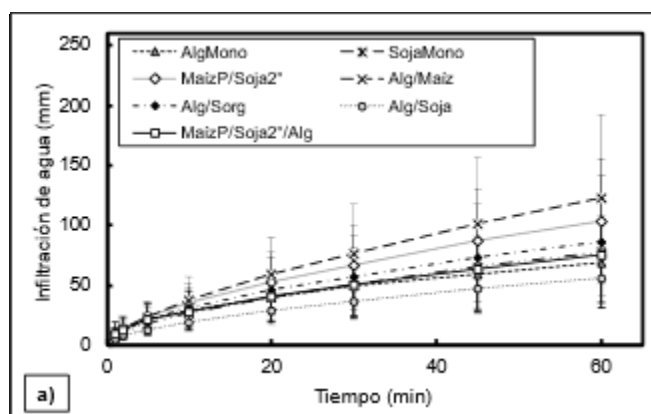
Despejando el tiempo básico (t_b), se calcula el valor de la infiltración básica (I_b) utilizando la Eq. 2 de la velocidad de infiltración instantánea. La determinación de los parámetros k y m se efectúa por el método estadístico de ajuste a la curva que representa una ecuación potencial.

Las observaciones de infiltración tuvieron una duración de 60 minutos con un intervalo de tiempo de 1, 2, 5, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos para determinar la lámina infiltrada. Se realizaron al final del experimento en julio de 2009 (30-40% de agua útil) y se repitieron dos veces por cada parcela. Se empleó el infiltrómetro de doble anillo (anillo externo e interno de 63 cm y 33 cm de diámetro, respectivamente) (Naeth et al. 1991) ubicado al azar sobre las líneas de cultivo. El nivel del agua se enrazó en el infiltrómetro en cada intervalo de tiempo registrando el nivel de agua (cm) a lo largo del tiempo (min).

Para comparar los parámetros de infiltración se utilizó un modelo de análisis de la varianza (ANOVA) que considera varianzas homogéneas entre los tratamientos y las medias se compararon utilizando la prueba de Bonferroni ($p < 0,05$). En aquellos casos en los cuales las varianzas fueron diferentes se utilizó un modelo de análisis de la varianza que considera varianzas diferentes en cada secuencia de cultivo. Todos los análisis se realizaron con el software Infostat (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS

La ecuación de Kostiakov ajustó satisfactoriamente los valores de campo observados y los predichos por la citada ecuación con un R^2 de 0.98. En la Figura 1 se representan las curvas de infiltración de agua en el suelo en función del tiempo para las diferentes de secuencias de cultivos. Las curvas ilustran el típico aumento temprano rápido de la infiltración (Fig. 1a) seguido de aumentos más lentos a medida que avanza el tiempo y la disminución rápida de la velocidad de infiltración a medida que avanza el tiempo hasta alcanzar una tasa de infiltración estabilizada en el tiempo (Fig. 1b).



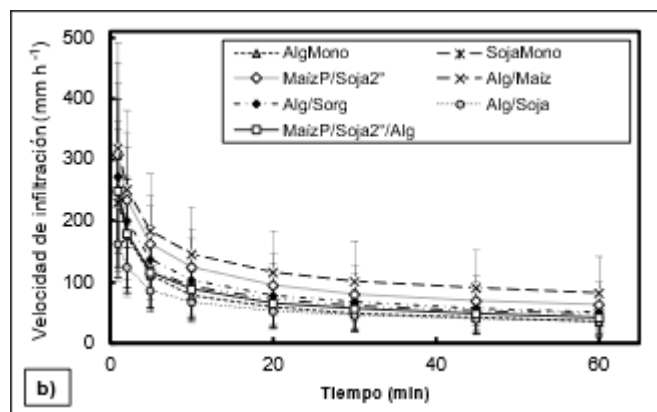


Figura 1. Infiltración de agua en el suelo (a) y velocidad de infiltración de agua en el suelo (b) para siete secuencias de cultivo. AlgMono: cuatro campañas sembradas con algodón; SojaMono: cuatro campañas sembradas con soja; MaízP/Soja2°: cuatro campañas con maíz sembrado en primavera seguido de soja sembrada en verano; Alg/Maíz: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña con maíz sembrado en verano; Alg/Sorg: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña sembradas con sorgo granífero; Alg/Soja: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña sembradas con soja; MaízP/Soja2°/Alg: la primera y tercera campaña con maíz sembrado en primavera seguido de soja sembrada en verano y la segunda y cuarta campaña sembradas con algodón.

La I_b y t_b no se diferenciaron significativamente en las secuencias de cultivos luego de cuatro campañas. Por el contrario, la secuencia Alg/Maíz presentó la lámina acumulada más alta diferenciándose significativamente ($p < 0,05$) de Alg/Soja, pero no de las restantes secuencias de cultivo (Tabla 1).

Table 1. Valores medios de infiltración básica (I_b), tiempo básico (t_b) y lámina de agua acumulada (d) para siete secuencias de cultivos. Entre paréntesis, la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre secuencias de cultivos. nivel de probabilidad del 95% (Prueba: Bonferroni).

Secuencia de cultivo	I_b (mm h ⁻¹)	t_b (min)	d (mm)
AlgMono*	112 (21) a	26 (19) a	73 (16) ab
SojaMono*	124 (48) a	35 (20) a	76 (43) ab
MaízP/Soja2°*	155 (49) a	43 (20) a	99 (41) ab
Alg/Maíz*	173 (48) a	67 (40) a	130 (38) a
Alg/Sorg*	117 (70) a	30 (23) a	70 (48) ab
Alg/Soja*	98 (11) a	26 (10) a	54 (11) b
MaízP/Soja2°/Alg*	122 (31) a	32 (9) a	81 (15) ab

*AlgMono: cuatro campañas sembradas con algodón; SojaMono: cuatro campañas sembradas con soja; MaízP/Soja2°: cuatro campañas con maíz sembrado en primavera seguido de soja sembrada en verano; Alg/Maíz: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña con maíz sembrado en verano; Alg/Sorg: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña sembradas con sorgo granífero; Alg/Soja: la primera y tercera campaña sembradas con algodón y la segunda y cuarta campaña sembradas con soja; MaízP/Soja2°/Alg: la primera y tercera campaña con maíz sembrado en primavera seguido de soja sembrada en verano y la segunda y cuarta campaña sembradas con algodón.

DISCUSION

Las altas variaciones en las observaciones (>30%) es algo natural en campos regados por métodos de riego por superficie donde la variabilidad espacial de la infiltración es común (Bai et al., 2017) y sus parámetros están determinados por la influencia de la variabilidad en las características de absorción del suelo (Oyonarte et al., 2002). Berehe et al. (2013) y Walker et al. (2006) establecieron que las características que determinan



la infiltración del agua en el suelo cambian tras el primer riego y Rabot et al. (2018) destacaron que las condiciones de humedad del suelo pueden ser un obstáculo para evaluar y comparar un determinado indicador en cualquier período del año debido a la modificación significativa de la estructura del suelo debido a los procesos de humedecimiento y secado. Esto fue observado por Mazarei et al. (2021) en cultivos de caña de azúcar regados por surcos y por Xu et al. (2019) en diferentes fechas de riego de riego por manto para una rotación trigo-maíz en ausencia de labranza y fueron atribuidos a la estructura del suelo (aumento de la densidad aparente del suelo) por el efecto de compactación de los riegos posteriores, los eventos de lluvia y al aumento en el contenido de humedad del suelo.

La secuencia de cultivos finalizadas en maíz sugiere una mayor capacidad de infiltración del suelo dado por las mayores láminas observadas. Carvalho et al. (2015) destacaron al sistema radicular del maíz sembrado en contornos como promotor de una mayor estabilidad del suelo y mayor infiltración de agua dada por la continuidad de los macroporos en relación a sistemas donde el suelo está expuesto. de Almeida et al. (2018) observaron que los residuos de maíz en sistemas sin labranza sembrados con soja actúan como barreras físicas que disminuyen la escorrentía superficial favoreciendo la infiltración del agua en el suelo.

Las secuencias con cultivos de soja, sorgo o algodón no han producido el mismo efecto. En el sur de Brasil los sistemas de labranza cero cultivados con soja no produjeron condiciones físicas satisfactorias para mejorar la infiltración de agua (Engel et al., 2009). Secuencias en siembra directa con algodón o con algodón como antecesor hacia el final de cada campaña presentaron tasas de infiltración de agua y contenidos de humedad del suelo más bajos debido a un mayor consumo de agua por su condición de crecimiento indeterminado en contraposición con el maíz que comienza a senescer y consume menos agua quedando más agua remanente (Thierfelder & Wall, 2009). A su vez, el algodón en sistemas de producción con riego tradicional (riego por manto) encuentra condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las raíces al final de la campaña (Wang et al., 2020).

La secuencia con sorgo, a pesar de presentar un sistema de raíces similar al maíz por ser una gramínea, presentó valores intermedios para todos los parámetros de infiltración. Huang et al. (2017) concluyeron que las raíces fibrosas de las gramíneas que crecen más densamente en las capas superiores del suelo disminuyen la tasa de infiltración al obstruir el espacio poroso del suelo y formar una red densa que reduce el movimiento del agua. Cui et al. (2019) determinaron que el peso total de la raíz tuvo un efecto significativamente negativo en la tasa de infiltración del suelo y se relaciona con el volumen acumulado y el grosor de raíces en el suelo.

CONCLUSIONES

La infiltración de agua en el suelo es uno de los procesos claves para modelar, diseñar y evaluar el riego por superficie. Luego de cuatro campañas en sistemas sin labranza bajo riego por manto, aquellas secuencias de cultivos que involucró al maíz como último cultivo realizado sugieren una mayor capacidad de infiltración de agua en el suelo en relación a la secuencia donde alternan el algodón y la soja.

Por el contrario, aquellas secuencias de cultivos que alternan sorgo, maíz, soja o algodón, incluyendo a estos dos últimos como único cultivo, no han producido el mismo efecto sobre los parámetros de infiltración de agua en el suelo y en particular sobre la lámina total acumulada.

La lámina infiltrada en relación con otros parámetros de infiltración se presenta como un indicador de calidad de suelo adecuado para caracterizar y comparar secuencias de cultivo de pocos años de duración en estos tipos de ambientes.

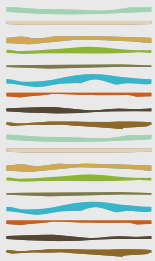
BIBLIOGRAFIA

- Angueira, C. & E. Zamora. 2007. West of the Irrigation Area of the Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina. Ed. INTA. ISSN 1850 4086. Eease Technical Reports Series N°40.
- Arshad, M. A. & S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 153-160.



- Bai, M.; D. Xu; Y. Li; S. Zhang & S. Liu. 2017. Coupled impact of spatial variability of infiltration and microtopography on basin irrigation performances. *Irrigation Science*, 35(5), 437-449.
- Berehe, F.T.; A.M. Melesse; A. Fanta & T. Alamirew. 2013. Characterization of the effect of tillage on furrow irrigation hydraulics for the Dire Dawa Area, Ethiopia. *Catena*, 110, 161-175.
- Bharati, L.; K.H. Lee; T.M. Isenhardt & R.C. Schultz. 2002. Soil-water infiltration under crops, pasture, and established riparian buffer in Midwestern USA. *Agroforestry systems*, 56(3), 249-257.
- Carlesso, R.; R.B. Spohr; F.L.F. Eltz & C.H. Flores. 2011. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. *Agricultural Water Management*, 98(6), 1020-1026.
- Carvalho, D.F.D.; E.N. Eduardo; W.S.D. Almeida; L.A. Santos & T. Alves Sobrinho. 2015. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 1072-1078.
- Cui, Z.; G.L. Wu; Z. Huang & Y. Liu. 2019. Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils. *Journal of Hydrology*, 578, 124023.
- de Almeida, W.S.; E. Panachuki; P.T.S. de Oliveira; R. da Silva Menezes; T.A. Sobrinho & D.F. de Carvalho. 2018. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 175, 130-138.
- Di Rienzo J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C.W. Robledo. 2020. InfoStat Transfer Center, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Engel, F.L.; I. Bertol; S.R. Ritter; A.P. Gonzalez; J. Paz-Ferreiro & E.V. Vazquez. 2009. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 216-221.
- Franzluebbers, A.J. 2002a. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95-106.
- Franzluebbers, A.J. 2002b. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage research*, 66(2), 197-205.
- Huang, Z.; F.P. Tian; G.L. Wu; Y. Liu & Z.Q. Dang. 2017. Legume grasslands promote precipitation infiltration better than gramineous grasslands in arid regions. *Land Degradation & Development*, 28(1), 309-316.
- Kostiakov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil Science, Part A (Moscow)* 17-21
- Mazarei, R.; A.S. Mohammadi; H. Ebrahimian & A.A. Naseri. 2021. Temporal variability of infiltration and roughness coefficients and furrow irrigation performance under different inflow rates. *Agricultural Water Management*, 245, 106465.
- Morello, J. & J. Adámoli. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Segunda parte. *Vegetación y ambiente de la provincia del Chaco*, vol. 13 La vegetación de la República Argentina, Serie Fitogeográfica 130
- Naeth, M. A.; D.S. Chanasyk & A.W. Bailey. 1991. Applicability of the Kostiakov equation to mixed prairie and fescue grassland of Alberta. *Journal of Range Management* 44:18-21.
- Oyonarte, N.A.; L. Mateos & M.J. Palomo. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(1), 26-33.
- Rabot, E.; M. Wiesmeier; S. Schlüter & H.J. Vogel. 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 122-137.
- Thierfelder, C. & P.C. Wall. 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil and tillage research*, 105(2), 217-227.
- Walker, W.R.; C. Prestwich & T. Spofford. 2006. Development of the revised USDA–NRCS intake families for surface irrigation. *Agricultural water management*, 85(1-2), 157-164.
- Wang, J.; G. Du; J. Tian; Y. Zhang; C. Jiang & W. Zhang. 2020. Effect of irrigation methods on root growth, root-shoot ratio and yield components of cotton by regulating the growth redundancy of root and shoot. *Agricultural Water Management*, 234, 106120.
- Williams, J.R.; Y. Ouyang; J.S. Chen & V. Ravi. 1998. Estimation of infiltration rate in vadoze zone: application of selected mathematical models. EPA/600/R-97/128b.
- Xu, J.; H. Cai; Q. Saddique; X. Wang; L. Li; C. Ma & Y. Lu. 2019. Evaluation and optimization of border irrigation in different irrigation seasons based on temporal variation of infiltration and roughness. *Agricultural Water Management*, 214, 64-77.





EVALUACIÓN DE GRAMÍNEAS ESTIVALES PARA EMPASTADO DE CANALES COLCETORES

Saluzzio, M.¹, J.J. Gvozdenovich^{1,2}, M. Rey.¹

¹ Facultad Ciencias Agropecuarias UNER;

² INTA EEA Paraná.

Ruta Prov. 11, km 10.5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, mariano.saluzzio@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

Una de las principales causas del mal funcionamiento de campos sistematizados es la erosión en cárcavas en los canales colectores. Lograr un adecuado y rápido empaste del canal es fundamental para poder construir cuanto antes las terrazas, que el sistema funcione adecuadamente y controlar el proceso erosivo. Conseguir ese propósito no es tan sencillo ya que, en muchos casos, al construir el canal, se saca parte (o todo) el horizonte A hacia los taludes laterales, sumado a que, en muchas situaciones, el canal corre por zonas ya erosionadas del lote. El objetivo del trabajo es evaluación de cobertura, velocidad de cubrimiento y resistencia a la erosión de distintas gramíneas perennes de verano con distintos sistemas de implantación en canales colectores de terrazas de evacuación. Los tratamientos fueron: implantación de panes de gramón (*Cynodon dactylon*), siembra de gramón de semilla y siembra de Grama rhodes al vuelo durante el mes de octubre de 2020. Respecto a la implantación, las matas de gramón prendieron y se desarrollaron lentamente. La implantación de gramón de semilla fue mala en todas las repeticiones, mientras que la Grama emergió en forma regular en dos repeticiones y muy bien en la tercera. El tratamiento Grama bien implantado fue el único que hubiera permitido conectar las terrazas luego de la cosecha de maíz. El mismo volvió a tener muy buena cobertura en la primavera y verano siguiente. Si bien macolla y cubre muy bien los espacios, tiene un porte bastante erecto, lo que demanda cortes periódicos. El tratamiento con gramón de trasplante prendió adecuadamente, pero el primer año no llegó a cubrir toda la superficie del tratamiento, posiblemente por la falta de precipitaciones durante la primavera 2020 y el comienzo del verano 2021. El canal se cubrió en su totalidad del canal recién luego del segundo verano.

Palabras clave: erosión, canal, empaste

INTRODUCCIÓN

La elevada susceptibilidad a la erosión de los suelos de Entre Ríos se debe principalmente a la baja capacidad de infiltración (Beney *et al.*, 1976). De ahí surge el problema de la erosión en surcos que se observa en algunos casos, pese a la elevada cantidad de rastrojos que cubren el suelo.

La sistematización con terrazas de evacuación y canales colectores es una técnica adecuada y muy difundida en Entre Ríos para evitar el lavado de rastrojos, la erosión en surcos y cárcavas.

En una evaluación de los campos sistematizados en Entre Ríos surgió que una de las principales causas del mal funcionamiento de campos sistematizados es la erosión en cárcavas en los canales que colectan los excedentes hídricos generados en las terrazas (Gvozdenovich *et al.*, 2020). La causa de este problema puede ser el mal mantenimiento del canal, la construcción del canal al mismo tiempo que las terrazas, la habilitación del canal sin tener adecuado empaste previo, entre otras razones.

En una encuesta realizada por el Colegio de Ingeniero agrónomos de Entre Ríos (COPAER. 2020) a los técni-



cos que se dedican a la conservación de suelos surgió como resultado que una de los temas a investigar era la evaluación de especies para empaste de canales colectores.

Lograr un adecuado y rápido empaste del canal es fundamental para poder construir cuanto antes las terrazas, que el sistema funcione adecuadamente y, por lo tanto, controlar el proceso erosivo. Pero conseguir ese propósito no es tan sencillo ya que, en muchos casos, al profundizar el canal en el momento de la construcción, se saca parte (o todo) el horizonte A del suelo hacia los taludes laterales, sumado a que, en muchas situaciones, el canal corre por zonas ya erosionadas del lote (Rougier, *et al.*, 2018).

La especie más utilizada para empastar canales es la Festuca (*Festuca arundinacea*, L., Sp.Pl., vol. 1, 1753), el problema es la lentitud en cubrir el surco y la erosión que suele ocurrir entre surcos quedando las matas aisladas entre los mismos.

Una de las opciones es empastar con gramíneas de verano perennes, en ese sentido, el gramón (*Cynodon dactylon*, L. Pers.) es la especie valiosa para empastar canales debido a la resistencia superficial y subsuperficial (entretejido de raíces y estolones que protegen el suelo), dicha especie es difícil de implantar ya que tiene semilla muy pequeña (Laurencena *et al.*, 2009).

Por tal motivo, el objetivo de este estudio es la evaluación de cobertura, velocidad de cubrimiento y resistencia a la erosión de distintas gramíneas perennes de verano con distintos sistemas de implantación, en canales colectores de terrazas de evacuación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó sobre el canal 4 del campo Ramón Roldán de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER (Latitud: 31°51'24.05"S Longitud: 60°38'22.27"O). El campo se encuentra sistematizado a nivel de cuencas sobre suelo Argiudol ácuico serie Tezanos Pintos.

Los tratamientos fueron tres:

- a) Implantación de panes de gramón (*Cynodon dactylon*) de 20x30 cm cada uno, distanciados a 3 metros.
- b) Implantación con gramón de semilla, con una densidad de siembra de 9 Kg/ha, con siembra al vuelo.
- c) Implantación de Grama rhodes (*Chloris gayana*) de semilla, con una densidad de 10 kg/ha, sembrada al voleo.

Mientras se espera que se empasten los tratamientos, el canal no recibe caudal alguno de las terrazas. Además, tiene dos cortes (pequeñas terrazas) que evacúan el escurrimiento hacia el exterior del canal para evitar que se erosione, por lo que el canal queda dividido en tres tramos: superior, medio e inferior (Figura 1). Los tratamientos se dividieron aleatoriamente dentro de cada tramo:





Figura 1. Canal colector con diseño.

El transplante de panes de gramón (tratamiento a) se realizó el día 13 de octubre de 2020, mientras que la siembra al vuelo de gramón (b) y de Grama rodes (c) se realizó el 19 de octubre de 2020 en víspera de una lluvia.

Las precipitaciones fueron menores a las normales, desde septiembre de 2020 a junio de 2022, las lluvias sumaron 1769 mm, 212 mm menos que las lluvias promedio. La escasez se produjo principalmente en las dos estaciones primaverales (Figura 2).

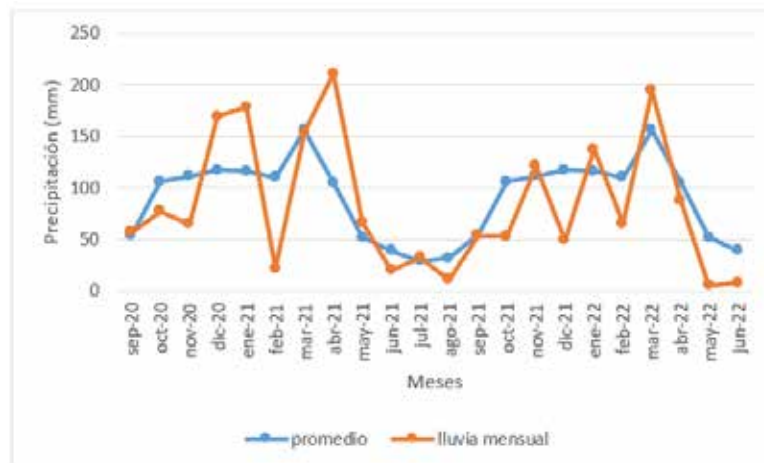


Figura 2. Precipitación mensual y promedio histórico de la estación agrometeorológica de INTA EEA Paraná.

Las evaluaciones se realizaron luego de implantación (30 días luego de la siembra) y mensualmente se fue analizando la cobertura vegetal sobre la solera del canal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implantación: Las matas de gramón prendieron y se desarrollaron de manera lenta, posiblemente por la escasez de lluvias. La implantación de gramón de semilla, la cual requiere 20 días con buena humedad para nacer



fue mala en todas las repeticiones, mientras que Grama rhodes emergió en forma regular en dos repeticiones y muy bien en la tercera.

El tratamiento Grama rhodes bien implantado fue el único que hubiera permitido conectar las terrazas luego de la cosecha de maíz. Si bien se quemaron las hojas por las heladas de invierno, volvió a tener muy buena cobertura en la primavera y verano siguiente (Figura 3). Además, macolla y cubre muy bien los espacios, tiene un porte bastante erecto, lo que demanda cortes periódicos. Mientras que el gramón de panes que no alcanzan a cubrir el canal para la misma fecha (Figura 4).



Figura 3. Grama rhodes 6 meses luego de la siembra



Figura 4. Tratamiento gramón de panes 6 meses luego de implantación. La expansión no alcanzó a cubrir todo el canal

El tratamiento con gramón transplantado prendió adecuadamente, pero al siguiente otoño del transplante la ramificación no había llegado a cubrir toda la superficie del tratamiento, posiblemente por la falta de precipitaciones durante la primavera 2020 y el comienzo del verano 2021. El canal se cubrió en su totalidad recién luego del segundo verano (Figura 5).

La conexión de las terrazas se realizó recién en mayo de 2022. Desde ese momento no ha recibido lluvias que generen escurrimiento, por lo que no se ha evaluado por el momento el comportamiento de cada especie ante la posibilidad de erosión dentro del canal.

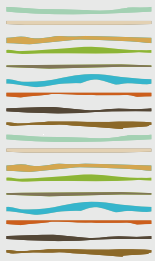


Figura 5. Gramón (izquierda) y Grama rhodes (derecha) luego del segundo verano, al momento de habilitar el canal colector.

BIBLIOGRAFÍA

- Beney, M.; Kakish, U.; Moresco, R.; Muñoz, E. y L. Nani. 1976. Algunas propiedades físicas de los suelos de Entre Ríos y su relación con la erosión. IDIA, Suplemento n° 33: 16-19
- Casas, R. y Damiano F. 2019. Manual de buenas prácticas de conservación de suelo y del agua en áreas de secano. Tomos I y II. FECIC. V1 560p. V2 520 p. ISBN 978-950-9149-43-4
- Cisneros, J.M., C. Cholaky, A. Cantero Gutiérrez, J. González, M. Reynero, A. Diez, L. Bergesio, J. J. Cantero, C. Nuñez, A. Amuchástegui Y A. Degioanni. 2012. Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo. UNIRIO Editora. ISBN 978-987-688-021-3. 287 p.
- COPAER. 2020. Encuesta a los Profesionales Frente a la Situación de Emergencia Actual. <https://copaer.org.ar/encuesta-a-los-profesionales-frente-a-la-situacion-de-emergencia-actual/>
- Gvozdenovich, J.; Saluzzio M. & Pioto A. 2020. Evaluación del Estado de la Sistematización con terrazas en Entre Ríos. INTA Paraná. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes. 2020.
- Laurencena, M. I., Carponi, M. S., Reinoso, P. D., Butus, M., Scorciapino, C., Galli, M., & Pérez, G. (2009). Comportamiento de céspedes de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. en Paraná, Entre Ríos, Argentina. Ciencia, docencia y tecnología, (39), 129-141.
- Rougier, M.; Gvozdenovich, J. y Saluzzio, M. 2018. Rendimiento del cultivo de maíz y su relación con la disminución del horizonte A en Parana - Entre Rios. XXVI Congreso argentino de la ciencia del suelo: legado social de edición limitada. Tucumán. 2018.
- Scotta, E.S.; Nani, L.A.; Conde A.; Rojas A.C. De; Castañeira, H.; Paparotti, O.F. 1989. Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. Paraná. Est. Exp. Agrop. Serie Didáctica N° 17 (corregida y aumentada).
- Vazquez M. 2017. Manejo y Conservación de suelos con especial énfasis en situaciones argentinas. AASC. 386 p.





DISTRIBUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO BAJO SECUENCIAS AGRÍCOLAS CON RIEGO EN UN SUELO DEL CHACO SEMIÁRIDO

Sanchez María C.^{1*2}

¹ INTA EEA Santiago del Estero, Grupo Recursos Naturales;

² UNSE- Facultad de Agronomía y Agroindustrias;

* Calle Jujuy N° 850, CP 4200, Prov. De Santiago del Estero, sanchez.mariac@inta.gob.ar

RESUMEN

La reserva del carbono orgánico del suelo cumple roles esenciales para la vida y salud de los ecosistemas. Conocer su dinámica frente a diferentes factores ambientales y de uso resulta importante para su conservación, particularmente en ambientes semiáridos. En el área de riego del río Dulce (Santiago del Estero), en un suelo *Haplustol Torriorténtico*, se desarrolló un ensayo de larga duración con varias secuencias de cultivos que incluyeron las especies de algodón (*Gossypium hirsutum*), soja (*Glycine max*), maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) y trigo (*Triticale cereale*). Se analizaron tres secuencias: el monocultivo de algodón (algodón/algodón T1), algodón/maíz (T5) y soja/algodón (T7), todas con un cultivo por año, siembra directa, sin uso de fertilizantes, con riego según necesidad de cultivos. Al cabo de 6 años de implantadas, se evaluó la influencia del tipo de secuencia sobre la distribución del carbono orgánico en el perfil del suelo hasta 0,80 m de profundidad. La secuencia T5 y T1 fueron significativamente diferentes a la T7 en cuanto a cantidad de COT en los primeros 40 cm, pero a mayor profundidad se diferenció la T7 del resto. Considerando todas las secuencias, y por masa equivalente de suelo, el promedio general de stock en 0,80 m de profundidad, fue de 106,54 t/ha. Al comparar los stocks de COT por secuencia, se obtiene el siguiente orden decreciente: T5 (116,94 t/ha) = T1 (116,63 t/ha) > T7 (86,07 t/ha). El monocultivo de algodón, por las características de sus rastrojos, presentaría un mecanismo de mineralización particular que influye en el comportamiento del COT resultando similar a la secuencia T5. El cultivo de algodón es una actividad socio-productiva importante en la provincia, pero dadas las características ambientales de la zona, es importante planificar secuencias adecuadas. La alternancia con maíz podría ser una estrategia de buena práctica para la conservación del COT y la calidad del suelo.

Palabras clave: COT en profundidad, Agricultura, Semiárido

INTRODUCCIÓN

La reserva de carbono orgánico del suelo (COS) tiene diferentes funciones que son esenciales para la vida en el planeta (Lal, 2013). A pesar de ello, desde mediados del siglo XX, se ha observado a nivel global, una importante disminución de esta reserva debido a los intensos cambios en la cobertura vegetal (principal fuente del COS) y en el uso de la tierra que aceleran los procesos de pérdida de COS (Frolla *et al.*, 2021).

Las modificaciones del stock de COS, están influenciadas por el clima (Stockmann *et al.*, 2015), tipo de vegetación (Franzluebbbers, 2021), características del suelo (Franzluebbbers, 2022) y tipo de manejo de los sistemas de producción en largos períodos de tiempo (Andrade *et al.*, 2017; Dal Ferro *et al.*, 2020).

En ambientes semiáridos, las pérdidas de carbono desde el suelo a la atmósfera se deberían a los escasos contenidos de arcilla y materia orgánica del suelo pues éstos representan un mecanismo importante de se-



sequestro de carbono (Kramer and Chadwick, 2018). El tipo de uso de la tierra, puede favorecer el sequestro de carbono orgánico en el suelo y la siembra directa es uno de los sistemas de manejo considerado como buena práctica para la conservación del agua y del COT (Andrade *et al.*, 2017; Beltran *et al.*, 2021).

Diversos trabajos han enfocado el estudio del stock de carbono en los primeros 0,30 m de profundidad. Sin embargo, a nivel global, el 56 % del carbono del suelo está distribuido en el primer metro de profundidad (Singh *et al.*, 2018) y puede ser afectado por manejos del suelo y cultivos (Munny *et al.*, 2021). Cultivos como el algodón (*Gossypium hirsutum*), presentan en sus tejidos vegetales, alta concentración de polifenoles que lo convierte en un residuo resistente a la biodegradación y con capacidad de retener humedad en el tiempo, lo que afectaría la cinética de su mineralización (Zibilske y Materon, 2005).

Este trabajo tiene por objetivo evaluar el efecto de tres secuencias agrícolas bajo riego y siembra directa, donde intervienen los cultivos de algodón (*Gossypium hirsutum*), maíz (*Zea mays*) y soja (*Glycine max*) sobre el stock del carbono orgánico en 0,80 m de profundidad, de un suelo *Haplustol Torriorténtico* del área de riego del río Dulce, Santiago del Estero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en un ensayo de larga duración ubicado en el campo experimental "Francisco Cantos" de INTA EEA Santiago del Estero, localidad La Abrita (Dpto Silípica, LS 28° 05' y LO 64° 05'). El suelo presenta textura franco limosa, moderadamente fértil y bien drenado. Se clasifica como *Haplustol Torriorténtico*, franca, gruesa, mixta, hipertérmica (Angueira *et al.*, 2007). El clima se clasifica como semiárido (DB4' da') según sistema Thornthwaite (Morello y Adamoli, 1974). La precipitación media anual es de 552 mm y la temperatura media anual es de 21°C. Todo el año se registra balance hídrico negativo.

Condición inicial del suelo: el ensayo se inicia en un lote de 10 ha que anteriormente tuvo un fahinal por 5 años producto del no uso agrícola desde 1999. Con anterioridad a esta fecha el lote era utilizado para producción agrícola con algodón como cultivo principal. Antes del inicio de las actividades del ensayo, se realizó el desmonte y nivelación de terreno. En 2005, el suelo no presentó limitaciones físico-químicas en los primeros 30 cm (Sanchez *et al.*, 2008; Galizzi *et al.*, 2012).

Tratamientos: Se estudiaron 3 secuencias de cultivos agrícolas anuales bajo siembra directa con riego, donde intervienen las siguientes especies: algodón (*Gossypium hirsutum*); soja (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*). Las secuencias analizadas fueron: T1-monocultivo de algodón (Al/Al)*, T5 algodón/maíz (Al/Mz) y T7 soja/algodón (Sj/Al) (*"barra" separa años). Cada tratamiento representa una secuencia de cultivos implantada en 2005. No se realizaron prácticas de fertilización en las secuencias.

Diseño estadístico y muestreo: las secuencias de cultivos (tratamientos) se distribuyeron en un diseño de bloques completo al azar, con 4 repeticiones. En cada parcela se extrajeron muestras compuestas de 5 puntos, hasta los 0,80 m en intervalos de 0,20 m, resultando cuatro profundidades (P1 a P4) siendo P1 (Profundidad 1, 0-0,20 m) hasta P4 (profundidad 0,60-0,80 m). Para la determinación de DAP por intervalo, se construyeron calicatas en cada parcela para extraer muestras por triplicado de cada nivel de profundidad. Los datos que se analizan en este trabajo corresponden al muestreo realizado en el año 2011, luego de la cosecha en los tres tratamientos.

Análisis de laboratorio: en cada nivel de profundidad, se evaluaron los siguientes parámetros: carbono orgánico total (Walkley-Black 1934, técnica semi-micro) y densidad aparente por método del cilindro (Blake and Hartge, 1986).

Cálculo de stock de COT: La evaluación de stock de carbono orgánico se determinó comparando masas de suelos equivalente para tener en cuenta las diferentes densidades del suelo en cada secuencia. Bajo la suposición de que la transición entre capas de suelos es lineal y continua, se utiliza una ecuación lineal que suma o resta porción de suelo para alcanzar la masa deseada según Poulton *et al.* (2003) citado por Berhongaray *et al.* (2013):



$$MC_{ms1} = MC_{p1} + \left[(MS1 - MS_{p1}) \times \left(\frac{MC_{p2} + MC_{p3} + MC_{p4}}{MS_{p2} + MS_{p3} + MS_{p4}} \right) \right] \quad (1)$$

donde MC_{ms1} es la reserva de COT a estimar para una masa del suelo $MS1$; MC_{p1} es la masa de carbono acumulada hasta profundidad $P1$; MS_{p1} es la masa del suelo hasta $P1$; MC_{p2} , MC_{p3} , MC_{p4} es la masa de COT acumulado hasta la profundidad $P2$, $P3$ y $P4$ y MS_{p2} , MS_{p3} y MS_{p4} es la masa de suelo acumulada hasta las profundidades $P2$, $P3$, $P4$. Se utilizó esta fórmula para comparar los stocks de COT en los distintos niveles de profundidad.

Análisis estadístico: los resultados se evaluaron mediante un ANOVA y los promedios se compararon mediante por el Test de diferencias mínimas significativas (LSD) con un nivel de significancia de 0,05. Se utilizó el software Infostat (Di Renzo *et al.*, 2020)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento promedio de los cultivos en los 6 años: el cultivo de algodón registro rendimiento promedio de 2489,5 kg.ha⁻¹ en la secuencia T1; 3417 kg.ha⁻¹ en T7 y 3022 kg.ha⁻¹ en T5; por otro lado, el cultivo de soja alcanzó rendimiento promedio de 3157,5 kg.ha⁻¹ (T7). El cultivo de maíz observó un rendimiento promedio de 9356 kg.ha⁻¹ en T5. En cuanto a la materia seca aérea producida considerando los 6 años, el cultivo de algodón registró un promedio de 8499,8 kg.ha⁻¹, la soja 5030,5 kg.ha⁻¹ y el maíz, 20281,3 kg.ha⁻¹ (Figura 1)

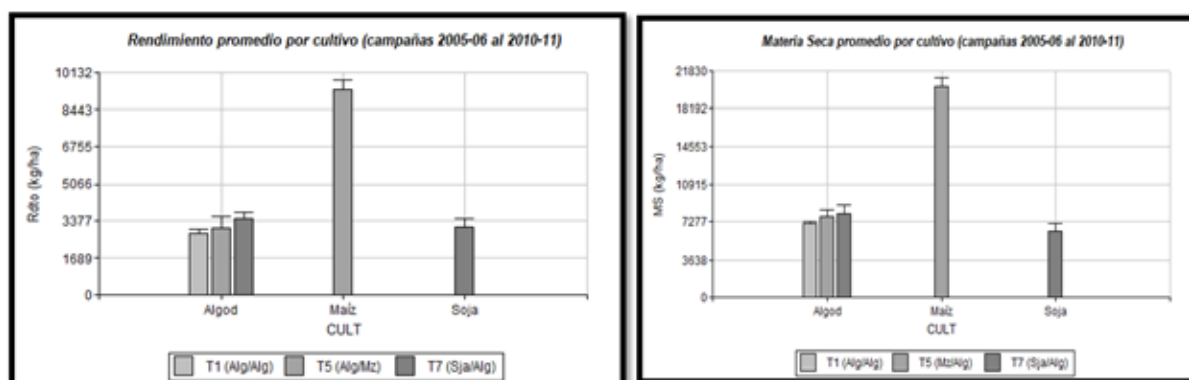


Figura 1: Rendimiento promedio de producto cosechado y de materia seca por cultivo en cada secuencia considerando las 6 campañas agrícolas (2005-06 al 2010-2011)

Carbono orgánico del suelo: Las tres secuencias analizadas mostraron efectos importantes en la concentración y distribución del COT en 0,80 m de profundidad ($p < 0,05$). El T5 (secuencia algodón/maíz) registró el mayor valor en concentración de COT (%) considerando la totalidad de las profundidades respecto de las otras secuencias, destacándose la mayor amplitud en diferencia de concentración, hasta los 0,60 m a favor de T5 (datos no mostrados). Sin embargo, al considerar masa de suelo equivalente para la profundidad de 0,80 m, se observó que el stock de COT es significativamente mayor en T1 y T5 respecto de T7 (Figura 2). Para una masa de suelo equivalente de 9800 t.ha⁻¹ (0-0,80 m), el orden decreciente de masa de CO en t.ha⁻¹ fue T1 (116,63) = T5 (116,94) < T7 (86,07). Estos valores son similares a los estimados por Villarino *et al.* (2014), quienes utilizando un modelo matemático para aproximar la cantidad de COS en 1 m de profundidad en suelos de Santiago del Estero, estimaron un promedio de 93 t/ha en suelos agrícolas.

Algunos autores han demostrado que existen cambios importantes en el COT de capas profundas del suelo en respuesta a varios factores como tipo de cultivo, textura de los horizontes, factores ambientales como humedad y temperatura, y características de los exudados radiculares (Singh *et al.*, 2018). La participación del cultivo de maíz en la secuencia T5, podría ser la causa de la mayor concentración del CO respecto de la

T7. En el caso de la secuencia T1, de igual comportamiento que T5, se debería a las características de sus rastrojos (alta concentración de polifenoles) que le otorgaría una resistencia química a la biodegradación en el tiempo (Zibilske y Materon 2005). Las raíces contribuyen en mayor medida al incremento del COT del suelo respecto de la biomasa aérea, y en el caso de las gramíneas puede ser hasta tres veces mayor (Wilhelm *et al*, 2004; Allmaras *et al.*, 2004). Luego, el tipo de cultivo y secuencia influyen en la distribución vertical de raíces afectando la distribución profunda del COT cuya velocidad de pérdida, decrece linealmente con la profundidad (Lorenz y Lal 2005), dependiendo de las características de los residuos y exudados radiculares (Villarino *et al.*, 2021).

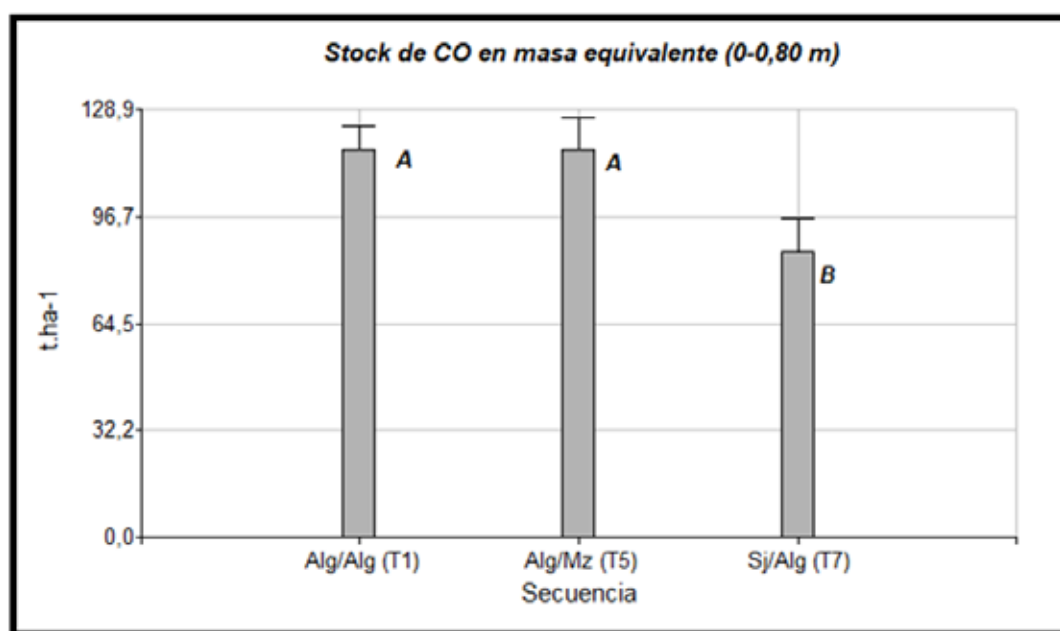


Figura 2: Stock de carbono orgánico total ($t.ha^{-1}$) en masa de suelo equivalente (9800 t/ha). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre secuencias ($p>0,05$)

CONCLUSIONES

En suelos del área de riego del río Dulce, Santiago del Estero, las secuencias agrícolas en siembra directa pueden afectar la cantidad y distribución del COS hasta los 0,80 m de profundidad en los primeros 6 años de implantación. Considerando masa equivalente de suelo en 0,80 m de profundidad, el monocultivo de algodón y la rotación algodón/maíz (1 cultivo por año) registraron mayor reserva de COT respecto de la secuencia soja/algodón (T7). La mayor amplitud de diferencias se ubicó en los primeros 0,60 m de profundidad a favor de T5. El tratamiento T1, a pesar de presentar similar stock de COT que la secuencia T5, requiere de combinarse con otros cultivos para tener cobertura en suelo y evitar procesos de degradación. Luego, la secuencia T5 (Alg/Mz) sería la mejor opción para los sistemas algodoneros de la provincia. Sin embargo, es necesario incrementar la investigación sobre dinámica y calidad de COT en 1 m de profundidad, para evaluar su comportamiento como sistema capaz de captar carbono orgánico, conservar la materia orgánica y calidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

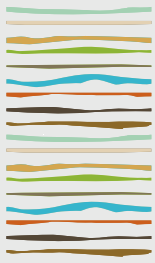
- Allmaras R., D. Linden and C. Clapp. 2004. Corn-residue transformations into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage, and stover management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1366-1375.
- Andrade F, M. Taboada, D. Lema, N. Maceira, H. Echeverría, G. Posse, D. Prieto, E. Sánchez, D. Ducasse, M. Bogliani, J. C. Gamundi, E. Trumper, J. Frana, E. Perotti, F. Fava y M. Mastrángelo. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina : satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental; Ediciones INTA. ISBN ISBN 978-987-521-860-4
- Angueira C., D. Prieto, G. Barraza y JM López. 2007. Sistemas de información geográfica de Santiago del Estero SIGSE V 2.0. INTA EEA



Santiago del Estero.

- Beltrán M., J. Galantini, F. Salvagiotti, P. Tognetti, S. Bacigaluppo, H. Sainz Rozas, M. Barraco y P. Barbieri. 2021. Do soil carbon sequestration and soil fertility increase by including a gramineous cover crop in continuous soybean? *Soil Sci. Soc. Am. J.*;85:1380–1394. DOI: 10.1002/saj2.20257
- Berhongeray G., R. Alvarez, J. De Paepe, C. Caride y R. Cantet. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. *Geoderma* 192: 97-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.016>
- Blake G.R, K.H. Hartge. 1986. Bulk density. A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Am. Soc. of Agron. Soil Sci. Soc. Am. Publisher, Madison, WI, USA (1986), pp. 363-375
- Dal Ferro N., Piccoli I., Berti A., Polese R. y Morari F. 2020. Organic carbon storage potential in Deep agricultural soil layers: Evidence from long-term experiments in northeast Italy. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 300: 106967. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106967>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Franzluebbers A. 2021. Root-zone enrichment of carbon, nitrogen, and soil-test biological activity under cotton systems in North Carolina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (85):1785–1798. DOI: 10.1002/saj2.20290
- Franzluebbers J. 2022. Root-zone soil organic carbon enrichment is sensitive to land management across soil types and regions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*(86):79–91. DOI: 10.1002/saj2.20346
- Frolla F., M. Angelini, M. Beltrán, G. Peralta, L. Di Paolo, D. Rodríguez, G. Schulz, C. Pascale Medina. 2021. Argentina: Soil Organic Carbon Sequestration Potential National Map. National Report. Version 1.0. Year: 2021. FAO.
- Galizzi F., M. Sánchez y A. Azar. 2012. Siembra directa y rotaciones: efectos sobre algunas propiedades del suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Kramer M. and Chadwick O. 2018. Climate-driven thresholds in reactive mineral retention of soil carbon at the global scale. *Nature Climate Change* (8): 1104–1108.
- Lal R. 2013. Soil carbon management and climate change, *Carbon Management*, 4:4, 439-462. DOI: 10.4155/cmt.13.31
- Lorenz K and R. Lal. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Advances in Agronomy*, Vol 88. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)88002-2
- Morello J. y Adamoli J. 1974. Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Republica Argentina.
- Munny N., Z. Khan and Hanif. 2021. Vertical distribution of soil properties and organic carbon under different land use systems in saline soils of Bangladesh. *Environmental Challenges* 4. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100097>
- Sánchez MC, FA Galizzi, RA Duffau & EA Azar. 2008. Agricultura sustentable en sistemas productivos con riego: valores iniciales de propiedades físicas y químicas del suelo en Santiago del Estero, Argentina. XXI CACS. ISBN 978-987-9260-61-6.
- Singh G., J. Schoonover, J. Williard, G. Kaur and J. Crim. 2018. Carbon and Nitrogen Pools in Deep Soil Horizons at Different Landscape Positions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* doi:10.2136/sssaj2018.03.0092
- Stockmann U., J. Padarian, A. McBratney, B. Minasny, D. de Brogniez, L. Montanarella, S. Hong, G. Rawlins and J. Field. 2015. Global soil organic carbon assessment. *Global Food Security* (6): 9-16. ISSN 2211-9124. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.07.001>
- Villarino S., G. Studdert y M. Angueira. 2014. Distribución vertical del carbono orgánico del suelo en Santiago del Estero. XXIV CACS. Bahía Blanca. Argentina.
- Villarino, S. H., Pinto, P., Jackson, R. B. y Piñeiro, G. 2021. Plant rhizodeposition: key factor for soil organic matter formation in stable fractions. *Sci. Adv.* (7) : eabd3176
- Willhelm W., J. Johnson, J. Hatfield, W. Voorhees and D. Linden. 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agron. Journal* 96: 1-17
- Zibilske L. and L. Materon. 2005. Biochemical Properties of Decomposing Cotton and Corn Stem and Root Residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:378–386.





EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LA SECUENCIAS MAÍZ- SOJA INCLUYENDO DISTINTOS CULTIVOS DE SEVICIO

Sanmarti N., Y.Z.^{1*}, S. Bacigaluppo¹, R. Pozzi², E. Tecco², M Treu², F. Salvagiotti^{1,3}

¹ INTA EEA Oliveros,

² CREA Sur de Santa Fe,

³ CONICET;

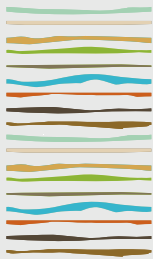
* Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Prov. de Santa Fe, sanmarti.nicolas@inta.gob.ar

RESUMEN

El agua es el recurso limitante de la producción agrícola en la región pampeana y conocer la demanda del sistema cuando se incluyen cultivos de servicios (CS) permitirá realizar la intensificación sostenible de nuestros sistemas en forma más eficiente. El objetivo de este trabajo fue determinar el consumo y eficiencia en el uso del agua en una secuencia maíz-soja incluyendo CS en suelos con diferente capacidad de almacenamiento de agua. Se realizaron dos experimentos en las campañas 2018/2019 y 2019/2020, en las localidades de Las Parejas (sur de Santa Fe) sobre un suelo Argiudol típico y Arias (sureste de Córdoba) sobre un suelo Hapludol típico en una secuencia maíz-soja que incluyó cuatro cultivos de servicio y un barbecho que se utilizó como control.: (i) Barbecho sin CS; (ii) Trébol persa, (iii) Rabanito forrajero, (iv) Vicia villosa y (v) Avena fatua. Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos con dos repeticiones. Se cuantificó el contenido hídrico del suelo con sonda de neutrones Troxler 4300, hasta los dos metros de profundidad. Se calculó la evapotranspiración en los tratamientos mediante la sumatoria de sucesivos balances hídricos parciales. En Las Parejas, el agua disponible durante los dos años fue de 2.120 mm. La secuencia que tuvo mayor evapotranspiración fue cuando se incluyó avena con 1.602 mm, mientras que la menor fue con trébol (1.555 mm). La eficiencia de captura del agua fue similar en los distintos tratamientos, promediando 75%. La eficiencia uso del agua, tomando en cuenta la biomasa vegetativa de CS y cultivos estivales fue de 6.9, 11.1, 14.0, 11.6 y 17.0 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para barbecho, trébol, rabanito, vicia y avena respectivamente. La productividad del agua para la producción de biomasa fueron de 5.2, 8.1, 10.4, 8.7 y 12.8 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para barbecho, trébol, rabanito, vicia y avena respectivamente. La eficiencia del uso de agua del rendimiento de la secuencia expresado como equivalente glucosa fue de 10.7 $\text{EqGlu ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, mientras que la productividad del agua de grano de la secuencia expresados en equivalente glucosa, promedió 8 $\text{EqGlu ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. En Arias, la disponibilidad hídrica fue de 1.800 mm de agua a lo largo de las 2 campañas. El tratamiento con vicia presentó la mayor evapotranspiración (1.593 mm) y el trébol la menor (1.495 mm). Las secuencias con vicia y avena presentaron la mayor eficiencia de captura con un 89%, por el contrario, el menor valor fue el trébol con 83%. La productividad del agua en función de la biomasa producida fue de 9.0, 8.3, 11.2, 14.3, 15.2 14.6 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, y la eficiencia de uso del agua para biomasa fue de 10.7, 10.0, 12.8, 16.1 y 17.1 14.6 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para barbecho, trébol, rabanito, vicia y avena respectivamente. La productividad del agua del rendimiento de la secuencias, expresados en equivalente glucosa, presenta valores promedios de 12.7 $\text{EqGlu ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. y la eficiencia del uso de agua para grano también expresado como equivalente glucosa es de 14.6 $\text{EqGlu ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

Palabras clave: Cultivos de servicios. Eficiencia uso del agua, Productividad del agua





CONSUMO Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN SECUENCIAS AGRÍCOLAS CON DISTINTO GRADO DE INTENSIFICACIÓN

Sanmarti, N^{1*}, S. Bacigaluppo¹, F. Salvagiotti^{1,2}

¹ INTA EEA Oliveros,

² CONICET;

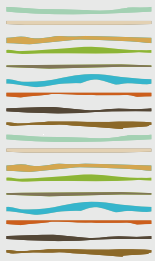
* Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Prov. de Santa Fe,
sanmarti.nicolas@inta.gob.ar

RESUMEN

En gran parte de la región pampeana la superficie agrícola está ocupada por monocultivo de soja en ambientes donde la oferta anual de precipitaciones es superior a 1000 mm. Dado que el consumo de agua de un cultivo de soja es de aproximadamente 550 mm, existe una sub-utilización de este recurso. La implementación de cultivos múltiples secuenciales permiten una captura mayor y más eficiente de recursos, sin embargo se necesita cuantificar el impacto de esta práctica en el uso del agua dado que es esperable que sistemas más intensificados tengan un mayor consumo de agua. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el consumo y la eficiencia en la utilización del agua (EUA) en secuencias de cultivos con distinto grado de intensificación. Las evaluaciones se realizaron en un ensayo de larga duración en INTA EEA Oliveros, sobre un suelo Argiudol típico serie Maciel. El experimento consistió en 4 secuencias de cultivo: 1) Soja-Soja (Sj-Sj); 2) Soja- cultivo de cobertura-Soja (Sj-CC-Sj); 3) Maíz-Soja-Trigo/soja (Mz-Sj-Tr/Sj) y 4) Maíz-Trigo/soja (Mz-Tr/Sj). Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se implantó trigo como cultivo de cobertura. Desde la campaña 2009/10 a la 2014/15, se midió periódicamente el contenido de agua en el suelo por horizonte, hasta 2 metros de profundidad, con sonda de neutrones y se registraron las lluvias diarias. A lo largo de los 6 años, el consumo total de agua (evapotranspiración total) en las diferentes secuencias fue de: 4583 mm en Sj-Sj, 4625 mm en Sj-CC-Sj, 4772 mm en Mz-Sj-Tr/Sj y 4605 mm en Mz-Tr/Sj, donde el 59%, 79%, 62% y 65% correspondió a la evapotranspiración de los cultivos de cada secuencia, respectivamente. Esto es debido a que la duración de los barbechos en cada secuencia fue diferentes, siendo en Sj-Sj, de 1434 días, mientras que en Sj-CC-Sj, Mz-Sj-Tr/Sj y Mz-Tr/Sj fue 45%, 19% y 33% menor que en el monocultivo, respectivamente. Los rendimientos de las secuencias a lo largo de 6 años expresado en kilogramos de equivalente glucosa por hectárea fueron de 38.689 para Sj-Sj, 37.893 para Sj-CC-Sj, 49.820 para Mz-Sj-Tr/Sj y de 52.798 para Mz-Tr/Sj. Lo que represento unas eficiencias de 8.4, 8.2, 10.4 y 11.5 EqGluha⁻¹mm⁻¹ para Sj-Sj, Sj-CC-Sj, Mz-Sj-Tr/Sj y Mz-Tr/Sj respectivamente. Lo que respecta a la EUA de biomasa vegetal a lo largo de 6 años fueron: 6.4, 10.6, 9 y 9.9 kgha⁻¹mm⁻¹ para Sj-Sj, Sj-CC-Sj, Mz-Sj-Tr/Sj y Mz-Tr/Sj respectivamente. Las secuencias más eficientes en el uso del agua fueron aquellas en las que hubo una mayor proporción de gramíneas y tuvieron menor proporción del tiempo en barbecho.

Palabras clave: Larga duración, Evapotranspiración, Eficiencia uso del agua





RELACIÓN ENTRE VARIABLES ATMOSFÉRICAS, PROPIEDADES Y RESPIRACIÓN DEL SUELO POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE POLIETILENGLICOL

Santos A. I.^{1,2,*}, K.F.F. Canteral¹, W.B. De Lucena¹, M.E. Vicentini¹, F.L. Siansi¹, J.C. Guerra¹, A.R. Panosso¹, N. La Scala Jr.¹.

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" FCAV/UNESP;

² Universidad de Panamá FCA/UP;

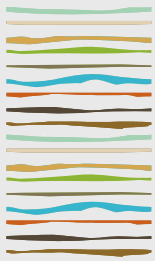
* Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n. 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil, santos.nicolella@unesp.br.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar las relaciones entre variables atmosféricas, propiedades del suelo y la respiración del suelo, después de la aplicación de Polietilenglicol 6000 (PEG6000) como modificador de la viscosidad del agua. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial cuatro por cinco con N muestral de 20; cuatro tratamientos a concentraciones de 0, 50, 75 y 100 gramos de PEG6000 por litro de agua (C0, C50, C75 y C100, respectivamente), con cinco repeticiones. Se emplearon los lisímetros de la Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil, cuyo suelo es clasificado como Oxisol y para cada tratamiento se aplicaron 2 litros de PEG6000 en lisímetros diferentes. Se colectaron los datos entre septiembre y noviembre de 2021 y se evaluaron los eflujos de dióxido de carbono (ECO_2) expresado en micromoles de dióxido de carbono por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) mediante un sistema automatizado (LI-8100, de la serie LI-COR Environmental); la captura de oxígeno del suelo (FO_2) dado en miligramos de oxígeno por metro cuadrado por segundo ($\text{mg de O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), por medio de un sensor de oxígeno en tiempo real; la humedad del suelo (SM) expresada en % y la temperatura del suelo (ST) en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), fueron medidas con un sistema portátil de reflectometría de dominio del tiempo y con termómetro digital respectivamente; la presión atmosférica y la radiación solar global (RSG) expresadas en hectopascales (hPa) y megajulios por metro cuadrado (MJ m^2) respectivamente, se adquirieron de los datos meteorológicos de la estación agroclimática de la UNESP y la viscosidad del agua del suelo (SWV) en Pascal segundos (Pa.s), se determinó mediante la ley de Stokes. Se realizó una matriz de correlación lineal de Spearman (r_s) entre las variables estudiadas, con un intervalo de confianza del 10 %, empleando el software estadístico R. Los resultados muestran que en el tratamiento C0 hubo una correlación positiva entre ECO_2 y SM ($r_s = 0,55$; $p < 0,10$) y una correlación negativa entre ECO_2 y FO_2 ($r_s = -0,40$; $p < 0,10$), mientras que FO_2 también se correlacionó negativamente con SM ($r_s = -0,43$; $p < 0,10$). En el tratamiento C50, se correlacionaron positivamente las variables ECO_2 y ST ($r_s = 0,64$; $p < 0,10$) y negativamente FO_2 con ST ($r_s = -0,26$; $p < 0,10$). En el tratamiento C75, hubo una correlación negativa entre ECO_2 y FO_2 ($r_s = -0,39$; $p < 0,10$) y una correlación positiva entre ECO_2 y SM ($r_s = 0,54$; $p < 0,10$). El tratamiento C100, solamente mostró correlación negativa entre ECO_2 y SWV ($r_s = -0,41$; $p < 0,10$). Las variables presión atmosférica y RSG no mostraron correlaciones significativas ($p > 0,10$) con los ECO_2 y FO_2 en ninguno de los tratamientos. En conclusión, las variables que explican mayoritariamente los ECO_2 en los tratamientos C0 y C75, son la FO_2 y SM, mientras que en C50 corresponde a la ST; por otro lado, la SWV explica los ECO_2 en el tratamiento C100. Con respecto a la FO_2 , en los tratamientos C0 y C75 es explicada por los ECO_2 y SM en el caso de C0, mientras que en C50 se explica por la ST.

Palabras clave: carbono del suelo, cambio climático, biopolímero.





¿SE REDUCEN LAS PERDIDAS DE CARBONO DEL SUELO VIA CO₂ AUMENTANDO LA VISCOSIDAD DEL AGUA?

Santos, A. I.^{1,2,*}, K.F.F. Canteral¹, W.B. De Lucena¹, M.E. Vicentini¹, F.L. Siansi¹, J.C. Guerra¹, A.R. Panosso¹, N. La Scala Jr¹.

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" FCAV/UNESP;

² Universidad de Panamá FCA/UP;

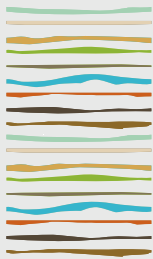
* Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n. 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil, santos.nicolella@unesp.br.

RESUMEN

Se plantea que la alteración de la viscosidad del agua del suelo influye en la respiración microbiana, y consecuentemente en las pérdidas de Carbono del suelo vía Dióxido de carbono (CO₂). Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de un producto modificador de la viscosidad del agua del suelo en los Eflujos de CO₂ (ECO₂), expresado en micromoles de CO₂ por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial cuatro por cinco con N muestral de 20; cuatro tratamientos a concentraciones de 0, 50, 75 y 100 gramos (g) de Polietilenglicol 6000 (PEG6000) por litro (L) de agua (C0, C50, C75 y C100, respectivamente), con cinco repeticiones. El estudio se desarrolló en un suelo Oxisol, entre septiembre y noviembre de 2021, donde se realizaron 25 colectas de datos. Se emplearon los lisímetros de la Universidade Estadual Paulista, Brasil y para cada tratamiento se aplicaron 2 L de PEG6000 en lisímetros diferentes. Después de 48 horas de la aplicación, se midieron los ECO₂ por medio de espectroscopia de absorción óptica en la región espectral infrarroja, con un sistema de la serie LI-COR Environmental (LI-8100, Biosciences, Nebraska EUA). Se empleó el análisis de varianza y de medias por la prueba de Tukey, con intervalo de confianza al 5 % para determinar la variabilidad temporal y diferencias de medias de los datos respectivamente, los cuales son expresados mediante (media \pm error estándar). Los resultados presentaron diferencias de ECO₂ entre tratamientos ($p < 0,01$), tiempo ($p < 0,01$) y la interacción de estos dos factores ($p < 0,01$). Los ECO₂ de los tratamientos C50 y C75 ($4,26 \pm 0,09$ y $4,00 \pm 0,08 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente) fueron menores con respecto a los de C0 ($5,38 \pm 0,08 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $p < 0,05$). Los ECO₂ mínimos en todos los tratamientos se registraron el día dos de colecta, donde las medias diarias en ese día fueron $3,68 \pm 0,33$; $2,96 \pm 0,22$; $2,57 \pm 0,19$ y $2,64 \pm 0,26 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para C0, C50, C75 y C100 respectivamente. Los ECO₂ máximos se observaron el día 13 para C0, C75 y C100 ($6,86 \pm 0,23$; $5,71 \pm 0,37$ y $8,40 \pm 0,47 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente) y el día 14 para C50 ($4,80 \pm 0,63 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Las emisiones de CO₂ totales a 60 días post aplicación de PEG6000 fueron 1168,01; 933,00; 867,33 y 1036,00 g de CO₂ m⁻² para C0, C50, C75 y C100 respectivamente; en ese periodo el tratamiento C75 emitió menos CO₂ en comparación al C0 ($p < 0,05$), representando una disminución de 25,74% y a pesar de que C50 y C100 no difirieron ($p > 0,05$), sus emisiones totales de CO₂ representaron una reducción del 20,12% y 11,30% respectivamente en comparación con las emisiones de CO₂ del tratamiento C0. En conclusión, la aplicación de PEG6000 en dosis de 50 y 75 gramos por litro de agua, redujo los eflujos de CO₂ durante el tiempo de estudio y las emisiones totales de CO₂ al final del estudio.

Palabras clave: respiración del suelo, cambio climático, biopolímero.





INFLUENCE OF THE APPLICATION OF BY-PRODUCTS FROM LIME MINING ON SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES

Santos, L. B. M.^{1,*} Moura, J. B.^{1,2} Souza, R. F.^{1,3} Santos, J. M.¹ Dias, T. V.¹ Barbosa, T. S.¹

¹ Sedmo - Soil Research Group, Ecology and Dynamics of Organic Matter, Evangelical College of Goianésia, Goianésia, Brazil. Evangelical College of Goianésia;

* Rua 42, nº 329, Bairro Dona Fiica, leticiabrunamedeiros@gmail.com;

² Graduate Studies in Social, Technological and Environment Science, Evangelical University of Goiás, Anápolis, Goiás Brazil, jadsonbelem@gmail.com;

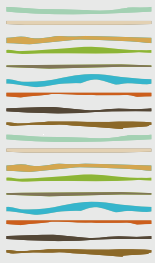
³ Graduate Studies in Natural Resources of the Cerrado, State University of Goiás, Anápolis, Goiás, Brazil

ABSTRACT

Limestone is one of the main agricultural inputs used in agriculture in tropical regions. It has the power to neutralize acidity, the main impeding characteristic of oxisols, in addition to being a source of nutrients such as calcium and magnesium. As it is a rock powder, its mining produces a residue that has chemical characteristics similar to those found in limestone, which can be classified as a by-product with high potential for agronomic use. Thus, this work aims to evaluate the potential of using limestone mining by-product to improve soil chemical attributes. The treatments consisted of 4 increasing doses of by-product equivalent to 0.8, 1.1, 1.45 and 1.8 Mg ha⁻¹, with ten replications, in a completely randomized experimental design, arranged in two factors, crushed residue and not crushed. The application of limestone mining residue proved to be efficient in improving soil chemical attributes. When evaluating the influence of the application on the levels of Calcium, Magnesium and Saturation by Bases, the treatment with 1.8 Mg ha⁻¹ not crushed presented higher values than the other treatments. The control treatment showed the worst rates, and the other treatments were statistically equal and positioned above the control treatment and below the treatment with 1.8 Mg kg ha⁻¹ not crushed. Limestone mining residue showed potential for improving soil chemical attributes and can be used as a soil conditioner.

Keywords: Cerrados, Tropical Savannas, Soil Acidity





ANÁLISIS ESPACIAL ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ALFALFA Y PROPIEDADES DEL SUELO USANDO HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN

Sartor, P.D.^{1*}, M.L. Masseroni¹, C.M. Aumassanne¹, D.R. Fontanella¹, D.S. Sainz^{2,3}, C.D. Zamora¹, C.O. Álvarez⁴, C.M. Di Bella⁵

¹AER 25 de Mayo (INTA),

²Instituto de Suelos, INTA Castelar,

³Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos (FAUBA),

⁴AER Gral. Pico (INTA),

⁵Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información (FAUBA).

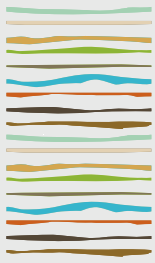
* Gral. Pico 720 (8201) – 25 de Mayo (La Pampa), sartor.paolo@inta.gob.ar

RESUMEN

En la cuenca media del río Colorado la heterogeneidad espacial en la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) adquiere relevancia productiva y económica por ser éste el principal recurso forrajero de la región. Una gran proporción de la variabilidad del rendimiento de este cultivo puede explicarse por la heterogeneidad espacial en las propiedades (contenido de nutrientes y disponibilidad de agua) y características del suelo (textura y espesor de horizontes de suelo). Una alternativa de manejo que ha cobrado relevancia es la delimitación de zonas de manejo uniforme, a través de índices espectrales, relieve, etc. Por lo anterior se planteó como objetivo estudiar la relación espacial entre la producción de alfalfa y algunas propiedades del suelo a través del uso de herramientas de teledetección. El estudio se realizó en 3 lotes con cultivo de alfalfa regados por pivotes centrales donde se seleccionaron 18 sitios de muestreos (6 en cada pivote) sobre los cuales se caracterizaron los niveles productivos (kg materia seca (MS)/ha), identificándose sitio con baja producción y sitio con alta producción, siendo el punto de inflexión 2000 kg MS/ha. Las determinaciones se realizaron en muestras obtenidas cada 30 cm en calicatas realizadas en cada sitio de estudio a una profundidad de hasta 1,2 m. Se realizaron las siguientes determinaciones: % Arena, Capacidad de Campo (CC), Agua útil (AU), conductividad eléctrica (CE) y sodio (Na). La información derivada de sensores remotos utilizada fue, un modelo digital de elevación (MDE) y el índice de vegetación mejorado (EVI). Las variables edáficas y la producción promedio de sitios de alta producción estimada a campo mostraron una correlación significativa. Para las profundidades analizadas las variables % Arena, CE, Na, AU y CC mostraron una correlación negativa. Estos resultados exponen que las variables analizadas condicionan fuertemente la producción de MS en estos sitios. Sin embargo, en aquellos sitios de baja producción de MS las variables que mayor condicionamiento ofrecen son la CE, contenido de Na y AU en todo el perfil. El MDE y la producción promedio (kg MS/ha) se correlacionaron de manera significativa ($r=-0,56$ $p=0,016$) con una regresión lineal que arrojó un R^2 de 0,31. La producción de alfalfa estuvo asociada significativamente al EVI ($r=0,76$ $p<0,0001$). El modelo general entre la producción de alfalfa y EVI, resultó significativo ($p<0,0001$) y presentó un buen ajuste lineal ($R^2=0,58$). A partir de los ajustes mencionados anteriormente, dadas a partir del MDE y el EVI se delimitaron 2 zonas de manejo: una zona altamente sensible, la cual se corresponde con zonas altas del MDE, es decir mayor CE y Na, y menor AU en 90 cm de perfil y valores bajos de EVI, lo que representa menor producción del cultivo; y zonas moderadamente sensibles, correspondientes a valores bajos de EVI, representado así valores de producción bajos. Esto pone en relieve la importancia de prestar atención a estas variables en la planificación y ejecución de planes de manejo de suelos para poder lograr una producción acorde a la inversión realizada.

Palabras clave: zonas de manejo, índice verde, EVI.





INFLUENCIA DE LAS CONSTANTES HIDRICAS DEL SUELO SOBRE LA PRODUCCION DE ALFALFA BAJO RIEGO EN 25 DE MAYO, LA PAMPA

Sartor, P.D. ^{1*}, M.L. Masseroni¹; D.S. Sainz^{2,3}, C.M. Aumassanne¹, D.R. Fontanella¹, C.D. Zamora¹, C.O. Álvarez⁴, M.A. Taboada⁵

¹AER 25 de Mayo (INTA),

²Instituto de Suelos, INTA Castelar,

³Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos (FAUBA),

⁴AER Gral. Pico (INTA),

⁵Cátedra Fertilidad y Fertilizantes (FAUBA).

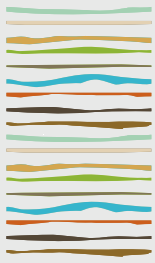
* Gral. Pico 720 (8201) – 25 de Mayo (La Pampa), sartor.paolo@inta.gob.ar,

RESUMEN

En la cuenca media del río Colorado la heterogeneidad espacial en la producción de pasturas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) adquiere relevancia productiva y económica por ser éste el principal recurso forrajero de la región. Los suelos del área bajo riego de 25 de Mayo (La Pampa) son de origen aluvial, lo cual otorga heterogeneidad espacial edáfica en la región, y esto se traduce en variabilidad en la producción de alfalfa dentro de los lotes. La cantidad (frecuencia y lámina aplicada) de riego tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo de alfalfa, dado fundamentalmente por el aporte de agua en ambientes semiáridos. Por ello el objetivo fue establecer relaciones del efecto/comportamiento de variables hídricas en función de la producción de alfalfa. El estudio se realizó en 3 lotes con cultivo de alfalfa regados por pivotes centrales con una superficie aproximada de 70 ha cada uno, con 3 y 4 años de implantación del cultivo. Se seleccionaron 18 sitios de muestreos (6 en cada pivote) sobre los cuales se caracterizaron los niveles productivos, identificándose sitios con baja producción (menos de 2000 kg MS/ha) y sitios con alta producción (más de 2000 kg MS/ha). Para la determinación de las constantes hídricas (Capacidad de campo (CC) y Punto de Marchites permanente (PMP)) se realizó en cada uno de los sitios calicatas hasta el metro de profundidad. Los análisis de ambas constantes hídricas mostraron valores más elevados en todo el perfil para los sitios de alta producción. Los mayores valores, en ambos grupos, se observan entre los 30 y 60 cm de profundidad para las 2 variables analizadas, 14 % y 19 % en CC, y 8 % y 11 % en PMP para sitios de baja y alta producción, respectivamente. Los contenidos medios de AU registrados fueron mayores en los sitios de alta producción (8,8 %) que en los de baja producción (6,2 %), lo cual valida la relación positiva entre la producción y el agua disponible en el suelo. La respuesta del rendimiento de alfalfa bajo riego está relacionada con la disponibilidad de agua en el suelo y con el desarrollo de las raíces, y en nuestro estudio consideramos que estos factores son aquellos que influyen en las diferencias encontradas en los grupos de alta y baja producción. De acuerdo a los valores observados de capacidad de almacenamiento de agua, el cultivo no está expresando todo su potencial de rendimiento, principalmente debido a una baja retención de agua o un riego deficiente. Realizar un riego eficiente permite crear y mantener en el suelo un equilibrio hídrico adecuado entre agua, aire y partículas de suelo, y, además, mayor eficiencia medioambiental.

Palabras clave: disponibilidad agua, riego, heterogeneidad edáfica.





EFFECTO EN EL TIEMPO DE LA DESCOMPACTACIÓN MECÁNICA EN UN HAPLUSTOL IRRIGADOS BAJO SIEMBRA DIRECTA

Savino, P.^{1,*}, N.A. Gomez¹

¹ INTA Santiago del Estero.

savino.patricio@inta.gob.ar , gomez.nestor@inta.gob.ar

RESUMEN

El Área de Riego del Río Dulce de la provincia de Santiago del Estero se caracteriza por presentar suelos con alta proporción de limo, un sistema de labranza convencional, riego por manto y una escasa rotación de cultivos. Esto junto con las altas temperaturas estivales, generan una progresiva degradación física y química del suelo. La introducción de la siembra directa (SD) en los sistemas productivos y la subsecuente descompactación mecánica del suelo, pueden ser parte de una solución para revertir los problemas de compactación. Con el objetivo de evaluar el grado de restablecimiento de los procesos de compactación bajo un sistema de siembra directa, monocultivo de algodón y riego por inundación, posterior a la descompactación mecánica con rastra y/o cincel, se estableció un ensayo en el Campo Experimental Francisco Cantos del INTA Santiago del Estero. El mismo contó con 3 bloques y 3 tratamientos. Dos de los tratamientos son sistemas de labranzas utilizados en la zona, para su descompactación (L1: Cincel + Rastra, L2: Rastra sola) y el tercero es un testigo (L3) donde se mantiene el suelo bajo siembra directa. Se evaluó resistencia a la penetración en los estratos de 0 a 5 cm y 5 a 20 cm. Los muestreos fueron realizados previo a la aplicación de los tratamientos (M1) y posterior a la descompactación, en noviembre de 2019 (M2), 2020 (M3) y 2021 (M4). Se estableció que entre los 5 a 20 cm, los valores de RMP fueron casi el doble respecto al estrato superior. En ambos estratos, tanto L1 como L2, en el tiempo M2, sufren una reducción de la compactación, por la aplicación de los tratamientos. Entre los 5 a 20 cm, L1 y L2 en M2 están 60% menos compactados que L3, mientras que estas diferencias desaparecen en M4, requiriendo así una nueva descompactación.

Palabras clave: descompactación mecánica, compactación de suelos, algodón

INTRODUCCION

El Área de Riego del Río Dulce (ARRD) de la provincia de Santiago del Estero es la de mayor importancia regional, contando con una superficie total de 275.365 ha. Los suelos son de origen aluvial y loésico, con alta proporción de limo, sometidos históricamente a un sistema de labranza convencional, riego por manto y escasa rotación de cultivos (Galizzi et al. 2014), lo que le imprime al sistema una alta vulnerabilidad. Dicha región se caracteriza por la producción de alfalfa, maíz, hortalizas y algodón. La producción de este último se realiza bajo labranza convencional y riego por manto. Este sistema productivo junto con las altas temperaturas estivales, generan una progresiva degradación física y química del suelo (Savino 2021). Por lo tanto, el cambio hacia un manejo más sustentable implica entre otras medidas, la introducción de la siembra directa (SD) en los sistemas productivos. La incorporación de este manejo, va acompañado de un movimiento de suelo, por debajo de los 10 cm, cada cierta cantidad de años, ya que son bien conocidos los procesos de compactación bajo este sistema (Álvarez et al. 2012), lo que sumado al riego por inundación y el monocultivo de algodón, aumentarían los factores predisponentes (Galizzi et al. 2014). En esta línea es de gran importancia definir la cantidad de años que deben transcurrir entre los procesos de descompactación de suelo, como así también determinar los implementos más apropiados para realizar esta acción sobre el suelo.



El objetivo del trabajo fue evaluar el grado de restablecimiento de los procesos de compactación bajo un sistema de siembra directa, monocultivo de algodón y riego por inundación, posterior a la descompactación mecánica con rastra y/o cincel.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se encuentra entablado en el Campo Experimental Francisco Cantos del INTA Santiago del Estero, a escasos 25 km al sur de la ciudad capital de la provincia, bajo un clima semi árido. El suelo del ensayo es un Haplustol torriorténtico, Serie La María, franco limoso (9 % arcilla y 57% de limo) y perfil A, AC y C. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con tres repeticiones y tres tratamientos de labranzas.

El sitio bajo estudiado provenía de 10 años de SD y en agosto del 2019 se realizó el primer muestreo (M1), allí se midió RMP con un penetrómetro de golpe modelo "INTA Villegas" en los estratos de 0 a 5, 5 a 20 cm de profundidad. Posteriormente se aplicaron los tratamientos de labranzas, L1: Cincel + Rastra, L2: Rastra sola y L3: SD, sirviendo este último como testigo. Luego de aplicados los tratamientos, todas las unidades experimentales continuaron bajo SD, posterior a la aplicación de los tratamientos. La siembra del cultivo de algodón fue realizada en noviembre de los años 2019, 2020 y 2021 para todos los tratamientos. Los muestreos de resistencia mecánica a la penetración (RMP), se realizaron en octubre de 2020 (M2), 2021 (M3) y 2022 (M4) sobre barbecho químico de algodón. Los datos fueron analizados por medio de modelos lineales generales y mixtos con el paquete estadístico Infostat 2015.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 1 puede observarse que tanto en los primeros 5 cm, como en el estrato de 5 a 20 cm, el efecto generado sobre la RMP esta influenciado por la interacción existente entre el sistema de labranza utilizado para la descompactación mecánica (L) y el tiempo de persistencia del efecto de dicha descompactación (T).

Tabla 1: Análisis del efecto en la RMP, de la descompactación mecánica con distintos sistemas de labranza, su permanencia en el tiempo y la interacción entre la descompactación y su persistencia, en las dos profundidades analizadas.

Profundidad (cm)	Labranza		Tiempo		Interacción L * T	
	f-Valor	p-Valor	f-Valor	p-Valor	f-Valor	p-Valor
0 a 5	7,64	0,003	17,58	<0,0001	17,01	<0,0001*
5 a 20	32,24	<0,0001	46,51	<0,0001	17,34	<0,0001*

Haciendo una evaluación de lo sucedido en el estrato de 0 a 5 cm, se puede observar en la figura 1 que existió una significativa caída de la RMP posterior a la aplicación de los distintos tratamientos de descompactación. En este sentido L1 y L2 pasaron respectivamente de 1,21 Mpa. y 1,19 Mpa., en tiempo M1, a 0,3 Mpa. posterior a la descompactación (M2). En esta línea, y evaluando lo sucedido solo M2, se observa una diferencia del 75,2% entre el tratamiento que nunca fue descompactado (L3), y los restantes tratamientos. Ya en la tercera (M3) y cuarta (M4) evaluación, con dos y tres campañas de algodón finalizadas respectivamente, las mencionadas diferencias con L3 se reducen en más de un 25%, encontrándose los valores de RMP entre 0,41 y 0,8 Mpa (figura 1). En las últimas dos campañas de evaluación, los niveles de RMP registrados son similares a los encontrados por Galizzi et al. (2014), Savino (2021) y Savino y Gómez (2021) en los primeros 5 cm de profundidad de Haplustoles Torriortenticos con más de 5 campañas bajo SD y riego por manto. Por lo tanto, se esperaría que sean éstos últimos, los valores de compactación propios de estos suelos bajo SD sin descompactar. Es de gran importancia aclarar que, entre los 0 y 5 cm de profundidad, ninguno de los tratamientos y en ninguno de los muestreos realizados se superó el valor crítico de 2 Mpa tomado por Drganc et al. (2000) como aquella compactación que afecta el normal crecimiento y desarrollo de las raíces del cultivo de algodón.



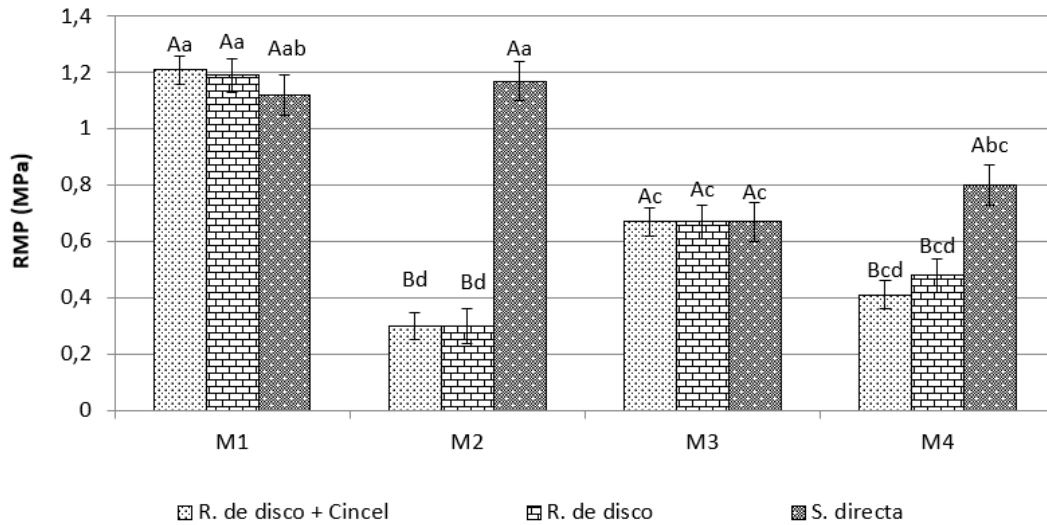


Figura 1. Resultados de RMP entre los 0 y 5 cm de profundidad correspondientes a los tres tratamientos evaluados en cada uno de los muestreos realizados. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$, test de Fisher) entre tratamientos para cada fecha de muestreo. Letras minúsculas distintas, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$, test de Fisher) entre muestreos para los tratamientos evaluados.

En la figura 2 se puede observar que entre los 5 y 20 cm de profundidad y previo a la aplicación de los tratamientos, la RMP de L1 y L2 fueron de 3,09 y 2,54 Mpa respectivamente y no se diferenciaron de L3. La descompactación en M2, los valores de los tratamientos L1 y L2 se redujeron en un 76,05 % y un 58,66 % respectivamente lográndose diferencias significativas con L3 quien registro 2,86 Mpa. Dos campañas posteriores a la aplicación de la descompactación mecánica (M4), los valores de L1 y L2 no se diferencian estadísticamente de lo registrado en L3 (2,31 Mpa). En este punto los 3 tratamientos superan el valor crítico de 2 Mpa, considerado por Drganc et al. (2000), como umbral, por lo que se afectaría el normal crecimiento y desarrollo de las raíces del cultivo de algodón. Los niveles de compactación registrados luego de 3 campañas de aplicar los tratamientos evaluados son 18,5% mayores a los registrados por Savino (2021) en suelos similares y con más de 8 campañas bajo SD y riego por manto.

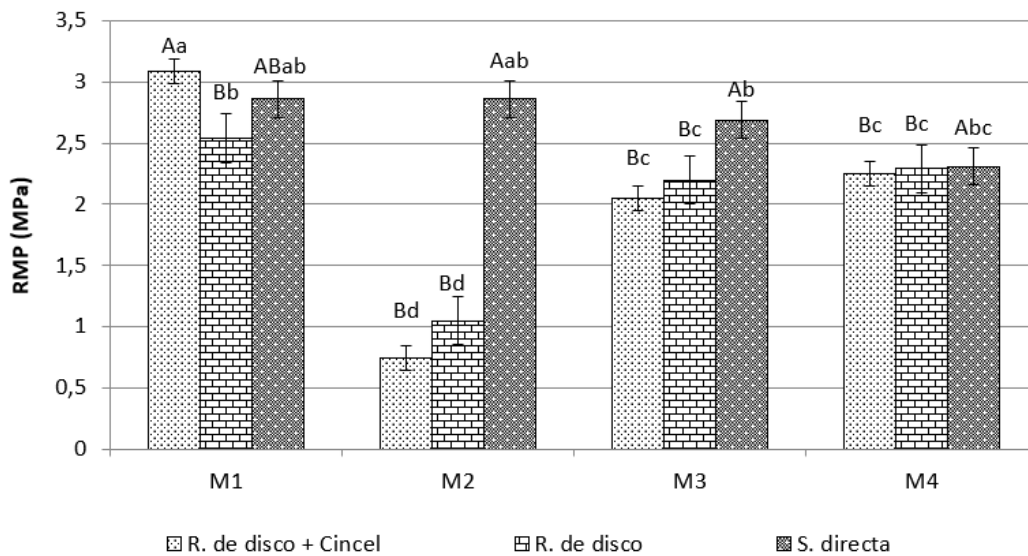


Figura 2. Resultados de RMP entre los 5 y 20 cm de profundidad correspondientes a los tres tratamientos evaluados en cada uno de los muestreos realizados. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$, test de Fisher) entre tratamientos para cada fecha de muestreo. Letras minúsculas distintas, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$, test de Fisher) entre muestreos para los tratamientos evaluados.



CONCLUSIONES

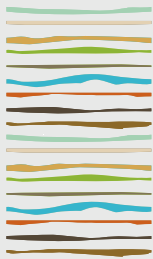
Estos resultados estarían dando indicios de que, bajo las condiciones aquí planteadas, la siembra directa no genera una compactación en entre los 0 y 5 cm contrariamente a lo que sucede entre los 5 y 20 cm. Este comportamiento podría asociarse a la mínima labranza generada anualmente y la mayor actividad biológica presente en los primeros 5 cm de profundidad. Por su parte, entre los 5 y 20 cm de profundidad, los niveles de compactación superan el valor crítico luego de dos campañas de realizada la descompactación mecánica, igualando, al testigo en la tercera campaña posdescompactación. Esto último estaría indicando que es el momento de tomar la decisión de descompactar nuevamente el lote luego de tres campañas de algodón.

Por otro lado, y haciendo una evaluación de los sistemas de descompactación utilizados, no es posible distinguir diferencias estadísticas entre los efectos generados por L1 y L2 con el paso del tiempo. A demás en ambos tratamientos los niveles de compactación se igualan al del testigo (L3) recién en la tercera campaña. Por tal motivo la implementación de L1 o L2 para reducir la compactación no sería un factor determinante para lograr una mayor persistencia de los efectos de descompactación sobre el tipo de manejo y suelo aquí estudiados. Por lo tanto, habría que comenzar a evaluar los distintos sistemas de descompactación en combinación con rotaciones de distintas especies de cultivos. En este sentido sería esperable que la presencia de diferentes sistemas radiculares y la persistencia de estos por mayor tiempo, mantengan el suelo con valores bajos de RMP por un número mayor de años luego de la descompactación.

BIBLIOGRAFIA

- Galizzi F. A., Bonelli C. L., González C. C., Sánchez M. C. y Duffau R. A. 2014. Condición física final de un suelo manejado con rotaciones bajo siembra directa. XXIV Congreso de Ciencia de Suelo. Bahía Blanca, del 5 al 9 de mayo del 2014.
- Álvarez C. R., Fernández P. L. y Taboada, M. A. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. Ciencia del Suelo. 30 (2):173-178.
- Drganc D. M., Ferreyra M., Corrales A., Gutiérrez N. y Venialgo C. 2000. Caracterización de la Resistencia Mecánica a la Penetración en suelos del Dorsal Agrícola Chaqueño sometidos a labranza cero. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000. A-08.
- Savino P. 2021. Alternancia de cultivos en la producción de algodón: su efecto sobre propiedades físicas y químicas de un Haplustol bajo riego del semiárido en Santiago del Estero. Trabajo Final de Graduación para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias del Suelo. 21 abril 2021.
- Savino P., Gomez N. A. 2021. Efectos en el tiempo de la descompactación mecánica de un Haplustol irrigado bajo siembra directa. XI Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo, Bahía Blanca- Argentina, 1 a 3 de diciembre de 2021





CAMBIOS A CORTO PLAZO EN VARIABLES FÍSICAS Y CARBONO DEL SUELO EN SECUENCIAS ROTACIONALES CON SOJA

Scaglione, J.^{1*}, S. Montico^{1,2}, G.A. Montero^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario;

² IICAR. CONICET;

* Campo Experimental Villarino S/N, (S2125) Zavalla, Prov. de Santa Fe, scaglionejosefina@gmail.com

RESUMEN

La evaluación del impacto de las prácticas de manejo requiere, entre otros aspectos, el desarrollo de indicadores sensibles en el corto plazo que permitan tomar decisiones de manera temprana. El objetivo de este trabajo fue evaluar, en el término de un año, los cambios en el carbono del suelo y algunas propiedades físicas en diferentes secuencias rotacionales en la localidad de Zavalla (Santa Fe). Los tratamientos analizados incluyeron soja como cultivo estival y variaron según la inclusión de cultivo de cobertura (CC) de triticale (CC-Sj), de trigo como cultivo de cosecha invernal (Tg-Sj) o el mantenimiento del barbecho (Bar-Sj). Los muestreos se realizaron al comienzo y al final de cada secuencia y las variables evaluadas fueron carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), resistencia mecánica a la penetración (RMP) y estabilidad estructural (EE). El COT mostró una tendencia de aumento en todos los tratamientos, mientras que en el COP se evidenció un incremento en el muestreo final en CC-Sj y una variación anual negativa en los restantes tratamientos. En cuanto a la RMP, el CC introdujo una disminución en el valor promedio, lo cual se asoció al efecto generado por las raíces durante su ciclo de crecimiento. La EE mostró un aumento anual en los tres tratamientos y que fue de mayor magnitud en CC-Sj. Por su parte, la secuencia Tg-Sj generó una mayor disminución anual en COP y EE y un incremento superior en RMP en relación con Bar-Sj. En conclusión, los resultados presentados reflejan, en el corto plazo, cambios favorables en la mayoría de las variables evaluadas asociados a la inclusión de CC de triticale como antecesor de soja.

Palabras clave: variaciones anuales, indicadores, cultivos de cobertura

INTRODUCCIÓN

Los cambios ocurridos en las últimas décadas en los sistemas de producción agropecuarios pampeanos se han orientado hacia la simplificación de las secuencias rotacionales, habiéndose incrementado notablemente la frecuencia del cultivo de soja (Wingeyer *et al.*, 2015). El menor aporte de residuos y de baja relación C:N por parte de la soja en comparación con otros cultivos (Wright & Hons, 2004), conduce a disminuciones en el contenido de carbono del suelo y, en consecuencia, una reducción en la productividad (Pittelkow *et al.*, 2015) ya que el carbono orgánico edáfico se encuentra directamente vinculado con propiedades físicas, químicas y biológicas (Martínez *et al.*, 2008). Por lo tanto, el manejo sustentable de los agroecosistemas debe enfocarse en mantener o incrementar su contenido (Martínez *et al.*, 2008). En este sentido, se ha sugerido el incremento en la intensidad de las rotaciones como una estrategia para aumentar la productividad de los cultivos mediante la incorporación de prácticas de manejo que promuevan la regulación y provisión de servicios ecosistémicos (Bommarco *et al.*, 2013). En particular, la inclusión de cultivos de cobertura (CC) se enmarca dentro de la intensificación sustentable de las rotaciones (Wittwer *et al.*, 2017) ya que, entre otros aspectos, permiten incrementar el aporte de residuos que actúan favorablemente sobre la agregación y el almacenamiento de carbono del suelo (Novelli *et al.*, 2017).



Dada la importancia de contar con valoraciones edáficas que provean información temprana como base para la evaluación de las prácticas de manejo (Cantú *et al.*, 2007), es que el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios anuales en algunas propiedades edáficas físicas y químicas, y vincularlos con la configuración de secuencias rotacionales que incluyeron soja como cultivo estival.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre un experimento instalado en el Campo Experimental Villarino (Zavalla, Santa Fe) durante la campaña 2020/2021. El mismo presentó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y el suelo sobre el cual se estableció correspondió a un Argiudol vértico, serie Roldán.

Los tratamientos evaluados fueron: Barbecho – Soja (*Glycine max*) (Bar-Sj); CC triticales (*x Triticosecale*) – Soja (CC-Sj); Trigo (*Triticum aestivum*) – Soja (Tg-Sj). Los muestreos se realizaron en dos momentos: al inicio de las secuencias (previo a la siembra del CC y el trigo) (M_i , 7/5/2020) y luego de la cosecha del cultivo de soja (M_f , 11/5/2021). El espesor de suelo analizado fue 0-20 cm.

Se estimó el contenido de carbono orgánico total (COT) mediante el método de calcinación (Chatterjee *et al.*, 2009) y de carbono orgánico particulado (COP) a través de la separación física de las muestras (Camardella & Elliot, 1992; Galantini, 2005) y el método Walkley-Black (Walkley & Black, 1934). Para ello, se extrajo una muestra compuesta por parcela.

Dentro de las variables físicas se analizó estabilidad estructural (EE) y resistencia mecánica a la penetración (RMP). La primera se determinó según la metodología propuesta por Hénin *et al.* (1958), para lo cual se tomó una muestra por parcela que se pasó por tamices de malla de 0.25 y 2 mm, de modo de conservar la fracción comprendida entre ambas medidas. Los resultados obtenidos correspondieron al porcentaje de agregados estables de la fracción anterior en el pretratamiento al agua (AEA). Por su parte, la RMP se midió con un penetrómetro digital Fieldscout SC900 y se efectuó la corrección de los valores al 18% de humedad edáfica (Cazorla *et al.*, 2012). En este caso, se tomaron cinco lecturas por parcela.

Se calculó la variación porcentual anual de cada variable (Δ), y las diferencias entre tratamientos y momentos de muestreo se estudiaron mediante Modelos Lineales Generales y Mixtos, empleando los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano de Información (BIC) para la selección de los de mejor ajuste. En los casos en que existieron diferencias significativas entre tratamientos y/o momentos de muestreo, las mismas se evaluaron con la prueba LSD-Fisher ($\alpha=0,05$). Los cálculos de ejecutaron a través de la interfaz de R incluida en el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existió interacción significativa entre tratamientos y momentos de muestreo en COT ($p=0,0003$) y AEA ($p=0,0119$), en tanto que COP y RMP no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ni momentos de muestreo ($p>0,05$).

El COT tuvo un incremento significativo entre el M_i y el M_f en todos los tratamientos, evidenciándose una variación anual similar entre ellos (Figura 1A). Estos resultados posiblemente reflejen variaciones transitorias que no conducen a la definición de una tendencia en el COT (Restovich *et al.*, 2011) y plantean la necesidad de realizar la evaluación durante un período de tiempo más extenso (Tan *et al.*, 2007). No obstante, estudios previos han indicado cambios anuales en el COT vinculados al aporte de materiales orgánicos en la rotación (Restovich *et al.*, 2011) y al análisis individual de diferentes fracciones de agregados (Thapa *et al.*, 2022).

Se ha reportado que las fracciones lábiles de la materia orgánica resultan indicadores más sensibles en el corto plazo de los efectos del uso del suelo (Galantini & Suñer, 2008). En este estudio, si bien las diferencias halladas no fueron significativas, el COP mostró un incremento asociado al aporte de materiales orgánicos por parte del CC que generó un aumento del 41,6% en el M_f con respecto al M_i (Figura 1B). Tales resultados son consistentes con lo observado por Romaniuk *et al.* (2018) quienes detectaron cambios anuales en el COP en el espesor de suelo de 0-5 cm debido a la inclusión de CC en las rotaciones. Esto se vincula con que



la presencia de residuos en superficie provoca un intenso reciclaje de carbono en los primeros centímetros del suelo (Wander, 2004) y, con ello, un incremento en la fracción particulada de la materia orgánica. No obstante, los cambios en el COP también varían en función de la calidad de los residuos, siendo que, aquellos con relación C:N más baja, sufren una degradación más rápida (de Sá Pereira *et al.*, 2017) y, en consecuencia, mayores cambios en esta fracción (Duval *et al.*, 2016). En este sentido, tanto Tg-Sj como Bar-Sj mostraron una disminución anual que, en la primera secuencia, se vinculó con la calidad de los residuos aportados por el trigo (elevada relación C:N), mientras que en la segunda se asoció con el aumento de la proporción de materiales orgánicos más resistentes debido a la ausencia de aportes durante el período de barbecho (Romaniuk *et al.*, 2018).

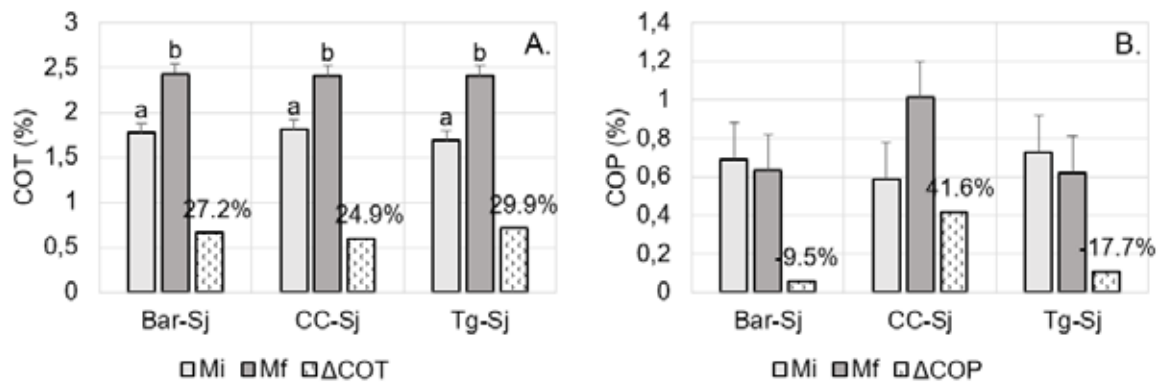


Figura 1. Valores promedio, desvío estándar y variación porcentual anual de COT (A) y COP (B). Letras distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo en cada tratamiento ($p < 0,05$).

En cuanto a la RMP, se destacó una disminución asociada al tratamiento CC-Sj y un aumento en Bar-Sj y Tg-Sj (Figura 2A). En todos los casos, tanto en el M_i como en el M_f , los valores registrados fueron superiores a 2000 KPa, el cual es considerado como umbral para el desarrollo normal de las raíces (Chen *et al.*, 2005). En relación al CC-Sj, la respuesta obtenida se explicó por el desarrollo radical del CC durante su ciclo de crecimiento, teniendo en cuenta que la abundancia de raíces se vincula negativamente con la RMP (Scianca *et al.*, 2013). Esto es así ya que la descomposición de las raíces deja canales o poros en el suelo que reducen la RMP y que pueden ser explorados con facilidad por las raíces de los cultivos siguientes en la rotación (Cresswell & Kirkegaard, 1995). No obstante, la secuencia Tg-Sj mostró el mayor incremento en la RMP en el período evaluado, lo cual pudo asociarse con la escasa contribución de los sistemas radicales, en particular del trigo, a generar cambios en el suelo, además del impacto de las operaciones de cosecha en ambos cultivos (Álvarez *et al.*, 2014). En el caso del Bar-Sj, el aumento anual en la RMP se vinculó con el menor volumen de residuos aportados durante esta secuencia, lo cual promueve la compactación asociada al tránsito de maquinarias (Gerster *et al.*, 2018).

El porcentaje de AEA mostró un incremento anual en todos los tratamientos y de mayor magnitud en CC-Sj (Figura 2B). Investigaciones previas han reportado la mejora en la condición estructural del suelo asociada a los CC, la cual se vincula con el aporte de residuos superficiales y subsuperficiales y la actividad radicular de los mismos (Acuña & Villamil, 2014). En particular, los materiales orgánicos subsuperficiales son fuentes de exudados que participan como agentes de estabilización en la agregación del suelo (Reid & Goss, 1981). Además, las raíces influyen en la formación y estabilización de agregados debido al entramado que generan en el suelo (Blankinship *et al.*, 2016). Esta respuesta también se vinculó con la variación anual de COP registrada en dicho tratamiento, teniendo en cuenta que las fracciones lábiles de la materia orgánica tienen un rol importante como agentes cementantes de los agregados del suelo (Six *et al.*, 2004), especialmente en el corto plazo. Además, el incremento registrado en CC-Sj resultó superior al de Bar-Sj, lo cual es coincidente con los resultados obtenidos por Castiglioni *et al.* (2016) quienes, en el período de un año, detectaron mayor EE asociada a los CC que en la condición de barbecho.

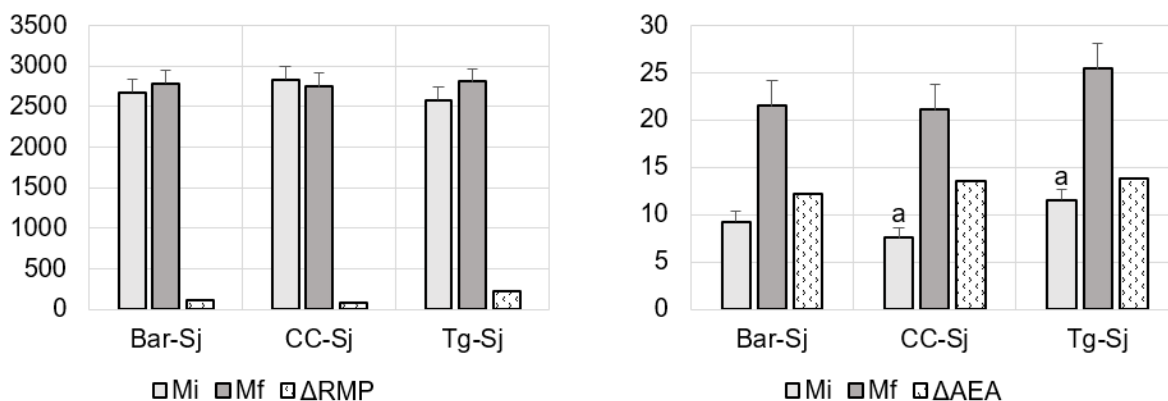


Figura 2. Valores promedio, desvío estándar y variación porcentual anual de RMP (A) y EE (B). Letras distintas indican diferencias significativas entre momentos de muestreo en cada tratamiento ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

En el corto plazo, los resultados obtenidos mostraron cambios favorables en COP, RMP y porcentaje de AEA asociados a la secuencia CC-Sj, en tanto que las respuestas de Bar-Sj y Tg-Sj fueron similares y denotaron una peor condición edáfica. Esto refleja ciertas ventajas inducidas por el CC de triticale como antecesor de soja que fomentan su incorporación en las secuencias rotacionales.

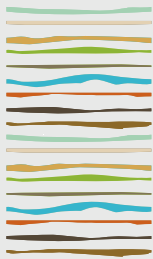
BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, JCM & MB Villamil. 2014. Short-term effects of cover crops and compaction on soil properties and soybean production in Illinois. *Agron J* 106(3):860-870.
- Álvarez, CR; MA Taboada; S Perelman & HJM Morrás. 2014. Topsoil structure in no-tilled soils in the Rolling Pampa, Argentina. *Soil Sci Soc Am J* 73:1242-1250.
- Blankinship, JC; SJ Fonte; J Six & JP Schimel. 2016. Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem. *Geoderma* 272:39-50.
- Bommarco, R; D Kleijn & SG Potts. 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol Evol* 28:230-238.
- Cambardella, C & E Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci Soc Am J* 56:777-783.
- Cantú, MP; AR Becker; JC Bedano & HF Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ci Suelo* 25(2):173-78.
- Castiglioni, M; R Navarro Padilla; M Eiza; R Romaniuk; M Beltrán & F Mousegne. 2016. Respuesta en el corto plazo de algunas propiedades físicas a la introducción de cultivos de cobertura. *Ci Suelo* 34(2):263-278.
- Cazorla, C; JJ De Battista; M Ferrari; O Gudelj; A Quiroga; MC Sasal; M Taboada & MG Wilson. 2012. Metodología de muestreo de suelo. Protocolo básico común: Estructura del suelo. En: DJ Santos; MG Wilson & M Ostinelli (eds.). *Metodologías de muestreo y ensayos a campo. Protocolos básicos comunes*. 1a ed. Pp. 25-56. Ediciones INTA. Paraná.
- Chatterjee, A; R Lal; L Wielopolski; MZ Martin; & MH Ebinger. 2009. Evaluation of different soil carbon determination methods. *Crit Rev Plant Sci* 28:164-178.
- Chen, Y; C Cavers; S Tessier; F Moreno & D Lobb. 2005. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil Till Res* 82:161-171.
- Cresswell, HP & JA Kirkegaard. 1995. Subsoil amelioration by plant roots. The process and the evidence. *Aust J Soil Res* 33:221-239.
- de Sá Pereira, E; JA Galantini & A Quiroga. 2017. Calidad de cultivos de cobertura en sistemas de siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ci Suelo* 35(2):337-350.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2020. InfoStat, versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.



- Duval, ME; JA Galantini; JE Capurro & JM Martínez. 2016. Winter cover crops in soybean monoculture: effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil Till Res* 161:95-105.
- Galantini, JA & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 25(1):41-55.
- Gerster, G; S Bacigaluppo; R Tossolini & V Sapino. 2018. Efectos y manejo de la compactación en suelos del centro-sur de Santa Fe. En: P Imbellone & C Álvarez (eds.). *Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos*. 1a ed. Pp. 326-343. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires.
- Henin, S; G Monnier & A Combeau. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann Agron* 9:73-92.
- Martínez, E; JP Fuentes & E Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Rev Cienc Suelo Nutr* 8(1):68-96.
- Novelli, LE; OP Caviglia & G Piñeiro. 2017. Increased cropping intensity improves crop residues inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil Till Res* 165:128-136.
- Pittelkow, CM; X Liang; BA Linquist; KJ Van Groenigen; J Lee; ME Lundy; N Van Gestel; J Six; RT Venterea & C Van Kessel. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517:365-368.
- Reid, JB & MJ Goss. 1981. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *Soil Sci Soc Am J* 32:521-541.
- Restovich, SB; AE Andriulo & C Améndola. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ci Suelo* 29:61-73.
- Romaniuk, R; R Navarro-Padilla; M Beltrán; M Eiza; M Castiglioni & F Mousegne. 2018. Efecto a corto plazo de la inclusión de vicia y trigo como cultivos de cobertura sobre el C, N y P en distintas fracciones de la materia orgánica, y la disponibilidad de macro y micronutrientes. *RIA* 44(2):48-60.
- Scianca, C; MF Varela; M Barraco; C Álvarez & A Quiroga. 2013. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de la pampa arenosa: análisis de cinco campañas. En: C Álvarez; A Quiroga; D Santos & M Bodrero (eds.). *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. 1a ed. Pp. 93-105. Ediciones INTA. La Pampa.
- Six J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Till Res* 79:7-31.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till Res* 92:53-59.
- Thapa, VR; R Ghimire; D Van Leewen; V Acosta-Martínez & M Shukla. 2022. Response of soil organic matter to cover cropping in water-limited environments. *Geoderma* 406:115497.
- Walkey, A & IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29-37.
- Wander, M. 2004. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: K Magdoff & RR Weil (eds.). *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Pp. 67-102. CRC Press.
- Wingeyer, AB; TJC Amado; M Pérez-Bidegain; GA Studdert; C Perdomo Varela; FO García & DL Karlen. 2015. Soil quality impacts of current South American agricultural practices. *Sustainability* 7:2213-2242.
- Wittwer, RA; B Dorn; W Jossi & MGA van der Heijden. 2017. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Sci Rep* 7:41911.
- Wright, AL & FH Hons. 2004. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. *Soil Sci Soc Am J* 68:507-513.





¿EL CAMBIO CLIMÁTICO Y USO DEL SUELO, TIENEN IMPACTO EN EL NIVEL FREÁTICO?

Scarabotti, D.S.¹, R.P. Marano², H. A. Busilacchi³

¹CREA- Región Santa Fe Centro, Salta 1590 – (2146), San Genaro, Santa Fe. Te 03401-15437122, E-mail: dscarabotti@gmail.com.

²Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional del Litoral; Kreder 2805 – (3800) Esperanza, Santa Fe. TE: 03496-420639, E-mail: rmarano@fca.unl.edu.ar.

³[Fac. de C. Agrarias. UNR](http://Fac.de.C.Agrarias.UNR)

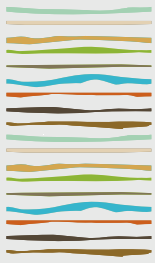
RESUMEN

En los últimos 50 años la producción agrícola de la región pampeana ha experimentado una profunda transformación, yendo desde un predominio de pasturas perennes para producción ganadera a un modelo basado en cultivos anuales, dominado en gran medida por la agricultura. En este período también se incrementaron las precipitaciones extremas en periodos de 2 a 5 días, modificando el balance hídrico y provocando incrementos en los niveles freáticos que ocasionaron importantes pérdidas productivas. Sin embargo, existen pocos estudios sobre el mecanismo que genera este ascenso. El objetivo de este trabajo fue determinar la asociación entre los cambios históricos en el nivel freático, las precipitaciones y el incremento del área dedicada a la agricultura en el centro sur de la provincia de Santa Fe.

Para realizar este trabajo, se obtuvieron datos mensuales de niveles freáticos, precipitaciones y evapotranspiración potencial de tres localidades del centro sur de la provincia de Santa Fe: Rafaela (1970-2015), Oliveros (1970-2015) y Zavalla (1970-2015). El área ocupada por agricultura en cada departamento (Castellanos, Iriondo y Rosario) se obtuvo de bases de datos del MAGyP. Para el análisis de los datos se trabajó con los desvíos acumulados de las precipitaciones respecto a la media mensual. Por su parte, el balance hídrico regional se calculó mensualmente a partir de los datos teóricos de la evapotranspiración potencial, afectándolos por la proporción de la superficie ocupada por cada cultivo a nivel departamental y el índice de cada uno de ellos respecto a la potencial. Se realizaron modelos lineales generalizados donde se evaluaron las relaciones entre el nivel freático, como variable dependiente, los desvíos acumulados de las precipitaciones y los desvíos acumulados del balance hídrico regional, como variables independientes. Si bien en las tres localidades los niveles freáticos ascendieron, en Rafaela, la tasa de ascenso fue de $8 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$, en Zavalla de $4.8 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$ y Oliveros $3.7 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$, asimismo la profundidad final fue 1m, 4.4m y 9.2m, respectivamente, pudiendo ésta última, estar relacionada con la cercanía a vías de escurrimiento primarias (mayor profundidad a más cercanía). Los modelos lineales mostraron un efecto significativo del desvío acumulado de las lluvias, como se vio en otros trabajos, y el balance hídrico regional. Este estudio demuestra que las variaciones a largo plazo en el nivel freático del centro sur de la provincia de Santa Fe pueden ser explicadas tanto por los eventos extremos como por los cambios en el uso del suelo que ocurrieron a partir de los años 70 con la intensificación de la agricultura.

Palabras clave: napa freática, agricultura, región pampeana.





FORESTACIÓN DE PASTIZALES: EVALUACIÓN DEL STOCK DE CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO TOTAL DEL SUELO

Schmidt, E.^{1,*}, M. Garay¹

¹ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS);

* San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Buenos Aires, Argentina, eschmidt@criba.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de la introducción de eucaliptos en el área de Ventania sobre los stocks de carbono orgánico (COT) y nitrógeno total (NT) edáficos, y la tasa de mineralización en relación a la vegetación natural. Se consideraron cinco montes forestales maduros de *Eucalyptus spp.* (ME) y sus áreas adyacentes que sostienen vegetación natural gramínea (VN) constituyeron la situación de referencia. El muestreo se realizó en tres profundidades del suelo mineral (0-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm). Las determinaciones efectuadas incluyeron densidad aparente (Dap), COT, NT y actividad microbiana (AM). Los resultados obtenidos no mostraron diferencias en los valores de Dap entre tratamientos, pero sí mayores niveles de COT en ME, con ganancias significativas de 126 Mg ha⁻¹ de COT y 7,2 Mg ha⁻¹ de NT en 0-100 cm bajo los árboles respecto a la VN. La calidad del COT también fue diferente con aumentos de 1,8 a 2,2 puntos en la relación C/N bajo ME en comparación con VN. La AM mostró una estratificación vertical, con valores máximos en 0-20 cm y decrecientes en 20-50 cm y 50-100 cm, diferenciándose entre tratamientos sólo en la capa superficial (VN: 270,5 mg CO₂ kg⁻¹ día⁻¹ vs. ME: 188,2 mg CO₂ kg⁻¹ día⁻¹). El mayor stock de COT junto con una menor AM indican que el tiempo medio de residencia del carbono secuestrado bajo ME sería mayor en el corto y mediano plazo. El reemplazo de la vegetación natural por montes de eucaliptos aumentó significativamente el stock de COT y NT en 0-100 cm, alterando también su calidad y tasa de mineralización, favoreciendo la acumulación de carbono en el suelo y un mayor tiempo de residencia.

Palabras clave: cambio en el uso de la tierra, eucaliptos, área de Ventania.

INTRODUCCION

De los reservorios terrestres que participan activamente del ciclo del carbono (C), el suelo es un componente crítico ya que intercambia activamente este elemento con la atmósfera. De este modo, cualquier variación que se produzca a nivel edáfico puede inducir grandes cambios en la concentración global de CO₂ a nivel atmosférico (Houghton *et al.*, 1997).

Los cambios ocurridos en el uso de la tierra, entendidos como el propósito y la forma en la que los atributos biofísicos de la superficie terrestre son manipulados (Turner *et al.*, 1995), representan una de las causas principales de las modificaciones de los stocks de carbono edáfico (COT). La deforestación mundial es considerada como la segunda fuente de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en todo el mundo y especialmente en Latinoamérica (IPCC, 2022). Por lo tanto, la forestación, que representa la introducción de especies arbóreas en tierras que históricamente no han contenido árboles actuaría como un sumidero de CO₂ (Minasny *et al.*, 2017; IPCC, 2022).

Por otro lado, los ciclos biogeoquímicos del C y el nitrógeno (N) están estrechamente relacionados entre ellos y se vinculan con indicadores biológicos tales como la actividad microbiana (AM). Estos parámetros



son considerados ampliamente como indicadores sensibles y tempranos del efecto de distintas prácticas en el suelo (Cai *et al.*, 2016; Mayer *et al.*, 2020).

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue cuantificar el impacto de la introducción de eucaliptos en el área de Ventania sobre los stocks de COT y NT, y la tasa de mineralización en relación a la vegetación natural. Como finalidad última, y considerando el contexto actual con diferentes escenarios previendo aumentos de temperatura globales (IPCC, 2022), se pretende generar información a escala regional sobre la permanencia del carbono secuestrado en forma estable, con el fin de buscar las actuaciones más adecuadas para potenciar el papel del suelo como sumidero de C.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en el sistema serrano de Ventania. Los sitios experimentales se ubican en relieves planos (pendiente < 1%) dentro del valle intraserrano Abra de la ventana, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. El clima es templado húmedo, la temperatura media anual es de 14.0°C y la precipitación media anual de 900 mm (Campo *et al.*, 2012). Fitogeográficamente el área se encuentra dentro del distrito Pampeano Austral, siendo la estepa de gramíneas la vegetación natural representativa. El edafoclima es údico-mésico y los suelos dominantes son Argiudoles y Hapludoles típicos y líticos. Para la realización de este trabajo se eligieron dos ecosistemas contrastantes. Por un lado, se consideraron cinco montes forestales maduros de *Eucalyptus spp.* de aproximadamente 75 años (ME). Para contrastar los resultados obtenidos, se ubicaron sectores adyacentes a los montes forestales que sostienen vegetación natural (VN) constituida por gramíneas cespitosas (situación de referencia, cuasiprístina). Dentro de cada monte se seleccionaron al azar 3 ejemplares de eucalipto. A 50 cm del tronco de los árboles y en distintas direcciones desde el mismo se tomaron muestras del suelo mineral disturbadas (con barreno) a tres profundidades (0-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm), previa remoción del mantillo (horizonte orgánico). Las mismas profundidades fueron muestreadas en VN. En ambos ecosistemas comparados se tomaron además muestras sin disturbar, a fin de calcular la densidad aparente (Dap) por el método del cilindro de Kopecky y la actividad microbiana (AM) por el método de desprendimiento de CO₂ (Soil Science Society of América, 1994). En laboratorio se removieron las raíces o restos vegetales identificables de las muestras de suelo disturbadas, las que luego fueron secadas al aire, mortereadas y tamizadas por 2 mm. Se realizaron las determinaciones de carbono orgánico total (COT) por el método de combustión seca LECO y nitrógeno total (NT) por el método micro-Kjeldahl. El contenido de COT y NT se transformaron en valores de stock mediante la siguiente ecuación:

$$Mg\ ha^{-1} = (x/100) * Dap * p * 10^4\ m^2ha^{-1}$$

donde Dap es la densidad aparente (Mg m⁻³); p es el espesor del suelo en metros y x es el contenido de COT o NT en porcentaje. Los resultados obtenidos se analizaron mediante Modelos lineales generales y mixtos del programa InfoStat. Como factores fijos se considerarán los tratamientos, la profundidad de muestreo y la interacción entre ambos. Los sitios de muestreo (cinco sitios - equivalentes a 5 bloques - en cada ambiente) y las repeticiones de los tratamientos se tomaron como factores aleatorios. Para la separación de medias se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa protegida de Fisher (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los ecosistemas comparados no presentaron diferencias significativas en la Dap en ninguna de las profundidades evaluadas (Tabla 1). Sin embargo, se detectó una tendencia de dicha variable a disminuir bajo los árboles, principalmente en la capa 20-50 cm. Los valores de Dap resultaron más bajos en el horizonte superficial (0-20 cm) y mostraron un incremento significativo (p<0,05) en las capas más profundas, tanto en ME como en VN.

El reemplazo de los pastizales naturales por rodales de eucalipto condujo a un incremento significativo en el COT almacenado en las tres profundidades consideradas (Fig. 1). Estos resultados obtenidos en los suelos



del área de estudio, y particularmente los observados en superficie (0-20 cm), estarían determinados por los compuestos arrastrados por el agua de lluvia, los aportes de hojarasca y la descomposición de raíces finas, y la posterior incorporación de éstas como MO al suelo mineral que, en climas templados, puede ser un proceso relativamente rápido (Fahey *et al.*, 2011; Thieme *et al.*, 2019). Además, la ganancia de COT también estaría influenciada por otros factores que pueden disminuir la actividad de los microorganismos y por lo tanto, la mineralización de la materia orgánica. Entre ellos se encuentran la menor temperatura y humedad (Pérez-Batallón *et al.*, 2001) y la progresiva acidificación del suelo bajo sistemas arbóreos. Respecto a este último punto, en el área de estudio se reportaron disminuciones significativas del pH en el horizonte superficial del suelo bajo montes de eucaliptos (Schmidt *et al.*, 2019). En concordancia con lo descrito, en este trabajo la AM resultó significativamente más baja en el horizonte superficial bajo los árboles respecto a la VN (Tabla 1). El mayor stock de COT junto con una menor actividad biológica indican que el tiempo medio de residencia del carbono secuestrado bajo ME sería mayor en el corto y mediano plazo.

Por otra parte, a partir de los 20 cm los valores de AM no mostraron diferencias significativas entre tratamientos y disminuyeron marcadamente con la profundidad

Tabla 1. Valores medios de densidad aparente (*Dap*), relación COT/NT y actividad microbiana (AM) en los suelos bajo vegetación natural (VN) y montes de eucaliptos (ME).

	Profundidad	VN	ME	<i>p</i> -valor
<i>Dap</i> (Mg m ⁻³)	0-20 cm	1,13 (0,04) Aa	1,11 (0,03) Aa	Tratamiento: 0,10
	20-50 cm	1,36 (0,05) Ab	1,25 (0,03) Ab	Profundidad: <0,0001
	50-100 cm	1,38 (0,04) Ab	1,34 (0,04) Ab	Interacción: 0,41
Relación COT/NT	0-20 cm	12,2 (0,2) Ac	14,4 (0,2) Bc	Tratamiento: <0,0001
	20-50 cm	11,2 (0,2) Ab	13,3 (0,2) Bb	Profundidad: <0,0001
	50-100 cm	10,0 (0,2) Aa	11,8 (0,2) Ba	Interacción: 0,53
AM (mg CO ₂ kg día)	0-20 cm	270,5 (19,5) Bc	188,2 (22,2) Ac	Tratamiento: 0,006
	20-50 cm	111,1 (19,5) Ab	113,0 (22,2) Ab	Profundidad: <0,0001
	50-100 cm	34,5 (19,5) Aa	69,1 (22,2) Aa	Interacción: 0,0001

Letras mayúsculas distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) y letras minúsculas distintas entre filas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

En general, en la mayoría de las investigaciones no se evalúa la cantidad de COT almacenado en las capas subsuperficiales más profundas del suelo (Cook *et al.* 2016), a pesar que se ha afirmado que, a nivel mundial, la proporción de carbono presente en los 30 cm superiores de los suelos representa alrededor del 45% del carbono presente en primeros 100 cm (Batjes, 2014), lo que resalta la importancia de las capas profundas en el almacenamiento de la fracción orgánica. Sin embargo, las raíces de las plantas y, por lo tanto, el aporte de materia orgánica, se extienden hasta los horizontes más profundos del perfil por lo que el nivel de COT se subestimaría en gran medida si dichas capas no son consideradas. En este estudio, el COT determinado en la capa 0-20 cm bajo ME fue el 34% del total secuestrado al metro de profundidad, lo que demuestra que las capas subsuperficiales (debajo de los 20 cm) también representan un importante sumidero de carbono, en concordancia con lo expresado por Zhang *et al.* (2015). Además, es importante considerar que en el ambiente del subsuelo la estabilidad de la materia orgánica es más elevada debido a las condiciones desfavorables para la mineralización, consecuencia de una menor actividad microbiana y una mayor recalcitrancia de la fracción orgánica, constituyendo un compartimento de secuestro de carbono de largo alcance temporal (Chang *et al.*, 2012).



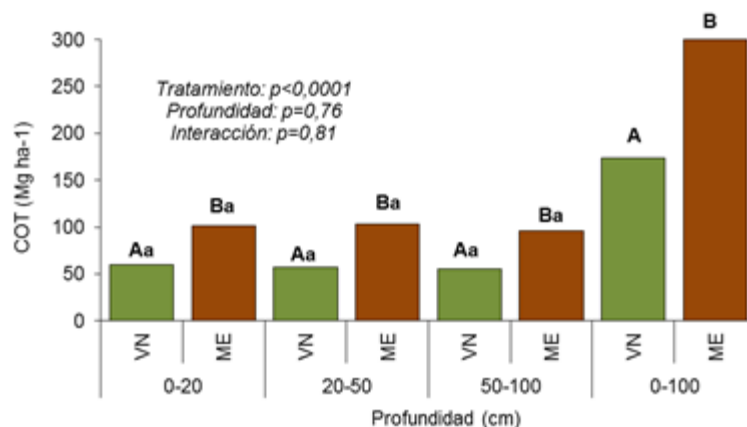


Figura 1. Valores medios de carbono orgánico total (COT) en los suelos bajo vegetación natural (VN) y montes de eucaliptos (ME).

Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) y letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades de un mismo tratamiento ($p < 0,05$).

Los incrementos de COT en ME respecto al pastizal natural fueron del 68%, 79% y 71% en las capas de 0-20 cm, 20-50 cm y 50-100 cm respectivamente. El stock de COT bajo los montes de eucaliptos (0-100 cm) fue de 299,6 Mg ha⁻¹, 126 Mg ha⁻¹ más elevado que el obtenido bajo la vegetación natural adyacente (Fig. 1). Si se considera que los montes tienen una edad aproximada de 75 años, los valores obtenidos representan una ganancia de COT de 1,7 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Este valor supera al informado por Minasny *et al.* (2017) quienes estimaron que globalmente, la conversión de tierras de cultivo en áreas forestadas tiene el potencial de aumentar el COT en un valor medio de 0,6 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Este incremento en los stocks de COT bajo eucaliptos también resulta superior al informado para otras especies en el área de estudio. Por ej., Garay *et al.* (2015) reportaron aumentos de COT de 87 Mg ha⁻¹ bajo montes forestales de pinos (0-90 cm).

Como era esperable debido a la estrecha relación existente entre la materia orgánica del suelo y los depósitos y flujos de nitrógeno edáfico, se observaron incrementos significativos en los stocks de NT en todas las profundidades evaluadas de los suelos implantados con eucaliptos (Fig. 2). De manera similar a lo observado para el COT, se encontró que el 69% del total del NT en los suelos bajo los montes forestales se encuentra a profundidades de 20 cm a 100 cm, ratificando la importancia de considerar en los muestreos las capas edáficas más profundas del perfil.

Considerando el espesor de un metro, se obtuvo un stock de NT de 22,9 Mg ha⁻¹ bajo ME respecto a los 15,7 Mg ha⁻¹ obtenidos para el ecosistema natural. Estos resultados difieren con los informados por Berthrong *et al.* (2009), quienes no detectaron diferencias de NT al comparar plantaciones de eucaliptos con vegetación natural. Otros autores (Graciano *et al.*, 2006) analizando una cronosecuencia de *Eucalyptus grandis* comprobaron que, a medida que se desarrolla el rodal, los contenidos de nitrógeno en el suelo van decreciendo y se incrementa su acumulación en la hojarasca.

La implantación de árboles en ambientes carentes de ellos no sólo causó modificaciones en la cantidad de COT, sino que también afectó la calidad de la materia orgánica edáfica, modificando la relación C/N. Este cociente resultó entre 1,8 y 2,2 unidades más elevado bajo los árboles respecto al pastizal natural, ocurriendo la mayor diferencia en el horizonte superficial (Tabla 1). Este incremento sería resultado de los mayores aportes de hojarasca con compuestos de carbono recalitrantes (Cavagnaro *et al.*, 2016) respecto al pastizal natural. Bajo estas condiciones se esperaría una mayor inmovilización del nitrógeno en los suelos forestales (Pérez Cruzado *et al.*, 2011), indicador potencial de una menor calidad de la materia orgánica del suelo.

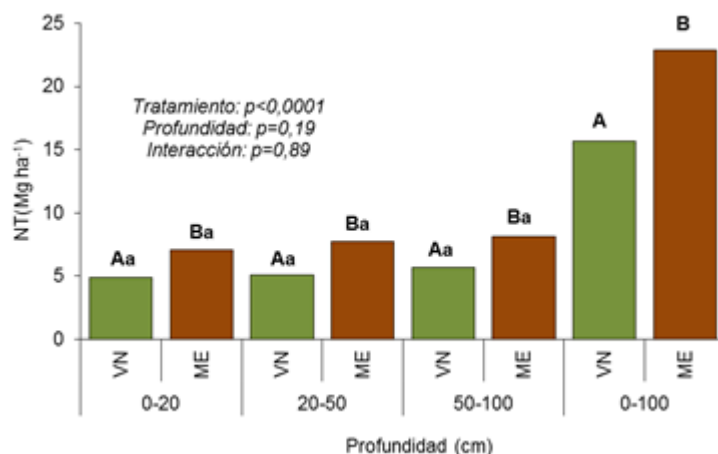


Figura 2. Valores medios de nitrógeno total (NT) en los suelos bajo vegetación natural (VN) y montes de eucaliptos (ME).

Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) y letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades de un mismo tratamiento ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

El cambio de uso de la tierra manifestado por la introducción de eucaliptos en el área de Ventania no modificó la densidad aparente de los suelos, pero sí condujo a cambios significativos de la cantidad y calidad de la fracción orgánica del suelo. Se registraron incrementos de 126 Mg ha^{-1} de COT y $7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de NT, además de aumentos de 1,8 a 2,2 puntos en la relación C/N respecto a las situaciones cuasi prístinas de referencia. También hubo cambios en la AM en el horizonte superficial (0-20 cm), observándose disminuciones significativas bajo los árboles, indicando una menor tasa de degradación de la materia orgánica. Se concluye que la forestación con dicha especie arbórea en el sudoeste bonaerense representaría una alternativa para el secuestro de COT en el mediano-largo plazo que podría contribuir a la mitigación del cambio climático.

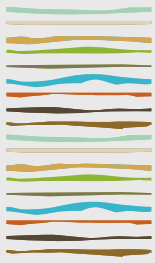
BIBLIOGRAFIA

- Batjes, NH. 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur J Soil Sci* 65:10-21.
- Berthrong, ST; EG Jobbágy & RB Jackson. 2009. A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, C and N with afforestation. *Ecol. Appl.* 19: 2228-2241.
- Cai, A; W Feng; W Zhang & M Xu. 2016. Climate, soil texture, and soil types affect the contributions of fine-fraction-stabilized carbon to total soil organic carbon in different land uses across China. *J. of Environ. Manag.*: 172: 2-9.
- Campo, M; P Rosell; G Benedetti & V Gil. 2012. Geografía física del suroeste bonaerense. Guía de observaciones de campo. IX Jornadas Nacionales de Geografía Física. Bahía Blanca, 19 al 21 de abril de 2012. Depto. de Geografía y Turismo, UNS.
- Cavagnaro, TR; SC Cunningham & S Fitzpatrick. 2016. Pastures to woodlands: changes in soil microbial communities and carbon following reforestation. *Appl. Soil Ecol.* 107: 24-32.
- Chang, R; B Fu; G Liu; S Wang & X Yao. 2012. The effects of afforestation on soil organic and inorganic carbon: a case study of the Loess Plateau of China. *Catena* 95: 145-152.
- Cook, RL; D Binkley & JL Stape. 2016. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. *For Ecol Manag* 359: 92-98.
- Fahey, TJ; JB Yavitt; RE Sherman; PM Groffman; MC Fisk & JC Maerz. 2011. Transport of carbon and nitrogen between litter and soil organic matter in a northern hardwood forest. *Ecosystems* 14: 326 - 340.
- Garay, M; N Amiotti; P Zalba & N Peinemann. 2015. Distribución vertical del contenido de carbono orgánico en dos ecosistemas contrastantes. En: *El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono*. de Sá Pereira, E; G Minoldo y JA Galantini (Eds.). INTA Ediciones. 1º Ed., Coronel Suárez, Bs. As. Pp: 72-76. 166 pág.
- Graciano, C; JF Goya & JL Frangi. 2006. *Eucalyptus Grandis* plantations in Argentina in the context of sustainable silviculture. Capítulo 2. En: Verne, NC (Ed.). *Forest Ecology Research Horizons*. Nova Science Publishers, Inc. 39-76 pp.



- Houghton, J; L Meira Filho; B Lim; K Treanton; I Mamaty; Y Bonduki; D Griggs & B Callander. 1997. Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC/OECD/IEA, Paris.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner, HO; DC Roberts; M Tignor; ES Poloczanska; K Mintenbeck; A Alegria; M Craig; S Langsdorf; S Löschke; V Möller; A Okem & B Rama (Eds.). Cambridge University Press. In Press.
- Mayer, M; CE Prescott; WE Abaker; L Augusto; L Cecillon; GWD Ferreira; J James, R Jandl; K Katzensteiner; JP Laclau; J Laganieri; Y Nouvellon; D Pare; JA Stanturf; El Vanguelova & L Vesterdal. 2020. Tamm Review: influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: a knowledge synthesis. For. Ecol. Manag. 466, 118127.
- Minasny, B; BP Malone; AB McBratney; DA Angers *et al.* 2017. Soil carbon 4 per mille. Geoderma 292: 59-86.
- Pérez-Batallón, P; G Ouro; F Macías & A Merino. 2001. Initial mineralization of organic matter in a forest plantation soil following logging residue management techniques. Ann. For. Sci. 58: 807-818.
- Pérez Cruzado, C; P Mansilla-Salineró; R Rodríguez-Soalleiro & A Merino. 2011. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. Plant and Soil 353: 333-353.
- Schmidt, E; F Bollo & M Garay. 2019. *Eucalyptus viminalis* L. en el área de Ventania: efectos sobre algunas propiedades edáficas superficiales. Ciencia del Suelo 37 (1): 91-100.
- Soil Science Society of America. 1994. Chapter 38: Carbon mineralization. Pp 835-863. In: Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties.
- Thieme, L; D Graeber; D Hofmann; S Bischoff; M Schwarz; B Steffen; U Meyer; M Kaupenjohann; W Wilcke; B Michalzik & J Siemens. 2019. Dissolved organic matter characteristics of deciduous and coniferous forests with variable management: different at the source, aligned in the soil. Biogeosciences 16: 1411–1432.
- Turner, BL; D Skole; S Sanderson; G Fischer; L Fresco & R Leemans. 1995. Land-use and land-cover change. International geosphere-biosphere programme and the human dimensions of global environmental change programme (Report N° 35). FAO, Estocolmo, 135 pp.
- Zhang, F; X Wang; T Guo; P Zhang & J Wang. 2015. Soil organic and inorganic carbon in the loess profiles of Lanzhou area: implications of deep soils. Catena 126: 68–74.





ESCURRIMIENTO Y PÉRDIDAS DE SUELO EN SISTEMAS EN TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA CON CONTROL MECÁNICO DE MALEZAS

Seehaus, M.S.^{1*}, E.A. Gabioud¹, M.C. Sasal¹, A. Cuatrin¹, N.V. Van Opstal¹, M.G. Wilson¹, A.B. Wingeyer¹

¹ Estación Experimental Paraná de I.N.T.A.;

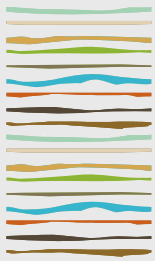
* Ruta provincial 11 km 12,5 Oro Verde. Prov. de Entre Ríos, seehaus.mariela@inta.gov.ar

RESUMEN

En las últimas décadas la producción agrícola en la región pampeana conlleva tanto un impulso sostenido de innovaciones tecnológicas como así también un uso creciente de insumos externos, principalmente plaguicidas y fertilizantes inorgánicos. En paralelo, se evidencia una mayor presión social que apunta a reducir o eliminar el uso de plaguicidas. El manejo de malezas con restricción en el uso de herbicidas, sumado al reporte creciente de especies resistentes, son los principales desafíos en la región. Frente a ello, se comienzan a evaluar estrategias alternativas como su control mecánico contemplando una mínima remoción del suelo. En Entre Ríos la erosión hídrica es un proceso asociado a sus características edáficas, topográficas y climáticas, y por ende resulta esencial el monitoreo de las prácticas que involucren un disturbio en el suelo. Los objetivos de este estudio fueron a) cuantificar las pérdidas de agua y suelo por escorrentía superficial en una secuencia de cultivos en transición agroecológica luego del uso de una rastra de reja plana para control total de malezas con mínima remoción de cobertura del suelo (BES) y b) compararlas con las pérdidas en otras secuencias de cultivo bajo siembra directa (SD). El estudio fue realizado en la Estación Experimental Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), sobre parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural, en un Argiudol ácuico, durante la campaña 2021-2022, luego del pasaje de BES (24/9/21) sobre un cultivo cobertura de trigo con antecesor maíz. Las secuencias de cultivo evaluadas fueron: maíz-trigo/soja en fase trigo/soja (M-T/S), monocultivo soja (S), monocultivo soja con trigo como cultivo de cobertura (CC-S) bajo SD; y transición agroecológica (TrA). Se registraron eventos de precipitación y de escurrimiento, y se determinaron las variables: escurrimiento (mm) y sedimentos erosionados (kg/ha). Se contabilizaron 8 eventos de precipitaciones (volumen total 378,6 mm) que generaron escorrentía. Los resultados estadísticos constan de análisis de correlación y modelo lineal para determinar el efecto de la secuencia y el impacto de la precipitación (covariable) sobre las pérdidas (agua y suelo). Los resultados muestran que las pérdidas de suelo y agua por escorrentía estuvieron correlacionadas ($r=0,64$). Los tratamientos no se diferenciaron en tasas de pérdidas (suelo y agua) frente a las precipitaciones y las diferencias encontradas se debieron a que parten de magnitudes diferentes ligadas al manejo propio de cada secuencia. Las pérdidas de agua fueron mayores en S y CC-S (14 y 10,5 mm, respectivamente) respecto de M-T/S y TrA (3,8 y 3,7 mm, respectivamente). Para suelo, M-T/S presentó las menores pérdidas (11,3 kg/ha), mientras que para TrA fue de 41,8 kg/ha, no difiriendo de S y CC-S (237 y 74,8 kg/ha, respectivamente). En el mismo periodo la parcela de referencia de suelo descubierto registró un valor de pérdida de 1032,3 kg/ha. Esta información resulta importante en el marco del monitoreo ambiental por el uso de implementos de laboreo. Según lo evaluado en este estudio, el uso estratégico del control mecánico no resultó en pérdidas significativas de agua y suelo en relación a las situaciones sin remoción y con secuencias similares.

Palabras clave: monitoreo ambiental, control mecánico de malezas, escurrimiento.





ÍNDICES PARA ESTIMAR LA DURACIÓN ANUAL DE LA COBERTURA VEGETAL VIVA EN ÁREAS AGRÍCOLAS

Sirimarco, X.^{1,3*}, M.P. Barral¹, S.H. Villarino^{2,3}

¹PADS EEA Balcarce INTA-CONICET, Ruta 226 Km 73.5, 7620, Balcarce, Argentina;

²Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Mar del Plata, Argentina.;

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

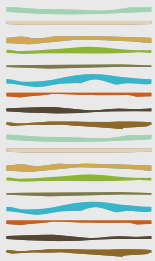
*ximesiri@gmail.com

RESUMEN

La salud edáfica depende en gran medida de la materia orgánica del suelo (MOS), la cual existe gracias a la presencia de vegetación viva sobre el suelo. Además, la vegetación protege al suelo frente a la erosión y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En las regiones agrícolas, donde los cultivos anuales abarcan una extensa área, el suelo suele permanecer desprovisto de cobertura vegetal viva durante varios meses al año. La siembra directa cubre el suelo con restos vegetales (rastreo) durante este periodo (barbecho), y previene de que se encuentre altamente expuesto a la erosión. Sin embargo, su efecto sobre la salud edáfica es muy diferente a mantener el suelo con una cubierta viva, esperando que esta última condición mantenga, o mejore, en mayor medida los procesos y las propiedades que sostienen la salud edáfica. Por lo tanto, conocer el tiempo de permanencia de la cubierta viva sobre el suelo en áreas agrícolas constituye un aspecto clave para evaluar los sistemas productivos a escala regional. En este trabajo se propone el uso de índices espectrales basados en sensores remotos para calcular la proporción que el suelo permanece desnudo y con vegetación viva durante el año. Se realizó una revisión de índices orientados a discriminar suelo desnudo y vegetación y luego, a partir de imágenes Landsat 8, se calcularon siete índices que combinan distintas bandas utilizadas tanto para la identificación de vegetación como de suelo desnudo. Se evaluó la capacidad de dichos índices de discriminar suelo desnudo y vegetación viva, utilizando un conjunto de datos con verdad de campo del año 2020 en el sudeste bonaerense ($n = 2686$). A partir de esta evaluación se encontró que en esta región, el NDVI y BSI son los más eficientes en discriminar ambas categorías. Con el objetivo de generar mapas de los últimos 20 años de la región con la proporción de suelo desnudo y vegetación viva en el año se realizó una fusión de imágenes Landsat y MODIS para capturar la buena resolución temporal de las imágenes MODIS y contar al menos con una imagen todos los meses y, al mismo tiempo, disponer de la mejor resolución espacial de las imágenes Landsat. A partir de esta fusión de imágenes se calculó el NDVI y BSI en los 12 meses durante el periodo 2000-2021. Utilizando el 70% de los puntos de verdad de campo, se seleccionaron los umbrales para determinar las reglas de decisión para discriminar las categorías de vegetación viva y suelo desnudo. Se calcularon las matrices de confusión con el 30% de los datos restantes (datos para la validación). Con el objetivo de disminuir el error de clasificar como suelo desnudo puntos con vegetación viva, se seleccionó una regla de decisión con la cual se obtiene una precisión total del 84%, con un error de este tipo del 12%. En futuros trabajos, se espera poder cruzar este mapa con un Mapa Nacional de Cultivos Extensivos para identificar la proporción que los diferentes cultivos y manejos dejan el suelo desnudo.

Palabras clave: índices espectrales, servicios ecosistémicos, clasificación





PROYECTO SOILGUARD: GESTIÓN DE LOS SUELOS PARA LA CONSERVACIÓN DE SU BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Sirimarco, X.^{1,2*}, L. Worcel³, J. Gaitán¹, A. Auer^{1,4}, M.P. Barral²

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

²IPADS EEA Balcarce INTA-CONICET, Ruta 226 Km 73.5, 7620, Balcarce, Argentina;

³Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires,

⁴Instituto de Humanidades y Ciencias Sociales (INHUS) - (CONICET - Universidad Nacional de Mar del Plata).

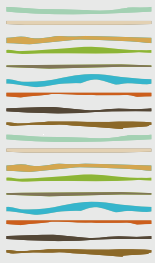
*ximesiri@gmail.com

RESUMEN

SoilGuard (*"Sustainable soil management to unleash soil biodiversity potential and increase environmental, economic and social wellbeing"*) es un proyecto financiado por la Unión Europea en el marco de la iniciativa Horizonte 2020. El proyecto comenzó a mediados de 2021 y finalizará en 2025, se organiza mediante un consorcio de 25 Instituciones de Europa, África, Asia y América Latina. El objetivo general es crear, mediante una investigación transdisciplinaria, pruebas sólidas sobre los vínculos entre la biodiversidad del suelo y su multifuncionalidad y cómo estos previenen la degradación de la tierra y el cambio climático. Así, a partir de estas pruebas, fomentar una gestión sustentable del suelo, aumentando la percepción social de la biodiversidad del suelo como una solución clave basada en la naturaleza para proteger el capital natural y al mismo tiempo, aumentar el bienestar social y económico. Particularmente, la participación de Argentina en este proyecto tiene como objetivo evaluar el impacto de la degradación de la tierra y la gestión del suelo en la biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos en el sudeste bonaerense. Para ello se seguirá un protocolo de muestreo de suelo basado en dos proyectos de evaluación de biodiversidad de suelo, LUCAS y SOIL BON. Se tomarán muestras para medir diferentes indicadores biológicos en sistemas productivos de trigo y cebada. Como primer paso, en base a información previa sobre los contenidos de carbono orgánico en suelo y el potencial de erosión hídrica, se generó un gradiente de degradación de tierras en el cual se analizarán los distintos indicadores en sistemas agrícolas orgánicos y tradicionales del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Se seleccionaron un total de 20 establecimientos con trigo o cebada, de los cuales 10 se encuentran en la categoría de "degradación baja" y 10 en "degradación media-alta" (la mitad de los lotes realizan agricultura orgánica y la otra mitad agricultura tradicional). Los muestreos de campo se realizarán en octubre y noviembre de 2022 y se realizarán distintas determinaciones tales como ácidos grasos de fosfolípidos (PLFAs), biodiversidad edáfica a través de análisis de eDNA, algunas propiedades físico-químicas, densidad aparente, infiltración, descomposición de la broza y daño foliar. A su vez, se realizará una encuesta a los propietarios o tomadores de decisión de los campos con el fin de conocer su percepción sobre la importancia de la biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos. A partir de la recopilación de esta información primaria armonizada, se evaluará el estado de la biodiversidad del suelo en distintas regiones del planeta y el impacto de la degradación de la tierra, la gestión del suelo y el cambio climático en la biodiversidad del suelo y sus servicios ecosistémicos.

Palabras clave: agricultura orgánica, cereales de invierno, degradación de tierras





LA BIOMASA Y DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN ESPONTÁNEA DEPENDE DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN PREVIO

Sokolowski, A.C.^{1*}, J. Wolski¹, A. Mollá Kralj¹, B. Prack Mc Cormick¹, H. Rodríguez¹, M. Barrios¹, E. Rodríguez Frers¹, J. De Grazia¹, S. Debelis.¹

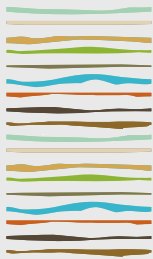
¹Universidad Nacional de Lomas de Zamora, FCA;
Ruta 4 - Km 2 (CP1836); Llavallol; Buenos Aires; soko576@hotmail.com

RESUMEN

El desafío de la agricultura es producir y al mismo tiempo conservar los recursos naturales. Las modificaciones del paisaje y la intensificación de la producción aumenta el uso de insumos externos, que reemplazan las interacciones naturales afectando la biodiversidad. Como consecuencia, la riqueza de especies herbáceas se ve disminuida hasta llegar incluso a la extinción de especies espontáneas. Esto ha llevado a cuestionar las prácticas agrícolas y a la necesidad de promover sistemas tendientes a conservar la biodiversidad. La vegetación espontánea un componente importante diversidad biológica del agroecosistema o agrobiodiversidad. Los sistemas hortícolas albergan una importante diversidad herbácea que permite mantener ciertos servicios ecológicos y cumplir funciones ecológicas dentro de los agroecosistemas. Es importante conocer y valorar esta vegetación, y entender que factores influyen sobre la biodiversidad de esta vegetación espontánea. Las prácticas de manejo afectan las propiedades edáficas y esto repercute sobre las especies herbáceas que se puede desarrollar. En este sentido, el objetivo del trabajo fue estudiar el comportamiento de la vegetación espontánea generada luego de un ensayo horti-flórica con diversos tipos de fertilización. El ensayo fue realizado en un campo ubicado en la sede experimental de Santa Catalina, Partido de Lomas de Zamora, Buenos Aires. El diseño experimental fue completo aleatorizado con un arreglo factorial de tres repeticiones. Dentro del factor cultivo se trabajó con haba (*Vicia faba L.*) pura, conejón (*Antirrhinum majus L.*) puro y cultivo mixto (conejón y habas) y dentro del factor fuente de nutriente se incluyó: Cama Pollo (CP) compostada un año, Fertilizante Químico (FQ) YaraMila_Hydrocomplex NPK 12-4,8-15 y un testigo (T). Se aplicaron 10,6 kg de CP en peso seco, 15 días antes de la siembra, y 220 gr de FQ por parcela, en presiembra y al mes de la siembra. Luego de la cosecha se dejó que la vegetación espontánea se desarrollara libremente. Se determinó materia seca (MS) total y además, MS por corte hasta peso constante, riqueza (R), equitatividad (J) y diversidad a través de los índices de Shannon-Weaver (H) y Simpson (S) el: 01/04/2021, 10/11/2021 y 07/03/2022 a través de la superficie cubierta. En cuanto a la MS no se observó interacción entre factor cultivo y factor fuente de nutrientes para ninguna variable, por lo que los factores se estudiaron por separado. En el factor cultivo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en ninguna variable. En cuanto al factor fuente de nutrientes, las parcelas bajo CP presentaron mayores valores ($p < 0,05$) de MS para la segunda y tercera fecha y en MS total. Al analizar la variación de los índices a lo largo del tiempo, dentro de T y CP, el comportamiento fue similar. Los mismos presentaron valores más elevados de H, S y J en el segundo corte (primavera) y el valor más alto de R en el tercer corte. En cambio, el FQ incrementó sus valores de diversidad (H y S) con los sucesivos cortes pues desciende marcadamente la dominancia. Estas diferencias podrían deberse al efecto que tiene el tipo de fertilización sobre las propiedades del suelo.

Palabras clave: horticultura, propiedades, a campo





RESPUESTA EN MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ AL RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN EL NOA

Sosa, F.A.¹, M.A. Lazarte¹, J.R. Sanchez¹, F. Scarola¹, O.R. Correa¹, D. Gamboa¹, A. Sanzano¹ y F. Ledesma¹.

¹ Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

W. Cross 3150, Las Talitas (4101), Tucumán. fasosa@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más cultivado del mundo con un importante rol en la producción de alimentos para consumo humano y animal, bioenergía, industrias tecnológicas y cultivo de rotación. La incorporación del riego por goteo subterráneo en zonas con déficit hídrico presenta ventajas agronómicas respecto a otros sistemas, pero el elevado costo de la inversión inicial hace lenta su adopción en cultivos extensivos. En este esquema, es definitorio el distanciamiento óptimo entre laterales de riego, ya que estos representan hasta un 70 % de la inversión inicial. Esta separación estará determinada por factores como el tipo de suelo, los patrones de enraizamiento de los cultivos, el manejo y el aporte hídrico pluvial. Existen experiencias en distintas zonas productoras del mundo y Argentina; en el NOA los estudios referidos a esta temática son escasos. En la campaña 2021-2022 se planteó un ensayo en el área granífera de Tucumán donde se evaluó la respuesta productiva en materia seca y grano de maíz a dos distanciamientos de laterales (1,05 y 1,30 m) y un tratamiento sin riego. Las precipitaciones totalizaron 475 mm y se aportaron 200 mm con el riego. No se encontraron diferencias significativas en producción de materia seca entre los tratamientos regados (15.7 t ha⁻¹ en promedio) que superaron en un 28% al tratamiento sin riego (12.3 t ha⁻¹). El rendimiento en grano fue similar entre los distanciamientos de laterales (10.3 t ha⁻¹ en promedio), estos superaron al secano en un 28 % (8 t ha⁻¹). En el presente estudio no se observaron diferencias significativas entre los dos distanciamientos de laterales evaluados. Sin embargo, se debe tener en cuenta todo el sistema productivo que incluye cultivos de invierno donde las precipitaciones son muy escasas.

Palabras clave: suelos, agua, granos.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más cultivado del mundo, su importancia económica se debe a que es un cultivo estratégico por su rol en la producción de alimentos para consumo humano y animal, en bioenergía, en industrias tecnológicas y como cultivo de rotación. Produce una elevada cantidad de biomasa y materia seca (MS) por unidad de superficie lo que se traduce en una mayor fertilidad del suelo y secuestro de carbono (Edwards, 2009; Garay y Colazo, 2015).

La producción en Argentina fue de 60 Mt en la campaña 2020/2021, con una superficie cosechada de 9,7 millones de hectáreas, representando un récord histórico en nuestro país (MAGyP, 2022). Ocupa el quinto lugar en producción mundial, después de USA, China, Brasil y la Unión Europea (Terré, 2020). En la provincia de Tucumán, la superficie cultivada en la campaña 2020/2021 fue de 95.410 ha (Fandos *et al.*, 2021).

Los requerimientos hídricos del cultivo de maíz son variables en las diferentes etapas de su ciclo productivo.



Estas necesidades se incrementan progresivamente desde emergencia hasta los estadios V9 y V10, para llegar al máximo de necesidades diarias desde estos estadios hasta principio de espigazón. De aquí en adelante, dicho requerimiento va decreciendo gradualmente hasta la madurez fisiológica (Rivetti, 2006).

El riego por goteo subterráneo (RGS) es una de las tecnologías con mayor proyección hacia el futuro ya que es promisoría en el uso del agua dulce. Las primeras evidencias sobre esta tecnología comenzaron a partir de la década del 70', en USA e Israel. Este sistema presenta una mayor eficiencia en el uso del agua respecto a otros sistemas (aspersión y gravedad), pues bajo esa tecnología se reduce al mínimo las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial y percolación profunda con una marcada reducción en la demanda evapotranspiratoria (Lamm *et al.*, 1995; Lamm y Trooien. 2003; Severina, *et al.*, 2014). Otra ventaja del RGS es la aplicación de nutrientes en la zona radicular, incrementando la eficiencia de la fertilización. Todo ello redundando en una mejora generalizada del rendimiento y producción de materia seca de los cultivos regados con RGS, incluyendo al maíz (Camp, 1998; Ayars, *et al.*, 1999; Lamm, 2002).

El RGS es una tecnología que está asociada principalmente a cultivos intensivos e industriales de alto valor comercial, debido a la elevada inversión que éste implica. Sin embargo, la escasez de agua ha llevado a una incorporación paulatina de RGS en cultivos extensivos como maíz, soja y trigo (Lamm y Trooien, 2003). Dentro de este esquema, resulta muy importante definir el distanciamiento óptimo entre laterales de riego, que permita incorporar la mínima cantidad de estos, ya que representan hasta un 70 % de la inversión inicial. Si bien se citan numerosas experiencias a nivel mundial y algunas nacionales, el distanciamiento entre laterales de riego estará determinado por factores locales como el tipo de suelo, los patrones de enraizamiento de los cultivos, el manejo y el aporte hídrico pluvial (Lamm, 2002; Severina *et al.*, 2018). En el Noroeste Argentino (NOA) estos estudios son escasos, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta del maíz en materia seca y rendimiento en grano a dos distanciamientos de laterales (1.05 y 1.30 m) de RGS y un tratamiento sin riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en la subestación Overa Pozo de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), en la localidad de San Agustín, Tucumán (26°50'10"S – 64°51'43"O (Figura 1). De acuerdo a la clasificación de Köppen (1900) el clima es Cwa con veranos moderadamente lluviosos e inviernos secos, con una temperatura media anual de 19° siendo la media del mes más cálido (enero) de 25 °C y la media del mes más frío (julio) de 11,5°C. El sector de estudio se encuentra próximo a la isohieta de 750 mm anuales concentrados en un 80% en los meses de noviembre a abril, la evapotranspiración media anual ronda los 950 a 1000 mm. Se trabajó sobre un suelo Haplustol típico (Zuccardi y Fadda, 1985) de textura franco limosa y capacidad de retención de agua útil media de 1,70 mm/cm en los 100 cm superficiales.



Figura N°1. Ensayo de riego por goteo subterráneo en granos. EEAOC. San Agustín. Tucumán. 2021.

Los tratamientos evaluados fueron (Figura 2):

- 1) Maíz con Fertirriego y laterales de riego a 1.05 m.
- 2) Maíz con Fertirriego y laterales de riego a 1.30 m.
- 3) Maíz en secano.



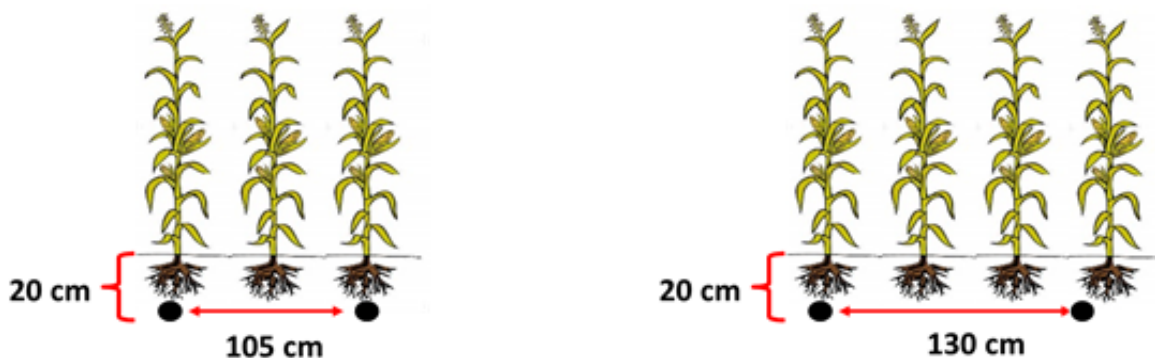


Figura 2. Posición de los laterales de riego respecto a las líneas de cultivo. Ensayo de riego por goteo subterráneo en granos. EEAOC. San Agustín. Tucumán 2021.

Estos tratamientos se distribuyeron en bloques totalmente aleatorizados con 4 repeticiones (Figura 1). La siembra se realizó el 7 de diciembre de 2020, híbrido NS 7818 Vip3. La densidad fue de 70.000 y 60.000 plantas ha^{-1} en los tratamientos con riego y secano respectivamente. Se hizo una fertilización de base con 70 kg de P_2O_5 ha^{-1} y 80 kg de N ha^{-1} , los tratamientos con riego recibieron además 150 kg de N ha^{-1} fraccionados vía fertirriego.

Los laterales de riego se enterraron a una profundidad de 20-25 cm (Dukes and Scholberg, 2005). Para el manejo del riego se tuvo en cuenta un balance hídrico generado a partir de un muestreo de humedad de suelos a una profundidad de 100 cm con una frecuencia de 7-10 días. El riego se realizó cuando se había consumido el 30 % del agua útil del suelo explorado por las raíces del cultivo. Las precipitaciones se registraron con una estación meteorológica ubicada a 1,4 Km.

Para estimar MS ($t\ ha^{-1}$) se cortaron 5 líneas de 3 m de largo en cada parcela en el estadio de R5-R6, a los 97 días de la siembra (5 de marzo, 2021). El corte se realizó ligeramente sobre el nivel del suelo, se pesaron en fresco todas las plantas y se tomaron 15 plantas representativas que se secaron a 70°C hasta peso constante en estufa (Camarasa, et al 2019). La estimación de producción de grano ($t\ ha^{-1}$) se realizó a partir de una muestra de 5 líneas de maíz de 5 m lineales cada una, estas muestras se tomaron manualmente cuando el contenido de humedad fue inferior al 20%. Se separaron manualmente los granos, se pesaron y se corrigió el peso a un contenido de humedad en grano del 14.5% (Rto).

Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con un test Fisher al 5% con el software Infostat (Di Renzo et al., 2016)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la campaña evaluada las precipitaciones totalizaron 475 mm y se aportaron 220 mm con el riego (Figura 3). Los aportes hídricos por lluvia fueron inferiores a los 500-800 mm requeridos para una producción adecuada. Si bien las precipitaciones fueron inferiores al promedio de la zona (Lamelas et al., 2006), su distribución fue bastante regular favoreciendo el balance hídrico del suelo (Figura 4).

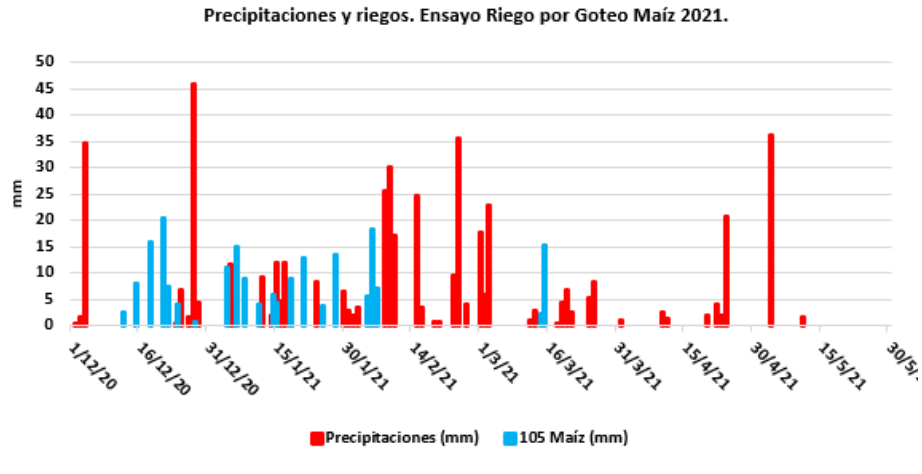


Figura 3. Precipitaciones y riegos aportados al maíz. Ensayo de riego por goteo, EEAOC. Overa Pozo. San Agustín. Tucumán. 2020-2021.

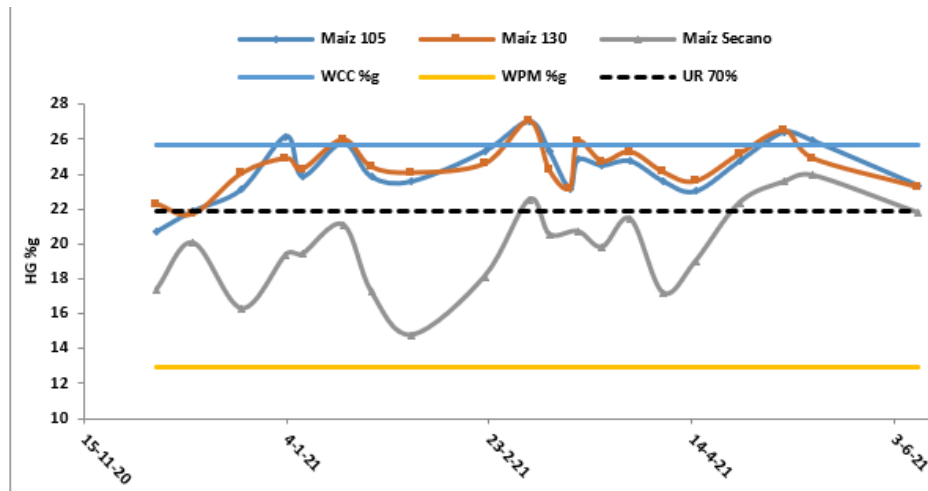


Figura 4. Humedad gravimétrica del suelo en los 100 cm superficiales para las tres tratamientos (maíz 1.05, maíz 1.30 y Secano). WC-C%g: Capacidad de campo, WPM%g: Punto de marchitez permanente y UR70% umbral de riego. Ensayo de riego por goteo, EEAOC. Overa Pozo. San Agustín. Tucumán. 2020-2021.

MS fue significativamente superior en los tratamientos bajo riego. No se observaron diferencias significativas entre los distanciamiento de laterales de riego (Tabla 1) (Figura 5). Una mayor disponibilidad hídrica generada por el riego (Figura 4) se tradujo en un aumento de las tasas de crecimiento y acumulación de carbohidratos en la planta (Edwards, J. 2009). Rivetti (2007) encontró diferencias también a favor de los tratamientos regados pero con valores absolutos y relativos mucho más altos.



Tabla 1. medidas de resumen de Materia Seca en R5-R6. Maíz riego por goteo Overa Pozo. San Agustín. Tucumán 2020-2021.

Tratamiento	Variable	n	Me-dia	D.E.	CV	Mín	Máx	Me-diana
1,05	MS total tn/Ha	4	15,0	1,8	12,2	13,0	17,0	15,0
1,3	MS total tn/Ha	4	16,3	3,6	22,1	13,0	21,0	15,5
SEC	MS total tn/Ha	4	12,3	1,0	7,8	11,0	13,0	12,5

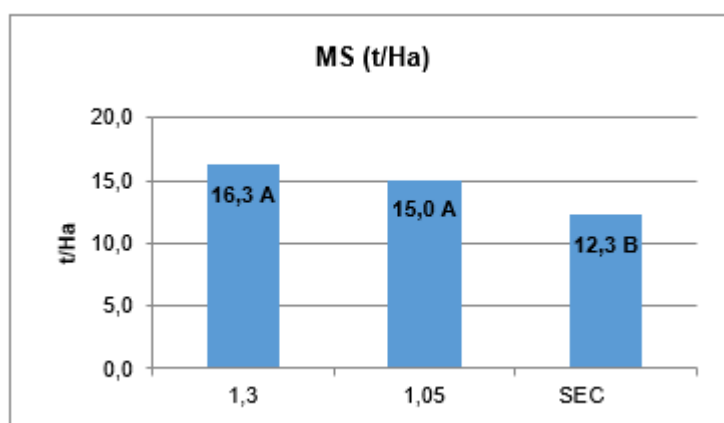


Figura 5. materia seca ($t\ ha^{-1}$) en R5-R6 para los tratamientos 1.05, 1.30 y Secano. Overa Pozo. San Agustín. Tucumán 2020-2021.

La variable Rto fue significativamente superior en los tratamientos con riego en relación al secano. No hubo diferencias entre los distanciamientos de laterales (Tabla 2) (Figura 6). La mayor acumulación de materia seca junto a un adecuado régimen de humedad del suelo permitió una mayor translocación en la etapa de llenado de granos en los tratamientos irrigados (Andrade *et al.*, 1996; Rivetti, 2006). El tratamiento R130 presentó rendimientos similares a R105, la conformación del bulbo de humedecimiento junto con la equilibrada distribución de las precipitaciones permitió un mayor espaciamiento de laterales sin mermas de rendimiento. La producción media de los tratamientos con riego ($10.3\ t\ ha^{-1}$) fue inferior a la citada en otros trabajos (Severina *et al.*, 2018). Factores como híbrido, fecha y densidad de siembra pudieron limitar el potencial en el presente estudio.

Tabla 2. Medidas de resumen de Rendimiento corregido al 14.5 % de humedad. Overa Pozo Tucumán 2020-2021.

Tratamiento	Variable	n	Me-dia	D.E.	CV	Mín	Máx	Media-na
R105	Rendimiento t/ha 14,5% H°	4	10,5	0,68	6,5	9,8	11,4	10,4
R130	Rendimiento t/ha 14,5% H°	4	10,2	0,68	6,7	9,2	10,8	10,3
SECANO	Rendimiento t/ha 14,5% H°	4	8,0	0,46	5,7	7,5	8,5	8,1



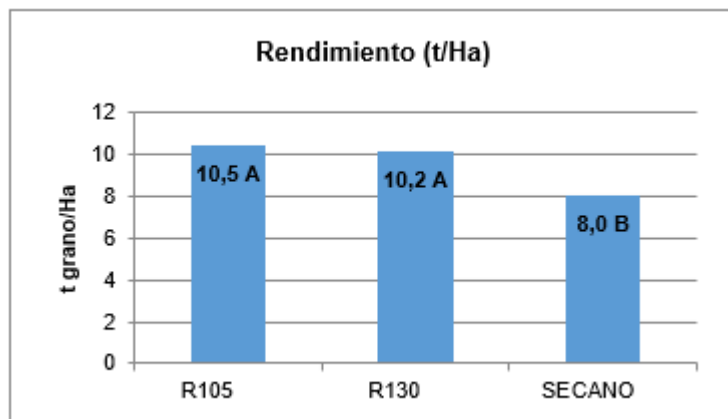


Figura 6. Rendimiento corregido al 14.5 % de humedad. Overa Pozo. San Agustín. Tucumán 2020-2021.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con riego produjeron una mayor cantidad de materia seca aérea y de grano en comparación con el secano.

No se evidenciaron diferencias significativas en materia seca ni en producción de granos entre los dos distanciamientos de riego.

El mayor distanciamiento (130 cm) entre laterales resultaría económicamente más conveniente, sin embargo, se debe tener en cuenta todo el sistema productivo que incluye otros cultivos como trigo y garbanzo en épocas de escasas precipitaciones.

Las precipitaciones ocurridas en el ciclo fueron menores al promedio pero con una buena distribución. Si bien los rendimientos bajo riego fueron superiores, estos fueron bajos en comparación con los citados en la bibliografía para un planteo intensivo con fertirriego. Factores como híbrido, fecha y densidad de siembra pudieron limitar el potencial en el presente estudio.

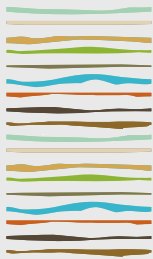
BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M.E. (1996). Eco fisiología del cultivo de maíz. Editorial Médica Panamericana. Crecimiento del cultivo, pág.47-76. Determinación del rendimiento, pág.81-96. Relaciones fuente/destino, pág. 101- 117. Requerimientos hídricos, pág. 121-142.
- Ayars, J. E.; Phene, C. J.; Hutmacher, R. B.; Davis, K. R.; Schoneman, R. A.; Vail, S.
- S. y Mead, R. M. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42(1), 1-27.
- Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353.
- Camarasa J N., Barletta, P. F y Larrosa F. 2019. Rendimiento de forraje y calidad nutricional con densidades bajas en maíz para ensilaje. *Revista Tecnológica Agropecuaria* Vol 10 N°40.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada M. y Robledo
- C.W. InfoStat versión (2016). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> [Consulta Noviembre 2021]
- Dukes, M. D., and J. M. Scholberg. 2005 "SOIL MOISTURE CONTROLLED SUBSURFACE DRIP IRRIGATION ON SANDY SOILS." *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 21(1): 89-101 2005 American Society of Agricultural Engineers ISSN 0883-8542
- Edwards, J. (2009). *Maize growth and development*. New South Wales, Orange, 50 p.
- Fandos, C.; Scandaliaris, P.; Carreras Baldrés, J.; Soria, F.; Devani, M.; Gamboa, D.; Ledesma, F y Espeche, C. (2021). Relevamiento de



- la superficie cultivada con soja, maíz y poroto en la campaña 2020 - 2021 en Tucumán y comparación con campañas precedentes. Reporte Agroindustrial 213.
- Garay, J. A. y Colazo, J. C. (2015). El cultivo del maíz en San Luis. información técnica 188. ISSN 0327 - 425X.
- Köppen, W. (1900). Versucheiner Klassifikation der Klimate, vorzugs weisenachihren Beziehungenzur Pflanzenwelt. – Geogr. Zeitschr. 6, 593–611, 657– 679.
- Lamelas, C. M.; Forciniti, J. D y Funes, C. (2006). Enfoque agroclimático del cultivo de la soja en el noroeste Argentino. En: Producción de soja en el noroeste Argentino. pp. 25-48. ISBN: 987-21283-1-6.
- Lamm F.R.; Manges H.L.; Stone L.R.; Khan A.H y Rogers D.H. (1995) Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. Trans ASAE 38(2):441–448.
- Lamm, F.R. (2002). Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. En International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands. 2002. p. 1-13.
- Lamm, F., and Trooien, T., (2003). Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. IrrigSci (2003) 22: 195–200.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina (2022). [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/_archivos/estimaciones/220000_2_022/210100_Enero/220121_Informe Mensual 2020-01-2022.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/_archivos/estimaciones/220000_2_022/210100_Enero/220121_Informe%20Mensual%202020-01-2022.pdf) [consulta Marzo 2022]
- Rivetti, A. R. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVIII. N° 2. 25-36.
- Rivetti, A. R. (2007). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N° 1. 29-39.
- Severina, I.; Boccardo, M.; Aimar, F.; Giubergia, J. y Salinas, A. (2014). El riego por goteo subterráneo y su adaptación a sistemas de siembra directa de la región central de la provincia de Córdoba. Dinámica del agua en el suelo y productividad de los cultivos. En 4° Reunión Internacional de riego.
- Severina, I.; Boccardo, M.; Aimar, F.; Giubergia, J.; Haro, R. y Salinas, A. (2018). Distanciamiento entre líneas de riego por goteo subterráneo: efectos sobre el crecimiento del cultivo de trigo en la región de Córdoba. INTA Manfredi-Córdoba. ISSN On line 1851-7994. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/4911>. [Consulta Marzo 2022]
- Terré, E. (2020). Producción y destino del maíz 2019/2020 en Argentina. Bolsa de comercio de Rosario. N° de edición 1946.pág 2-4. <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/78051>[Consulta Marzo 2022]
- Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. (1985). Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Publ. Misc. FAZ-UNT (86).





IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y SUS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN EN UNA MICRORREGIÓN AVÍCOLA

Sosa, A.^{1*}, L.F. Peltzer¹, A. Cabrera¹, S. Roda¹, C. Heinze¹, M. Saluzzio¹, J.J. Gvozdenovich^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER;

² INTA EEA Paraná;

* Ruta Provincial km 12,5 (3101), Prov. de Entre Ríos, sosaagustina96@gmail.com

RESUMEN

Los suelos de la República Argentina evidencian síntomas de erosión hídrica. La misma situación se observa en los de Entre Ríos, esto es debido a las características de sus paisajes ondulados, con lluvias de alta intensidad sumado a la presencia de suelos con horizontes subsuperficiales densos que limitan la infiltración de agua, lo que resulta en un escenario ideal para que se presente esta problemática. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la erosión hídrica y su impacto ambiental y económico en una cuenca avícola de Entre Ríos, con el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). La cuenca a analizar cuenta con 8.125 hectáreas totales y se encuentra enmarcada dentro de la MiCrA, que está compuesta por la ciudad de Crespo + 9 Aldeas. Para estimar la pérdida de suelo, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo aplicada al programa QGIS. Como resultado se obtuvo que aproximadamente 3.469 ha presentan pérdidas de suelo por erosión hídrica menores a 5 t/ha-1 año-1. Mientras que, con valores por encima de este límite tolerable para no comprometer la productividad de los cultivos, encontramos 2.220 ha que representan el 39% de superficie total con erosión, en las cuales se cultiva principalmente maíz y además no presentan tecnologías conservacionistas. Debido al impacto de la erosión hídrica, se deja de producir 75.250 kg por año del cultivo de maíz por la erosión hídrica, esto equivale a producir 783.851 huevos con un costo en la alimentación con maíz, lo que se traduce en una disminución en los ingresos de US\$77.037 por año.

Palabras clave: erosión, cuenca, avícola.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la República Argentina desde hace mucho tiempo evidencian síntomas asociados a la erosión hídrica. Desde el año 1957 el ex Instituto de Suelos y Aerotécnica estimaba que alrededor de 34.254.000 hectáreas estaban afectadas por procesos erosivos, y de ellas el 53,4 % (aprox. 18.300.000 hectáreas) sufrieron erosión hídrica. Los últimos datos de estimación de superficie erosionada en la Argentina son de 105.600.000 hectáreas, de las cuales el 61,17% (aprox. 64.600.000 hectáreas) sufrieron erosión hídrica. Teniendo en cuenta la superficie erosionada estimada en 1957 y 2015, el incremento en cincuenta y ocho años fue de 71.400.000 hectáreas (Casas y Albarracín, 2015).

La erosión hídrica es un tema relativamente conocido desde hace muchos años por su efecto en la degradación de los suelos, y por su impacto económico en la producción actual y futura. Es conveniente analizarla en el marco de las cuencas hidrográficas, que es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. No hay dos cuencas iguales, las características físicas de una cuenca y los recursos vivos que contiene, son únicos, así como los tipos de uso que se presentan. (Gaspari, *et al.*, 2009).



La Provincia de Entre Ríos presenta un paisaje ondulado, con lluvias de alta intensidad y suelos susceptibles a erosionarse debido a la presencia de horizontes subsuperficiales densos que limitan la infiltración de agua, aproximadamente el 70% de la superficie de tierra firme presenta suelos con características vérticas. Cuando el suelo está saturado, se producen excedentes de agua que no infiltran y que, al escurrir superficialmente, erosionan las pendientes y anegan las zonas más bajas (Scotta, 1995).

Numerosos trabajos demuestran la correlación positiva existente entre erosión hídrica y la pérdida de productividad de los suelos. Algunos valores que se pueden mencionar acerca de estas correlaciones hablan de una pérdida de Maíz del 39.5 al 60% (Scotta y Gvozdenovich, 2012). Trigo 10.8 % (Reyes *et al.*, 2013), Soja 22 % (Scotta *et al.*, 1991).

La variabilidad en el rendimiento está estrechamente asociada a la disponibilidad hídrica, la que depende del estado de degradación del suelo. El efecto de la mayor retención de agua tiene implicancia en el aumento de los rendimientos (Gvozdenovich y Papparotti, 2011).

Las producciones primarias son el motor de la provincia y de las economías regionales, en tal sentido, Entre Ríos es considerada la Capital Nacional de la Avicultura, en ella se producen el 50% de los pollos parrilleros y el 20% de los huevos consumidos en el país, desarrollándose principalmente en la Ciudad de Crespo y sus Aldeas Aledañas (MiCrA).

Se observa que la mayor concentración de granjas de producción de carne aviar por departamentos Uruguay, Colón y Gualeguaychú. En cuanto a las dedicadas a la producción de huevos, se ubican en el departamento Paraná. Dicha actividad se desarrolla sobre los suelos y paisajes típicos de la zona y no escapan a los peligros de erosión actual y potencial que sufren los campos en los que se produce maíz (principal insumo de la producción) y caminos de acceso a los mismos. La avicultura es responsable del 64% de los ingresos generados por el sistema productivo local, en el año 2012. (Solenio Wilches, 2015).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la erosión hídrica y su impacto ambiental y económico en una cuenca avícola de Entre Ríos, con el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

La subcuenca a analizar se sitúa en la provincia de Entre Ríos, departamento Paraná, (32°00'19.58" S - 60°16'38.70" O) enmarcada dentro de la MiCrA, que está compuesta por la ciudad de Crespo y 9 Aldeas (Figura 1). Cuenta con 8.125 hectáreas, de las cuales 4.742 son agrícolas, y aproximadamente 44,8% se cultivan con maíz, 7% de su superficie tiene soja de 1° y 42,3% trigo/soja. La superficie ocupada con pasturas y campo natural es de 947 hectáreas representando solo un 19,9 % de la superficie total, similar a la superficie de misceláneas que es de 800 ha (comprendida por casas, galpones de pollos, granjas, ciudades, aldeas, etc), a su vez, la cuenca en estudio tiene 202 galpones de pollos.



Figura 1. Ubicación de la cuenca. Línea negra: límite.

Para la estimación de pérdida de suelo, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE- (Wischmeier y Smith, 1978). Para el factor R Se utilizó el valor correspondiente al departamento Paraná, R= 669 (Donda *et al.*, 2018). Para el cálculo del factor K se obtuvo la carta de suelos de Entre Ríos del GeoINTA se utilizó la herramienta “corte por capa de máscara” y se obtuvo la carta de suelo de la cuenca con las series de suelo correspondientes.

Para el factor C se utilizaron datos provenientes de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (comunicación personal Pablo Fontanini, responsable Proyecto SIBER BCER) se realizó una superposición del mapa con los lotes y se determinó dos rotaciones que consisten en una agrícola (Soja-Trigo/Soja-Maíz) y otra ganadera (Pastura de 3 años-Avena/Moha).

Se obtuvieron para el factor P los datos publicados por Pioto *et al.* (2018), con la superficie sistematizada y sin sistematizar, en base a estos datos se reclasificaron los lotes en función del estado de las terrazas considerando la siguiente escala: Muy bueno: 0.5 Bueno: 0.7 Regular: 0.8 y Sin Terrazas o Malo: 1, según el criterio publicado por Gvozdenovich *et al.* (2020). El factor conjunto LS de la USLE responde al efecto combinado de la longitud y el grado de inclinación del terreno. Se obtuvieron las curvas de nivel del IGN, para posteriormente elaborar el Modelo Digital de Elevación, luego se llevó al Saga GIS con el cual se calculó el factor LS de la USLE, según la metodología propuesta por Kinderknecht (2017).

Para determinar el valor A que es la pérdida anual de suelo, se rasterizaron todas las capas obtenidas anteriormente y se las multiplicó por medio de la calculadora raster del programa QGIS, obteniendo así el valor de pérdida de suelo para cada píxel, a nivel de lote y cuenca.

Para realizar el análisis económico se utilizaron los datos obtenidos de la pérdida de suelo, convertidos a centímetros de suelo y esto se relacionó con la pérdida de rendimiento potencial del cultivo maíz, ya que es el insumo principal para la actividad (300 kg de maíz por hectárea por cada centímetro de suelo perdido, Scotta y Garcíarena, 1996).

Para producir un huevo se requieren de 96 g de maíz (Crespo, 2011), y en base a esta información, se calculó cuántos huevos se podrían producir con el maíz que se deja de producir por erosión hídrica. Para los cálculos se tomaron valores de referencia de \$144 la docena de huevo (mayo 2022), con un valor oficial U\$S 122,1 al 31/05/2021, por lo tanto, el valor de la docena de huevo es de U\$S 1,79.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2a se observa el factor K, con un rango de valores que va de 0 a 1, en color rojo K=0,5, se observa el suelo más susceptible a erosionarse, y por otro lado, el suelo menos susceptible presenta valores cercanos a 0,3 (color verde). A su vez, en la figura 2b se pueden observar las series de suelo que se corresponden con cada Factor K, observándose que los suelos de mayor susceptibilidad son los de la Consociación Crespo, compuesta en un 80% por Argiudoles vérticos, que es altamente susceptible a erosionarse.



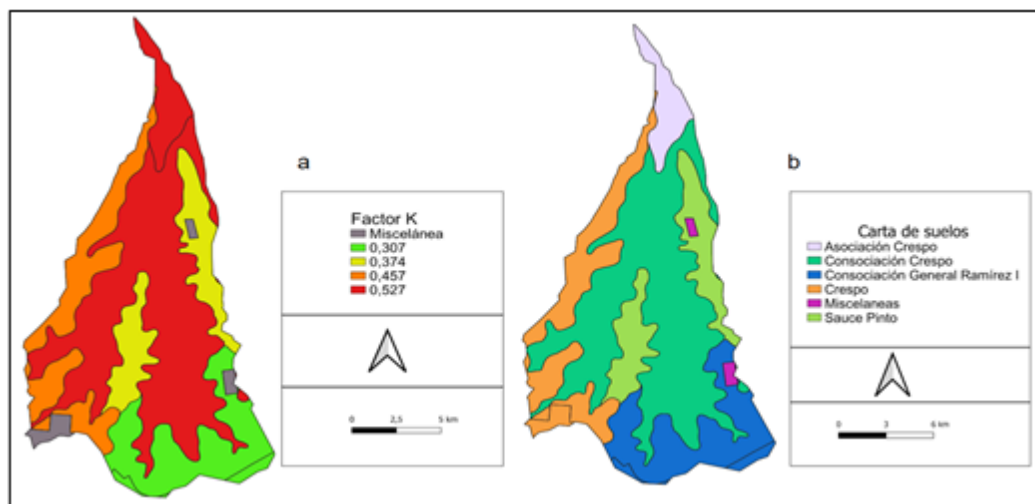


Figura 2a. Erosionabilidad de los suelos de la cuenca. 2b. Series de suelos de la cuenca.

En la figura 3 se muestra el factor prácticas de cultivo (P), se puede observar que alrededor del 70% de la superficie de la cuenca ocupada por cultivos agrícolas se encuentra sin sistematizar (4.023 ha), también existen lotes donde se evidencia falta de mantenimiento de las mismas, en alrededor del 13% de la superficie (786 ha). Con respecto a la superficie sistematizada, es 16% del total (926 ha).

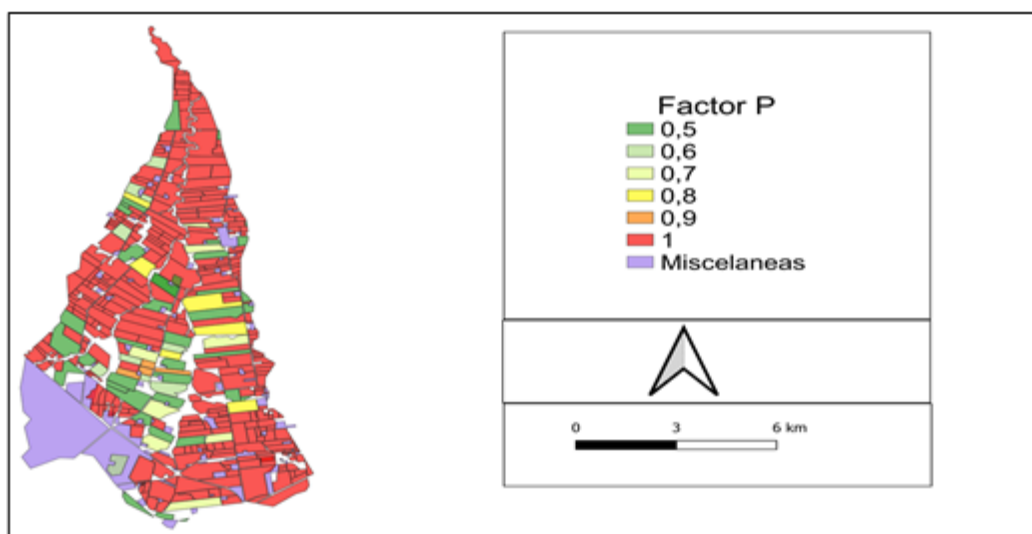


Figura 3. Lotes con prácticas de conservación de suelos.

La superficie ocupada por maíz es de 2.127 ha, por soja de primera 330 ha, 2.009 ha de trigo/soja y de pasturas se contabilizaron 946 ha. A su vez, los galpones de pollos (ponedoras y parrilleros) se distribuyen en forma homogénea en toda la superficie y se contabilizaron 202 en total, lo que representa una densidad de un galpón cada 40 ha (figura 4).

De este mapa se puede obtener el factor C ponderado de la rotación y superficie de ocupación, obteniendo así un factor C agrícola de 0.074. Compuesto por $tr/sj=0.0393$, Maíz= 0.1, Soja= 0.13. Mientras que para la rotación ganadera el factor C que se utilizó fue de 0.0228.

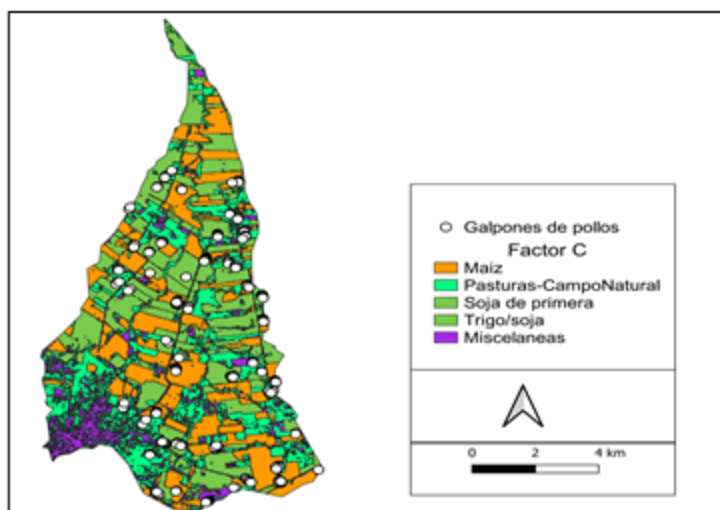


Figura 4. Factor C y galpones de pollo en la cuenca.

El factor LS presentó rangos de 0 a 2, los valores entre 1 y 2 son los que representan la mayor combinación de longitud y pendiente, encontrándose en la parte norte de la cuenca y además se corresponden con la serie Crespo.

En la figura 5 se observa la pérdida de suelo a nivel de lote en la cuenca, donde los valores van desde 0 a más de 20 $\text{tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Coincidiendo en la mayoría de los casos que las pérdidas de suelo menores a 2,5 $\text{tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, se da en lotes que se encuentran con campo natural y/o pasturas (color verde), mientras que los máximos valores de pérdida de suelo observados en la cuenca coinciden en lotes con rotación agrícola (tr/sj-maíz-soja) sin terrazas, mayores a 10 $\text{tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

Aproximadamente 3.469 ha presentan pérdidas de suelo por erosión hídrica menores a 5 $\text{tn ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Mientras que con valores por encima de este límite tolerable encontramos 2.220 ha, donde se encuentra sembrado principalmente por maíz, esto representa el 39% de las cuales ninguna presenta tecnologías conservacionistas.

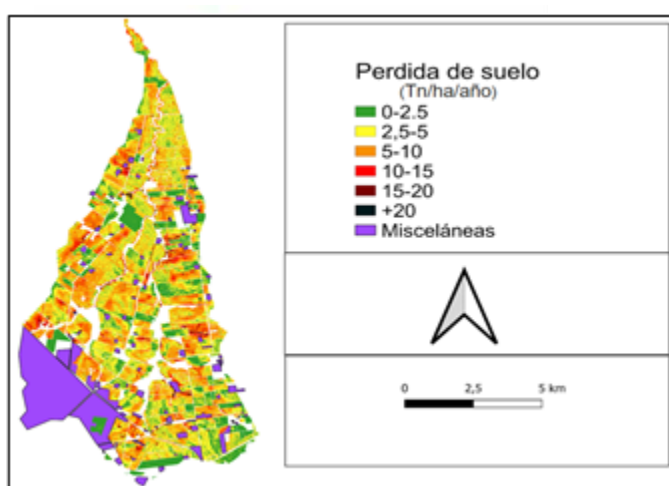


Figura 5. Mapa de pérdida de suelo de la cuenca

Al realizar el análisis económico, observamos que se deja de producir 75.250 kg por año del cultivo de maíz debido a la erosión hídrica en la cuenca. Al ser un insumo alimenticio básico para la producción de gallinas de alta postura, esto equivale a producir 783.851 huevos (65.321 docenas), lo que se traduce en \$9.406.217 por año. Con este costo evitable, podríamos sistematizar toda la cuenca en menos de 8 años, tomando como referencia un costo de sistematización de US\$105 ha.



CONCLUSIONES

El uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica hizo posible estimar la pérdida de suelo a nivel de lote con la metodología USLE. Esto permitió poder realizar un análisis a nivel de cuenca.

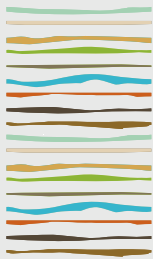
Hay efecto de la erosión hídrica en la cuenca avícola en más del 39% de su superficie con valores mayores a las 5 tn ha⁻¹año⁻¹.

Se deja de producir 75.250 kg por año de maíz debido a la erosión hídrica, esto equivale a producir 783.851 huevos, lo que se traduce en una disminución en los ingresos de US\$77.037 por año.

BIBLIOGRAFÍA

- Casas R. y G. F. Albarracín. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. <http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/documentos/sipcyt/bfa005593.pdf>
- Crespo, E.A. 2011. La avicultura: Del maíz y la soja a la carne de pollo y los huevos. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/47inta-art43a-avicultura.pdf>.
- Donda, M.; J.J. Gvozdenovich; M.F. Saluzzio. y P.A. Barbagelata. 2018. Obtención del Factor R de la USLE con el Índice Modificado de Fournier para la región núcleo productiva Argentina. XXVI CACS.
- Gvozdenovich, J.J., M.F. Saluzzio y A.C. Pioto. 2020. Evaluación del estado de la sistematización con terrazas en Entre Ríos. XXVII CACS.
- Gaspari, F.; M. Delgado y G. Denegri. 2009. Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. Terra Latinoamericana, 27(1), 43-51.
- Gvozdenovich J. y O. Paparotti. 2011. *Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos*. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-variacion-rendimiento-cultivo-soja-debido-a-eros.pdf>.
- Kinderknecht, L. 2017. *Uso de la Metodología USLE - RUSLE sobre una cuenca del Distrito Espinillo, como herramienta de diagnóstico y toma de decisión bajo un entorno SIG*. UNER.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, M. de E. A. S. 2022. *PRECIO HUEVO MAYORISTA*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/aves/estadistica/huevos/_archivos/000000_Indicadores%20Mensuales/000000_Precio%20Huevo%20Mayorista.pdf
- Pioto, A. y J.J. Gvozdenovich. 2018. Control de Erosión Hídrica con terrazas a nivel de cuenca en la Provincia de Entre Ríos. XXVI CACS. Tucumán.
- Reyes, JI; JJ Gvozdenovich & O Paparotti. 2013. Evaluación del rendimiento de trigo en diferentes sitios de terrazas sembrables en un lote sistematizado. JACS.
- Scotta, Egidio S. 1995. Sistematización de tierras para control de erosión hídrica y agua superficial excedente. ISSN 0325 – 8874. Serie Didáctica N° 8 – Edición Actualizada.
- Scotta y Garcarena, 1996. Estimación de las pérdidas erosión hídrica y su valor económico en maíz. Serie de extensión n° 11. INTA EEA Paraná. Pp. 51-54.
- Scotta, E y JJ Gvozdenovich. 2012. Rendimiento de maíz con y sin terrazas en Gualeguaychú. Jornada de actualización técnica en sorgo, maíz y girasol. FCA UNER. ISBN 978-950698292-8. Pp. 29-33.
- Scotta, E; R Cogo & D Herrera. 1991. Rendimiento de soja con y sin terrazas. En jornada de información técnica para productores. INTA EEA Paraná. Área de Investigación en Suelos.
- Soleno Wilches, R. 2015. *Redes interinstitucionales y estrategias de desarrollo local: El caso del sistema productivo local de Crespo, Entre Ríos*. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.6718/pr.6718.pdf.
- Wischmeier, W. H. y D.D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA. Agricultural Research Service Handbook 537. 58 pp.





PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO: EFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL SUDOESTE BONAERENSE

Steinbach, H.S.^{1*}, C.R. Alvarez¹, H. Rimski-Korsakov¹, E. A. Ciarlo²

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes.

² Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

* Contacto: steinbac@agro.uba.ar

RESUMEN

El riego suplementario es una práctica que, por sus beneficios productivos, se ha incrementado en forma exponencial en los últimos años. Sin embargo, el uso de agua de riego de dudosa o mala calidad puede salinizar y/o sodificar el suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del riego suplementario sobre las propiedades químicas del suelo en lotes de producción en el Sudoeste Bonaerense. Se muestrearon 41 lotes en 15 establecimientos del Sudoeste Bonaerense, con suelos de textura franco-arenosa, franca y franco-arcillosa (0-20 cm). Los lotes bajo riego en general se destinan a la producción de semillas. Se plantearon los siguientes tratamientos: Secano y Riego, corner y círculo de riego respectivamente. En muestras de suelo de 0 a 10 y 10 a 20 cm de profundidad, se determinó: carbono orgánico (CO), pH, conductividad eléctrica (CE) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI). El contenido de CO fue similar entre Secano y Riego tanto de 0-10 cm como de 10-20 cm. El pH edáfico de 0-10 cm y de 10-20 cm presentó un incremento estadísticamente significativo del 9,0 y 6,5%, respectivamente, por el riego. La CE de 0-10 cm y 10-20 cm se vio significativamente aumentada por riego (en 0-10 cm, 0,33 dSm⁻¹ en Secano y 0,42 dSm⁻¹ en Riego y de 10-20 cm de 0,29 dSm⁻¹ en Secano y 0,39 dS m⁻¹ en Riego). El PSI del Riego duplicó el valor del PSI de Secano, de 0-10 cm fue de 1,90 % y 4,42 % y 10-20 cm fue de 2,04 % y 4,67 % para Secano y Riego respectivamente. Si bien los valores de PSI bajo Riego no llegan al límite para ser definidos como suelos "sódicos", la combinación con bajos valores de CE pueden favorecer problemas físicos de dispersión de arcillas. Por ello resulta además importante monitorear el estado de la calidad física en estos escenarios.

Palabras clave: Materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, porcentaje sodio intercambiable.

INTRODUCCIÓN

El riego suplementario en las regiones húmedas y subhúmedas es una práctica que permite evitar los riesgos de déficit hídricos en los momentos críticos de los cultivos, incrementando y estabilización de los rendimientos (Salinas *et al.*, 2016). En los últimos años la práctica de riego suplementario se incrementó en forma exponencial en la Región Pampeana (Sánchez *et al.*, 2016). En el Sudoeste Bonaerense su adopción es reciente, se reportan 24900 has bajo riego, su mayoría en el partido de Coronel Suárez (Sánchez *et al.*, 2016). En la Región Pampeana las aguas subterráneas presentan elevados valores de la relación de adsorción de sodio (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos y contenido de carbonato de sodio residual (CSR) (Duggan *et al.*, 2017) pudiendo afectar la calidad físico - **química del suelo**. La gravedad de los efectos sobre el suelo depende de la cantidad de agua de riego y de precipitaciones que recibe el sistema de producción. La salinización produce déficit hídrico por efecto osmótico, toxicidad de iones y/o deficiencias nutricionales derivadas del desbalance entre los diferentes iones. La sodificación del suelo, implica un aumento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), genera su degradación física debido al hinchamiento y dispersión de los coloides presentes en el mismo (Crescimanno *et al.*, 1995) y su efecto negativo sobre la dinámica hídrica. El objetivo



del presente trabajo fue determinar el impacto del riego complementario sobre la calidad química edáfica en lotes de producción en el Sudoeste Bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon 41 lotes pertenecientes a 15 establecimientos que forman parte del Grupo de Riego del Sudoeste Bonaerense donde se realiza riego suplementario. La zona se caracteriza por tener precipitaciones anuales promedio históricas de 897 mm año⁻¹. En los primeros 20 cm del perfil, los suelos poseen textura franco-arenosa, franca y franco-areno-arcillosa. Los principales cultivos que integran la rotación son soja, maíz, girasol y trigo, algunos de ellos son para producción de semillas. La historia de riego de los lotes estudiados comprende entre 2 a 20 años, dependiendo del establecimiento, mientras que la lámina promedio aplicada es de 200 mm año⁻¹. Durante el 2016, 2018, 2020 y 2021 se tomaron muestras de suelo para la determinación de propiedades químicas en el círculo de riego y su respectivo corner (esquina no regada), determinando los tratamientos Riego y Secano, respectivamente. Las mediciones químicas se realizaron sobre muestras de suelo compuestas de al menos 15 submuestras para 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en cada círculo y respectivo corner. En dichas muestras se determinó carbono orgánico (CO) por combustión húmeda Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1996), pH por potenciometría en relación suelo:agua: 1:2,5 (Thomas, 1996), conductividad eléctrica (CE) por conductimetría en extracto de saturación (Rhoades, 1996), extracción para cationes intercambiables: Ca, Mg, K y Na y CIC con acetato de amonio 1N y cuantificación de amonio por destilación y titulación, y de cationes por espectrofotometría de absorción atómica (Sumner y Miller, 1996), y cálculo de porcentaje de sodio intercambiable ($PSI = Na/CIC * 100$). Los datos fueron analizados a través de una Prueba t para un diseño apareado. La comparación entre tratamientos se realizó dentro de cada profundidad de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de CO no presentó diferencias significativas entre la situación de Secano y Riego tanto de 0-10 cm como de 10-20 cm (Tabla 1, Figura 1 A). La mayor disponibilidad hídrica si bien puede aumentar los aportes de residuos al suelo también puede incrementar la tasa de descomposición de estos. A su vez, en los planteos de riego que incorporan en la rotación producción de maíz para semilla, la producción de residuos de cosecha y aporte al suelo suele ser menor que en cultivos para producción de granos. En una revisión realizada por Trost et al. (2013) encontraron que el riego en regiones semiáridas incrementa el contenido de carbono orgánico del suelo entre un 11 % y 35 % y observando un efecto errático del riego en las regiones húmedas, con un incremento promedio del 2 %. Por otra parte, son necesarios ensayos o sistemas de producción con aplicación de riego de largo plazo (Trost et al., 2013), para evaluar cambios en el contenido de CO.

El pH edáfico de 0-10 cm y de 10-20 cm presentó un incremento estadísticamente significativo del 9,0 y 6,5 %, respectivamente, por efecto del riego (Tablas 1; Figura 1B). El aumento del pH, fue leve, sin implicancias sobre la biodisponibilidad de los nutrientes. La CE se incrementó significativamente por efecto del riego tanto en el estrato de suelo de 0-10 cm como en 10 - 20 (Tablas 1; Figura 1C), presentando un aumento del 25 y 35% de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm respectivamente. Sin embargo, estos valores de CE en los sistemas regados no son perjudiciales para los cultivos.

El PSI fue la propiedad que mostró mayor variabilidad entre los lotes tanto en Secano como en Riego, sin embargo, fue significativamente superior en la situación de Riego respecto de la de Secano (Tabla 1; Figura D). Bajo Riego el PSI fue 133 % y 129% mayor en Riego de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm, respectivamente.



Tabla 1. Propiedades químicas en los tratamientos Secano y Riego de 0 a 10 cm de profundidad. Valores promedio, mínimos y máximos y número de muestras. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento ($p < 0,05$)

0 -10 cm								
	CO (%)		pH		CE (dSm ⁻¹)		PSI (%)	
	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego
Promedio	2,43 a	2,42 a	6,32 b	6,89 a	0,33 b	0,42 a	1,90 b	4,42 a
Mínimo	1,39	1,80	5,50	6,10	0,14	0,23	0,30	0,50
Máximo	3,83	3,60	8,00	8,10	1,00	0,80	7,60	8,80
n	35	35	41	41	41	41	41	41

10 - 20 cm								
	CO (%)		pH		CE (dSm ⁻¹)		PSI (%)	
	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego
Promedio	1,85 a	1,82 a	6,57 b	7,00 a	0,29 b	0,39 a	2,04 b	4,67 a
Mínimo	1,04	1,31	5,90	6,10	0,12	0,20	0,30	0,40
Máximo	3,42	2,76	8,30	8,30	0,90	0,90	7,10	13,00
n	35	35	41	41	41	41	41	41

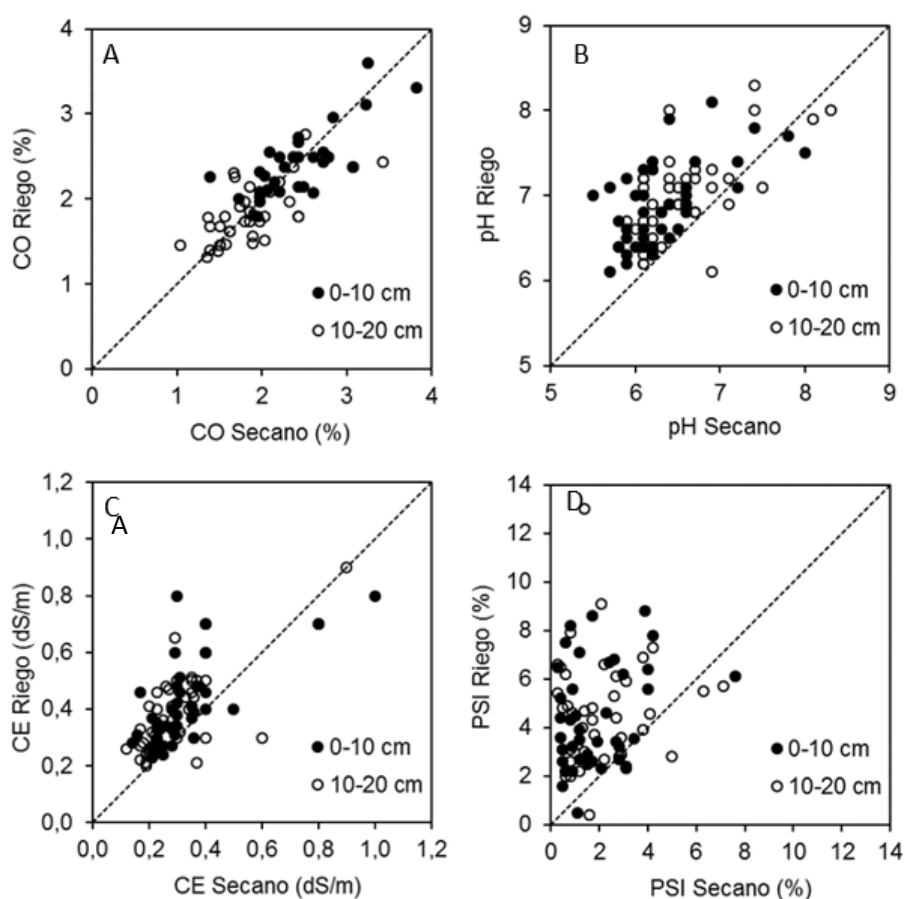


Figura 1. Comparaciones apareadas de: A) Carbono orgánico (CO); B) pH; C) Conductividad eléctrica y D) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 0 a 10 cm (puntos negros) y de 10 a 20 cm (puntos blancos) para situaciones de Secano y Riego. La línea punteada indica la relación 1:1

En ninguno de los lotes evaluados las variables químicas presentaron valores superiores a los definidos como críticos, PSI 15 % y CE 4 dS m⁻¹. Los límites críticos de PSI considerados para definir a un suelo como "sódico" (PSI > 15%) fueron propuestos para regiones áridas y/o semiáridas donde los suelos presentaban altos valores de CE. En regiones húmedas o sub-húmedas, donde se utiliza el riego suplementario, los límites



críticos pueden ser significativamente más bajos ya que no hay presencia de sales suficientes para que el suelo se encuentre floculado (precipitado). Por lo tanto, en estas zonas hay un menor margen para aportar sodio sin generar efectos estructurales desfavorables.

CONCLUSIONES

El riego suplementario impactó en mayor medida el PSI del suelo, incrementándose en un 131 % en promedio de 0 a 20 cm, en el círculo de riego. Si bien el valor medio bajo riego no alcanza el valor crítico de 15% considerando los bajos valores de CE es importante monitorear el estado de la calidad física en estos escenarios.

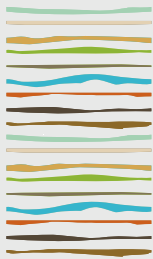
AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado con el Proyecto UBACYT 20020170100233BA. Programación 2018-2022 y por el Grupo de Riego del Sudoeste Bonaerense. Se agradece a todos los productores, empleados y técnicos de los establecimientos que colaboraron con la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Crescimanno G, M Iovino, G Provenzano, 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1701-1708.
- Duggan, MT, Álvarez, CR, Rimski Korsakov, H. 2017. Evaluación de la calidad del agua y del suelo regado en forma complementaria en la región pampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. Volumen 25. 17-23 p.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series no.5, pp. 961-1010.
- Rhoades, JD. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. En: DL Sparks (Eds), *Methods of Soil Analysis Part 3*, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, 417-435.
- Salinas A, I Severina, M Bocardó, F Aimar, J Giubergia. 2016. Actualización de resultados productivos con riego suplementario: sistemas de producción en siembra directa continua, módulo demostrativo y experimental INTA Manfredi. 5ta Reunión Internacional de Riego: "Uso eficiente del agua de Riego". Manfredi, Córdoba: 114-120.
- Sanchez RM, L Dunel Guerra, M Scherger. 2016. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Ediciones INTA, 74p.
- Sumner ME, WP Miller. 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. En *Methods of Soil Analysis* (eds D. Sparks, A. Page, P. Helmke, R. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner). <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c40>
- Thomas, GW. 1996. Soil pH and Soil Acidity. En: DL Sparks (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp: 475-490
- Trost B, Prochnow A, Drastig K, Meyer-Aurich A, Ellmer F, Baumecker M. 2013. Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:733-749. DOI 10.1007/s13593-013-0134-0.





EL FENÓMENO EL NIÑO OSCILACIÓN SUR Y EL RENDIMIENTO DE TRIGO: ANÁLISIS TEMPORAL A LO LARGO DE UN GRADIENTE TEXTURAL

Todarello, J.^{1,*}, G. Berhongaray^{2,3}, J.L. De Paepe^{1,3}

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires;

²Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Litoral;

³CONICET

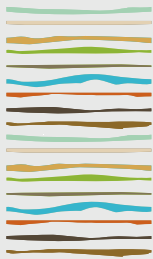
*Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, jtodarello@agro.uba.ar.

RESUMEN

El fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es la principal fuente de variabilidad climática estacional e interanual en muchas partes del mundo, incluida la Región Pampeana donde se produce trigo bajo condiciones de secano a lo largo de un gradiente textural de suelos. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del fenómeno ENOS sobre el rendimiento de trigo durante las últimas cinco décadas en términos de un gradiente textural de suelos. Se usó la información de las Estadísticas Nacionales de producción y superficie sembrada anual de trigo desde la campaña 1969/70 hasta la 2019/20 para calcular el rendimiento de los departamentos de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa, Santa Fe. Se calculó la anomalía de rendimiento por departamento como la diferencia entre el valor de rendimiento estimado de la relación lineal del mismo con el tiempo menos el rendimiento observado de cada campaña. Se utilizó el índice Oceanic Niño Index (ONI) para identificar las tres fases de ENOS, El Niño (valor mayor a 0.5°C), La Niña (valor menor a 0.5°C) y Neutro (valor osciló entre -0.5 y 0.5°C). Los datos de textura por departamento se contabilizaron hasta el primer metro de profundidad y se obtuvieron de los mapas de suelo de INTA. La tendencia de los rendimientos de trigo en las cuatro subregiones pampeanas ubicadas en el gradiente textural fue positiva, es decir, durante las últimas cinco décadas el rendimiento aumentó. En la Región Semiárida Pampeana se observó el aumento menor, de 250%, y en la Pampa Ondulada el aumento fue el mayor, de 400%. Se contabilizaron 10 años El Niño, 13 años La Niña y 29 años Neutros. Las anomalías del rendimiento difieren según la subregión y la fase de ENOS. Durante la primera década las menores anomalías se observaron en la Región Semiárida Pampeana, con 10 kg ha⁻¹ en promedio, y las mayores anomalías en la Pampa Ondulada, 152 kg ha⁻¹. Durante la última década las menores anomalías se observaron en Pampa Mesopotámica con un valor promedio de -35 kg ha⁻¹ y las mayores en la Pampa Ondulada con 119 kg ha⁻¹. No se detectaron relaciones significativas entre las anomalías y los valores de índice ONI. Especialmente las anomalías durante los años El Niño y La Niña por departamento presentan un leve patrón de valores mayores hacia el oeste y menores hacia el este. Esta tendencia espacial podría indicar una relación entre el rendimiento de trigo y la textura de los suelos, suelos más finos tienen una capacidad de retención de agua mayor lo que durante años La Niña podría favorecer el rendimiento de este cultivo invernal. Interpretar y seguir de cerca el comportamiento de estos eventos climáticos en las diferentes subregiones pampeanas es de suma importancia para implementar decisiones de manejo adecuadas que optimicen la utilización de recursos.

Palabras clave: El Niño, La Niña, suelos





AGREGACIÓN DEL SUELO Y ESTABILIZACIÓN DEL CARBONO EN UN PAISAJE DE LA PAMPA ONDULADA

Urrutia Larrachea, I.¹, S.L. Poggio¹², D.J. Cosentino, M. Semmartin¹

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires;

² Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura, Conicet, Av. San Martín 4453, Ciudad de Buenos Aires, semmartin@agro.uba.ar

RESUMEN

El carbono orgánico es un parámetro edáfico central para la estructuración del suelo y su capacidad de retener agua, nutrientes y carbono. Sin embargo, la agricultura ha afectado muchos de los procesos subyacentes a esas funciones, particularmente el balance entre la mineralización y la estabilización de la materia orgánica. En la Pampa Ondulada, la intensificación agrícola ha aumentado la dominancia de los cultivos anuales en el paisaje, únicamente interrumpidos por montes o franjas de vegetación herbácea de crecimiento mayormente espontáneo. En este trabajo investigamos si, a escala de paisaje, el impacto de la cobertura vegetal (cultivo anual o vegetación espontánea leñosa o herbácea) sobre la agregación del suelo y estabilización del carbono varía en posiciones topográficas diferentes (sitios con y sin pendiente).

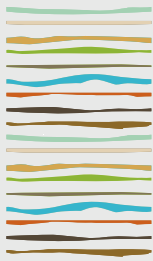
A partir de un análisis topográfico y de uso del suelo basado en información satelital se identificaron tres áreas de 25 km² dentro de la cuenca del río Arrecifes, que conformaron las unidades de muestreo de las distintas coberturas y posiciones topográficas. En todos los sitios muestreados, el suelo correspondió a un Argiudol típico y la cobertura de la matriz agrícola era soja. En cada unidad de muestreo se tomaron muestras de suelo inalteradas y en las profundidades 0-5 y 5-20 cm. Se determinó la distribución de agregados >250µm (macroagregados) y <250µm (microagregados) y el contenido de carbono particulado y asociado a la fracción mineral en los dos tamaños de agregados.

Las principales diferencias se encontraron en los primeros 5 cm y en las zonas de pendiente. Las coberturas seminaturales leñosas y herbáceas (en orden de importancia) ubicadas en sitios con pendiente mostraron un 20 y 10% más de macroagregados que la matriz agrícola correspondiente. La proporción de microagregados fue mayor en la matriz agrícola que en las coberturas espontáneas independientemente de la posición topográfica. La acumulación de carbono total, particulado y asociado a la fracción mineral en los macroagregados fue un 60% mayor en los parches leñosos que en la matriz agrícola en las dos posiciones de paisaje. Las coberturas herbáceas, por su parte, mostraron un comportamiento intermedio.

Estos resultados confirman los efectos negativos de la agricultura continua sobre la agregación y estabilización del carbono del suelo en las capas superficiales ya observadas en numerosos paisajes agrícolas. Al mismo tiempo, sugieren que la presencia de parches o franjas con vegetación espontánea podría tener un papel mitigador, particularmente en los sitios con pendiente.

Palabras clave: carbono del suelo, uso de la tierra, paisaje.





SUGARCANE ROOT BIOMASS production WITH AND WITHOUT HARVEST RESIDUES REMOVAL

Valencia-Molina C.M.¹, J.D. Alfaro², J.M Ortiz³, L. Martínez-Calsina³, M. Acreche⁴, J. Chalco-Vera^{4*}

¹ Universidad de Los Llanos, Colombia;

² Universidad Nacional de Salta, Argentina;

³ INTA Estación Experimental Famaillá, Argentina;

⁴ INTA Estación Experimental Salta-CONICET, Argentina

*Ruta Nac. 68, Km. 172, CP 4403, Cerrillos, Salta, Argentina. chalcovera.jorge@inta.gob.ar

ABSTRACT

Agroecosystems enter carbon (C) from biomass into the soil buffering climate change. However, data on belowground biomass from the sugarcane agroecosystem in Argentina is almost non-existent. Knowing the production of sugarcane root biomass is the first step in defining how to manage a huge amount of harvest residues to restore or maintain the soil organic carbon (SOC) and profit the commercial use of residues. This study aimed to quantify the biomass of sugarcane root grown under commercial field management and affected by the removal of crop residues in two contrasting production environments in Northwest Argentina. Soil-root samples were taken at 0-0.3 and 0.3-0.6 m soil depths at four sampling points per experimental unit by using a soil auger of 58 mm in diameter. The total root biomass production up to 0.6 m depth was variable and ranged between 4.8 and 12.4 t ha⁻¹, with the main average of 10.1 ± 1.3 and 6.0 ± 0.8 t ha⁻¹ for the Ledesma (Jujuy) and Los Sarmientos (Tucumán) sites, respectively. These values show the high potential contribution of this component to the C input into the soil. In both sites, root biomass differed significantly in depth when soil layers were considered. Removal of harvest residues did not significantly alter root biomass production, probably due to the short period of treatment effects. This study informs current values of root biomass generation for sugarcane under field commercial management. Additional measurements and treatments of harvest residue removals need to be implemented to determine their cumulative impact on yield components and the dynamics of root growth.

Keywords: carbon sequestration; climate change; soil organic matter.

INTRODUCTION

Agroecosystems can sink carbon dioxide (CO₂) and allocate it as organic carbon (C) into the soil. Therefore, they play an important role in the global C balance and could act as a climate change buffer. The C that enters the soil comes mainly from aboveground (harvest residues) and belowground (roots) biomass. However, data on crop root biomass are relatively scarce in relation to aboveground biomass data. Thus, quantifying this compartment of C is important to make accurate carbon stock or balance surveys.

In sugarcane, many studies have characterized the growth and development of the root, highlighting its importance in obtaining high yields. For instance, root growth depends on physical soil properties (Aguilera Esteban et al., 2019; Barbosa et al., 2018) root distribution, and sugarcane yield in areas under sandy loam and clayey soils. Additionally, we identified the critical limits for sugarcane root development in soils under contrasting texture using the boundary line approach. The treatments with two tillage practices (conventional



tillage - CT and no-tillage - NT, crop sequences (Baquero et al., 2012; Kusumawati et al., 2022), soil tillage (De Moraes et al., 2019; Lovera et al., 2021; Scarpore et al., 2019) limiting root development and yield of the crop. The use of conservation tillage systems and cover crops can reduce such effects and improve its soil physical quality. Therefore, a field study was conducted over three agricultural years to assess the development of the sugarcane root system planted under different soil tillage systems and cover crops during three crop cycles. The study was carried out in Ibitinga (São Paulo, Brazil, genotype (Arruda et al., 2016; Ohashi et al., 2015; Smith et al., 2005; Zhao et al., 2020) and the differential composition of the bacterial community in four sugarcane cultivars, in relation to the efficiency for P uptake and also to assess changes in soil P with distance from the rhizoplane. Experiments were performed in pot trials using a sandy clay loam Ferralsol. In the first experiment, the effect of P application (78.4 mg P kg⁻¹ soil as triple superphosphate, N fertilization (Versini et al., 2020), crop age (Carvalho et al., 2017; Lovera et al., 2021), soil temperature (Ryker & Edgerton, 1931) and soil water availability (Jangpromma et al., 2012; Tetsushi & Karim, 2007).

In Argentina, however, there is almost no information on the belowground biomass of sugarcane (Romero et al., 2015). This data would help to determine the potential contribution of roots to C inputs, and their influence on plant rhizodeposition (Villarino et al., 2021). In addition, this knowledge is key to the outline of an accurate soil C balance to define how to make a profit from a huge amount of harvest residues and also restore or maintain the SOC.

Determining the role of the sugarcane root system in SOC balances and its potential contribution to soil C sequestration is still required. This study aimed to quantify the biomass of sugarcane root grown under commercial field management and affected by the removal of crop residues in two contrasting production systems in Northwest Argentina.

MATERIALS AND MÉTHODS

A field experiment was established and repeated in two sites in Northwest Argentina, the main sugarcane area of the country (Figure 1).

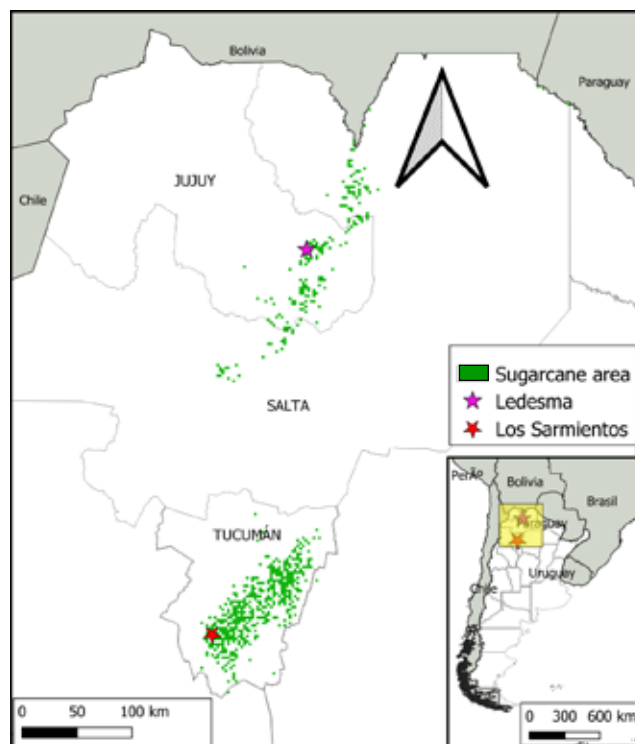


Figure 1. Geographical location of the sugarcane area (green pixels) and experimental sites in Ledesma (purple star in the province of Jujuy) and Los Sarmientos (red star in the province of Tucumán).

The environmental and management characteristics of each site are summarized in Table 1. The experiment was arranged in a completely randomized design with tree replicates and as treatments, 0 and 100% of harvest residue removals were performed on each site after the previous harvest.

Table 1. Main crop characteristics and soil properties for the sugarcane field experiments in Northwest Argentina.

Site	Prior harvest date	Variety	Crop age	Last crop yield (t ha ⁻¹)	Harvest Straw (t ha ⁻¹)	Sampling date	Water input (mm)	Ph (1:2,5)	Organic matter (%)	Soil texture class
Ledesma, Jujuy	3/10/2021	NA 05-860	Third ratoon	66 ± 8	10,5	21/03/2022	Rain (469.5) and irrigation (744)	7,9	1,6 ± 0,1	clay loam
Los Sarmientos, Tucumán	19/9/2021	LCP 35-384	First ratoon	71 ± 3	9,4	25/03/2022	Rain (932)	5,8	1,3 ± 0,3	silt loam

Root biomass samplings were performed approximately six months after the beginning of growth (Figure 2a) when the crop reaches maximum radiation interception (Acreche, 2017). For field sampling, we followed and adapted the procedure described by Frasier et al. (2016) (Figure 2, b) using a soil auger of 58 mm in diameter. Since 85% of sugarcane root biomass is located in the top 0.6m (Smith et al., 2005), samples were taken at 0-0.3 and 0.3-0.6 m soil depths at each sampling point. Samples were transported in portable coolers with cooling gels to maintain them freshness. Root biomass recovery was set within 1 week after sampling, submerging for 1 h in trays with water to facilitate soil-root separation (Figure 2 c and d). Then, samples were washed and sieved through a 250 µm mesh. Finally, roots were collected in paper bags and dried to constant weight at 60 °C.

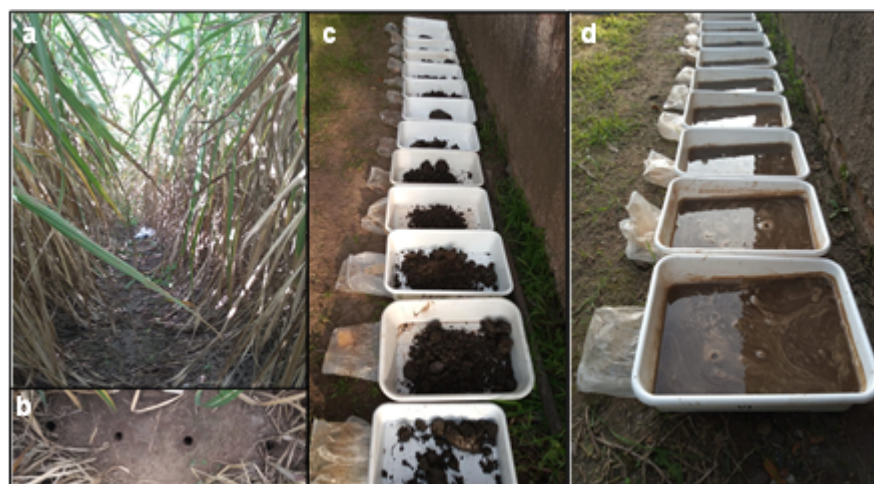


Figure 2. Details of the phenology of the crop at the time of sampling (a), sampling points at each experimental unit (b), samples disposal (c) and immersion (d) for root biomass quantification.

For the calculation of total root biomass, the total horizontal influence of the row was fitted to 0.6 m (37.5% of the space between rows of 1.6m) as it was determined by Otto et al. (2009) for fertilized sugarcane. Total root biomass was calculated as the sum of root biomass sampled in the row (RBr; Equation 1) and inter-row (RB_i; Equation 2) for each sampled plot (experimental unit) and soil layer (0-0.3 and 0.3-0.6 m depth) as follows (Frasier et al., 2016):

$$RBr (t ha^{-1}) = \frac{\text{Root weight of row samples (g)}}{\text{Sampled area (m}^2\text{)}} \times \frac{37.5}{10000} \quad (1)$$

$$RBi (t ha^{-1}) = \frac{\text{Root weight of inter row samples (g)}}{\text{Sampled area (m}^2\text{)}} \times \frac{62.5}{10000} \quad (2)$$

Differences between treatments were assessed via ANOVA analysis and Fisher's test at the 0.05 level for each site separately, since their management characteristics were not comparable (Table 1).

RESULTS AND DISCUSSION

Overall, total root biomass up to 0.6 m depth presented a high range of values (between 4.8 and 12.4 t ha⁻¹) with an average of 5.9 ± 0.8 and 10.1 ± 1.3 t ha⁻¹ for Los Sarmientos and Ledesma, respectively. These values were comparable to those reported by Versini et al. (2020) and Arruda et al. (2016) but higher than those informed by Otto et al. (2009) and Rossi Neto et al. (2018) in spite of its importance. This is mainly due to the difficulty of evaluation and high variability of results. The objective of this study was to develop an evaluation method of the cane root system by means of probes so as to evaluate the mass, distribution and metabolically active roots related to N fertilization at planting. For this purpose, an experiment was conducted in an Arenic Kandistults with medium texture in Jaboticabal/SP, in a randomized block design with four replications and four treatments: control (without N). Root biomass differed between sites probably due to the inherent cultivar effect (Arruda et al., 2016; Zhao et al., 2020) and/or due to differences in water availability during dry periods (Battie Laclau & Laclau, 2009) 49, 125, 179, 241 and 322 days after planting (DAP which favoured more root growth in Ledesma than in Los Sarmientos (Table 2).

Total root biomass did not differ between treatments either for Ledesma (p = 0.1) nor for Los Sarmientos (p = 0.3). Besides, no differences were detected considering the row and inter-row separately. This could be associated with a reduced cumulative effect of treatments (only one growing season). However, the treatment with total removal of harvest straw tended to decrease (≈ 12%) the total root biomass up to 0.6m depth (Table 2), agreeing with Melo et al. (2020) that showed a straw effect (8 t ha⁻¹) in increasing root biomass.

When soil layers were considered as a factor, root biomass differed significantly between soil layers (p < 0.0001) with a marginal significant effect of treatment (p = 0.06) at 0.3-0.6 m soil layer in Los Sarmientos (Table 2).

Table 2. Mean root biomass (t ha⁻¹) production at soil layers of 0-0.3 and 0.3-0.6 m depths for the treatments with and without harvest residue removal in each experimental site in Northwest Argentina. Different letters indicate significant differences among mean values from three replicates between soil layers (capital letters) and treatments (lower case letters) according to ANOVA and Fisher's test at the 0.05 level.

Depth of soil layer (m)	Sites and treatments			
	Los Sarmientos		Ledesma	
	without removal	total removal	without removal	total removal
0-0.3	5.1 Aa	5.0 Aa	9.4 Aa	7.7 Aa
0.3-0.6	1.2 Ba	0.6 Bb	1.4 Ba	1.7 Ba
Total (0-0.6)	6.3	5.6	10.8	9.4

In general, root biomass represents an important part of the gross primary productivity and indicates a valuable potential source of C for the soil. This could allow an increase, at least partially, in the profit of harvest residues removal for any purpose without threatening soil C stock. However, additional sampling points across the row and inter-row could enhance root biomass quantification because it will provide accurate information on row line influence or horizontal distribution (Romero et al., 2015).



CONCLUSIONS

High variability of belowground biomass can be found in fields of sugarcane in Northwest Argentina. The agroecosystem of Ledesma showed a higher root biomass and potential input of C than that of Los Sarmientos. Measurements and analyses need to be continued to determine the cumulative effect of residues removal on the root growth of the following cycles.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank Cecilia Easdale, Mariana Minervini and field team of LEDESMA S.A.A.I.; Miguel Perilli. David Vargas and Federico Chocobar for their assistance in this experiment. This study was funded by PD I062 and PD I058 of INTA and PICT 2018-3517. CVM had a CLIFF-GRADS fellowship and JDA had a scholarship from EVC-CIN.

BIBLIOGRAFY

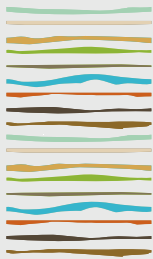
- Acreche, M. M. (2017). Nitrogen-, water- and radiation-use efficiencies affected by sugarcane breeding in Argentina. *Plant Breeding*, 136(2), 174–181. <https://doi.org/10.1111/pbr.12440>
- Aguilera Esteban, D. A., de Souza, Z. M., Tormena, C. A., Lovera, L. H., de Souza Lima, E., de Oliveira, I. N., & de Paula Ribeiro, N. (2019). Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. *Soil and Tillage Research*, 187(June 2018), 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.015>
- Arruda, B., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Richardson, A. E., Andreote, F. D., & Pavinato, P. S. (2016). Biological and morphological traits of sugarcane roots in relation to phosphorus uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(4), 901–915. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000064>
- Baquero, J. E., Ralisch, R., Medina, C. de C., Tavares Filho, J., & Guimarães, M. de F. (2012). Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(1), 63–70. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100007>
- Barbosa, L. C., Souza, Z. M. de, Franco, H. C. J., Otto, R., Rossi Neto, J., Garside, A. L., & Carvalho, J. L. N. (2018). Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil. *Geoderma Regional*, 13(November 2017), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.03.002>
- Battie Laclau, P., & Laclau, J. P. (2009). Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. *Field Crops Research*, 114(3), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.004>
- Carvalho, J. L. N., Hudiburg, T. W., Franco, H. C. J., & DeLucia, E. H. (2017). Contribution of above- and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. *GCB Bioenergy*, 9(8), 1333–1343. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12411>
- De Moraes, E. R., Mageste, J. G., Lana, R. M. Q., Torres, J. L. R., Domingues, L. A. D. S., Lemes, E. M., & De Lima, L. C. (2019). Sugarcane root development and yield under different soil tillage practices. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 43, 1–10. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180090>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Fernández, R., & Quiroga, A. (2016). Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX*, 3, 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2016.08.002>
- Jangpromma, N., Thammasirak, S., Jaisil, P., & Songsri, P. (2012). Effects of drought and recovery from drought stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 6(8), 1298–1304.
- Kusumawati, A., Hanudin, E., Purwanto, B. H., & Nurudin, M. (2022). Root traits of sugarcane cultivated by monoculture system in three orders of soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1005(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1005/1/012002>
- Lovera, L. H., de Souza, Z. M., Esteban, D. A. A., Oliveira, I. N. de, Farhate, C. V. V., Lima, E. de S., & Panosso, A. R. (2021). Sugarcane root system: Variation over three cycles under different soil tillage systems and cover crops. *Soil and Tillage Research*, 208(May 2020), 104866. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104866>
- Melo, P. L. A., Cherubin, M. R., Gomes, T. C. A., Lisboa, I. P., Satiro, L. S., Cerri, C. E. P., & Siqueira-Neto, M. (2020). Straw removal effects on sugarcane root system and stalk yield. *Agronomy*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10071048>
- Ohashi, A. Y. P., de Matos Pires, R. C., Ribeiro, R. V., & de Oliveira Silva, A. L. B. (2015). Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. *Bragantia*, 74(2), 131–138. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0295>
- Otto, R., Ocheuze Trivelin, P. C., Junqueira Franco, H. C., Faroni, C. E., & Vitti, A. C. (2009). Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: Monolith and probes. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 33(3), 601–611. <https://doi.org/10.1590/S0034-73452009000300007>



doi.org/10.1590/s0100-06832009000300013

- Romero, J. I., Correa, R., Sosa, F. A., Sotomayor, C., Morandini, M., Aranda, N., & Sanzano, A. G. (2015). Estudios del sistema radicular de la caña de azúcar en Tucumán. Método de la pared de perfil. *Avance Agroindustrial*, 36(1), 14–20.
- Rossi Neto, J., de Souza, Z. M., Kölln, O. T., Carvalho, J. L. N., Ferreira, D. A., Castioni, G. A. F., Barbosa, L. C., de Castro, S. G. Q., Braunbeck, O. A., Garside, A. L., & Franco, H. C. J. (2018). The Arrangement and Spacing of Sugarcane Planting Influence Root Distribution and Crop Yield. *Bioenergy Research*, 11(2), 291–304. <https://doi.org/10.1007/s12155-018-9896-1>
- Ryker, T. C., & Edgerton, C. W. (1931). Studies on sugar cane roots. *LSU Agricultural Experiment Station Reports*, 223, 1–36. <https://digitalcommons.lsu.edu/agexp/104/>
- Scarpore, F. V., de Jong van Lier, Q., de Camargo, L., Pires, R. C. M., Ruiz-Corrêa, S. T., Bezerra, A. H. F., Gava, G. J. C., & Dias, C. T. S. (2019). Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. *Soil and Tillage Research*, 187(August 2018), 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>
- Smith, D. M., Inman-Bamber, N. G., & Thorburn, P. J. (2005). Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research*, 92(2-3 SPEC. ISS.), 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.017>
- Tetsushi, H., & Karim, M. A. (2007). Flooding Tolerance of Sugarcane in Relation to Growth, Physiology, and Root Structure. *South Pacific Studies*, 28(1), 9–22.
- Versini, A., Poultney, D., Bachir, H., Février, A., & Paillat, J. (2020). Effect of Nitrogen Fertilisation on Sugarcane Root Development and Nitrogen Accumulation in Ratoon Crops of Reunion Island. *Sugar Tech*, 22(6), 1110–1121. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00863-6>
- Villarino, S. H., Pinto, P., Jackson, R. B., & Piñeiro, G. (2021). Plant rhizodeposition: A key factor for soil organic matter formation in stable fractions. *Science Advances*, 7(16), 1–14. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd3176>
- Zhao, L., Yang, K., Zhao, P., Qin, W., Zhao, Y., Zhu, J., Zan, F., Zhao, J., Lu, X., Wu, C., Burner, D. M., Chen, X., & Liu, J. (2020). Sugarcane root distribution and growth as affected by genotype and crop cycle. *Bragantia*, 79(2), 192–202. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190407>





INDICADORES EDÁFICOS EN VIÑEDOS REGADOS CON EFLUENTES DE BODEGA EN MENDOZA-ARGENTINA

Vallone, R.C.^{1*}, M. Arreghini², M.L. Flores Cáceres¹, M. Peña Cervera², I. Mesa Arzalluz¹, J. Segura Zuin¹, A.C. Longo¹, L.E. Martínez³, A. Manduca¹, T. Martín¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo;

² Dirección de Estudios Tecnológicos e Investigaciones (DETI), UNCuyo.

³ E.E.A. INTA Rama Caída 'Alte. Brown 500, Chacras de Coria, Luján de Cuyo, Mendoza, rovall@fca.uncu.edu.ar

RESUMEN

La prolongada crisis hídrica en Mendoza y el contexto global de cambio climático, obliga al planteo de reúso para riego del agua proveniente de actividades industriales para asegurar el desarrollo sostenible. Los efluentes de bodega presentan características variables en la estación según las distintas operaciones industriales ejecutadas y se caracterizan por una elevada carga orgánica. Para evaluar indicadores edáficos, que señalen cambios al reusar aguas tratadas con cargas orgánicas crecientes, se planteó un ensayo de riego con aguas conteniendo cargas orgánicas de 100 y 500 kg/ha día en un viñedo comercial de Luján de Cuyo, Mendoza. Se midieron variables físico-químicas (pH pasta, CEes, materia orgánica, N total, P disponible y K intercambiable), infiltración acumulada y capacidad de almacenaje de agua en el perfil, conductividad hidráulica saturada y microbiológicas de los ciclos del C y del N en el suelo bajo ensayo. Los resultados indicaron que el P disponible fue más alto con la mayor carga orgánica (300 kg/ha día en promedio, 93 a 740 kg/ha día **mínimo y máximo respectivamente**), **hubo aumento de los** grupos celulolíticos y fijadores libres y reducción de la infiltración acumulada en los suelos regados con efluentes. La comparación adicional con una parcela comercial que ha recibido más tiempo y volúmenes de efluente indicó que una disminución del pH y aumento del K intercambiable serían además posibles.

Palabras clave: reúso agua, efluente de bodega, vid

INTRODUCCIÓN

El oasis productivo de Mendoza enfrenta un nuevo desafío para asegurar su productividad y desarrollo sostenible. En el año 2007 el Departamento General de Irrigación (DGI) declara emergencia hídrica en toda la provincia de Mendoza, debido a los bajos niveles de escurrimientos en los ríos. Dentro de este contexto particular y del contexto global de cambio climático, el reúso del agua proveniente de actividades industriales aflora como una necesidad y obligación para asegurar el desarrollo sostenible. La provincia basa gran parte de su matriz productiva en el sector agroindustrial, actividad caracterizada por generar efluentes líquidos con alto contenido orgánico proveniente principalmente del lavado de equipamiento que ha estado en contacto con los productos elaborados. La materia orgánica de estos efluentes supera en algunos casos diez veces al de los efluentes domiciliarios. Debido a la escasez de agua, por encontrarse en una zona árida, es común la utilización de aguas residuales industriales para el riego de cultivos y forestales. En Mendoza no existe restricción al contenido de materia orgánica, excepto en casos que pueda verse afectado el recurso hídrico subterráneo o superficial, existiendo guías de reúso de efluentes, que sugieren no sobrepasar determinados valores de carga orgánica. Prado (2011) concluye que las cargas orgánicas crecientes aportadas por el efluente generan un aumento de actividad microbiana que puede alterar el ciclo de vida natural de los nutrien-



tes. Si bien es cierto que los suelos de Mendoza presentan en general escaso contenido en materia orgánica (Vallone y Nijensohn, 2002), y que su aporte a través del riego podría ser beneficioso, se han observado casos de áreas de reúso con afectaciones como generación de olores, poco desarrollo de cultivos o especies arbóreas, encharcamiento y ennegrecimiento del suelo. El uso de efluentes puede causar modificaciones en las concentraciones de ciertos elementos, algunas positivas como es el caso del N y el P y otras negativas como lo son micronutrientes en niveles de fitotoxicidad o metales pesados biodisponibles. El aporte de materia orgánica mejoraría la estabilidad estructural frente al pasaje del agua y aumentos de actividades biológicas de suelos áridos como los zonales, pero también puede producir colmatación biológica (obstrucción de goteros), impermeabilización del área de infiltración por excesiva carga orgánica en superficie, o escorrentía en terrenos con pendiente (Vallone et al., 2020). Mosse (2012) demostró que la aplicación de efluentes de bodega, tanto a largo como a corto plazo, tiene efectos sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Mientras que la adición moderada de compuestos orgánicos conduce a una mayor fertilidad del suelo a través de la conversión en materia orgánica del suelo, la sobrecarga orgánica puede provocar el bloqueo de los poros del suelo y, por lo tanto, puede ser perjudicial para la salud del suelo. Además, Prado (2011) concluye que el riego con efluentes de bodega, con altos niveles de K^+ podría ser beneficioso para la fertilidad general del suelo. Sin embargo, altos contenidos de Na^+ y K^+ de efluentes de bodega puede aumentar la salinidad y sodicidad del suelo, lo que aumenta el riesgo de dispersión y debilitamiento de la estabilidad estructural del suelo que influye negativamente en la conductividad hidráulica. (Hirzel, 2017). Centrados en la evaluación de los efectos del reúso para riego de efluentes de bodegas que incorporan cargas orgánicas crecientes, el objetivo del trabajo fue evaluar variaciones temporales de indicadores edáficos físicos, físicoquímicos, de fertilidad y microbiológicos en suelos vitícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y Diseño Experimental

El estudio se realizó en un viñedo comercial en Luján de Cuyo, en el oasis norte de la provincia de Mendoza. El clima es árido, con temperaturas extremas en invierno y verano, mientras que en primavera y otoño los días son templados y las noches frías, adecuado para el cultivo de la vid. Las precipitaciones de tipo torrencial estival son escasas. La parcela bajo ensayo está cultivada con vid variedad Malbec, con verdeo camellón por medio. El riego se adecuó a melgas cerradas en cada parcela y la programación se realizó a partir del Kc sombra y grados días de cultivo (Williams & Ayars, 2005). El suelo bajo ensayo es de origen aluvional, Torrifluente típico, calcáreo, térmico, mixto, alcalino, de profundidad variable al subsuelo pedregoso. Por esta última condición, se realizó un diseño de bloques al azar ($n=3$), usando profundidad de suelo como factor de bloqueo. La parcela experimental fue de 36 m² conformada por 4 hileras de vid. El interfilas central fue la unidad experimental con 5 plantas y los dos interfilas del costado más los dos claros del viñedo sur/norte establecieron las borduras necesarias para el control del riego. Los tratamientos de riego fueron: agua de riego proveniente de la presa de la empresa (T1), riego proyecto con efluente tratado aplicando una carga orgánica de 100 kg/ha día (T2) y 500 kg/ha día (T3). Los tres tratamientos recibieron la misma lámina de agua en cada fecha.

Mediciones en suelo y agua de riego

Previo al inicio del ensayo se tomaron muestras compuestas de suelo de 9 submuestras y a dos profundidades (0-40 y 40-90 cm) para realizar una caracterización físico-química general del suelo del ensayo. Textura aparente por Volumen de sedimentación, CEes y pH pasta, N total por el método Kjeldahl, P-H₂CO₃ 1:10 (extracción carbónica), K intercambiable en acetato de amonio 1N pH7 y materia orgánica método Walkley & Black. Asimismo, se determinó densidad aparente (DAP) a dos profundidades en 3 sectores para la interpretación de la condición física del suelo y posterior uso en el cálculo de capacidad de almacenaje de agua del perfil. Luego de demarcadas las 9 parcelas experimentales se extrajeron muestras de suelo de 0 a 20 cm para análisis de grupos funcionales de microorganismos del suelo y actividad microbiana. Las variables microbiológicas evaluadas fueron: Actividad microbiológica total (AMT) por desprendimiento de CO₂ a 28 °C en 7 días (Alef y Nannipieri, 1995); abundancia de hongos y bacterias totales por recuento en placa; microorganismos celulolíticos, amonificadores, y nitrificadores mediante la técnica de número más probable. Los microorganismos fijadores de N de vida libre fueron medidos por recuento en placa con medio selectivo libre de N (Alef y Nannipieri, 1995). Para el recuento de hongos totales se usó agar papa glucosado más antibiótico (streptomomicina) y para bacterias agar nutritivo. Por otro lado, se evaluó cuatro veces el potencial redox del



suelo de 0 a 30 cm: previo al iniciar del experimento, dos muestras entre riegos y otra muestra al finalizar según metodología de Fernández Linares et al. (2006). Al final del ensayo se extrajeron muestras de cada parcela a dos profundidades y se determinaron las mismas variables edáficas que al inicio, se realizaron ensayos de infiltración en dos repeticiones por tratamiento y se tomaron muestras superficiales para las determinaciones microbiológicas. Se midió la CEA del agua de riego superficial utilizada como fuente para el riego.

Mediciones en efluente

Los efluentes de bodega se caracterizaron previo a cada una de las aplicaciones en campo. Se realizaron determinaciones de DQO por método SM5250D (modificado) Reflujo Cerrado-Método Colorimétrico. La DBO fue calculada mediante coeficiente DBO/DQO=0,67. N Total determinado por método SM4500 Norg B NO₃-E, Método Macro Kjeldahl. Método de Reducción de Cadmio. Colorimetría con Ac. Gentísico. P Total por método SM4500 P B y D, Digestión con Ac. Sulfúrico-Nítrico, Método del Cloruro Estañoso. Conductividad Eléctrica por método SM 2510 B-Método Conductimétrico. pH por método SM 4500 H+B, Método Electrométrico-SM (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*).

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados para verificar el cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad, y posteriormente se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Se realizaron asimismo análisis de asociación entre variables a través del coeficiente de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación inicial del suelo y agua de riego

El suelo bajo ensayo es de textura franco-limosa a franco. Los contenidos de N total, K intercambiable y materia orgánica del perfil son altos para la zona, presumiblemente debido al manejo con verdeos en el interfilas, y el P es medio a bajo. El pH es normal para los suelos regionales y la salinidad es media con posibles problemas para el cultivo de vid (Cuadro 1). La CEA del agua de pozo es de 2000 microS/cm, calificada según su aptitud con fines de riego para vid como de peligrosidad moderada. El subsuelo es pedregoso entre gravas finas a medias (2 a 6 cm) y hasta tamaño "roca" (6 a 20 cm). La profundidad a la piedra varía entre 55 a 90 cm de sur a norte. El perfil de suelo denota cierta compactación hasta los 40 cm ("pie de arado"). La capacidad de almacenaje del perfil promedio resultó $171 \pm 22,1$ mm.

Cuadro 1. Caracterización inicial del suelo a regar con efluentes de bodega

Prof.	N total	P-H ₂ CO ₃ 1:10	K int. NH ₄ Ac	Materia Orgánica	CEes	pH pasta
	mg/kg			g%g	mS/cm	
0-40 cm	1288	2,6	1086	1,91	5010	7,88
40-90 cm	1386	4,4	576	0,77	4710	7,83

La variabilidad espacial de la biota del suelo fue elevada, como ya se ha comprobado en otros estudios en la misma zona evaluada (Martinez et al, 2018). En el estado inicial del suelo bajo ensayo, las bacterias aeróbicas y fijadores libres de N son los que presentan los menores coeficientes de variación (entre 1,6 y 3,5%); el resto oscila entre 10 y 28 % (datos no mostrados). Respecto de otros resultados obtenidos en viñedos de Luján de Cuyo, el suelo bajo ensayo presenta más microorganismos celulolíticos, semejante fijadores de N, menos amonificadores y más nitrificadores. La AMT es algo mayor.

Mediciones del efluente durante el ensayo

Se aplicaron 7 riegos al ensayo entre abril y diciembre del 2021 que totalizaron 158 mm de agua de reúso aplicada. Las características del efluente variaron en la estación según la operación de bodega en cada evento (pH entre 6 y 6,6; CE 1700 a 10000 microS/cm, Ntotal 11,2 a 48,9 mg/L; P total 3,5 a 7,2 mg/L, DQO



promedio 1420 a 17118 mgO₂/L y DBO 951 a 11469 mgO₂/L). Las cargas orgánicas resultaron distintas a las proyectadas, pero mantuvieron una diferencia de 4x entre las dosis planteadas.

Resultados características físico-químicas del suelo

Sólo el P disponible se evidenció más alto en el tratamiento con mayor carga orgánica, lo que es favorable en suelos regionales de poca disponibilidad en este elemento y se aprecia cierta tendencia a mayor contenido de materia orgánica y menor conductividad hidráulica saturada en T3, de mayor carga orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de variables edáficas tras 7 riegos con efluente de bodega

Tratamiento	CEes	pHp	M. orgánica	Total N	P-H ₂ CO ₃	K int	C/N	K Darcy
	dS/m		g%g					
Testigo (T1)	4,31	7,56	1,64	1045	4,17 a	445	9,8	13,8
Carga 1 (T2)	4,85	7,54	1,69	1036	4,17 a	417	10,3	7,6
Carga 2 (T3)	4,72	7,50	1,94	1001	7,23 b	317	10,8	3,4
DMS (*)	1,5	0,133	0,55	1262	3,02	270,3	10,6	23,5

(*) Diferencia mínima significativa según prueba de LSD Fischer a $p \leq 0,05$

Presuntivamente el periodo y volumen de agua de reúso aplicada en el experimento no fueron suficiente para poner de manifiesto mayores diferencias entre tratamientos. Dado esta limitante del ensayo, se procedió a comparar los resultados obtenidos, con los datos de un cuartel comercial de vertido de efluentes o ACRE de la finca, que ha recibido el efluente tratado durante más tiempo y mayores volúmenes (Figura 2). Se aclara que, al no estar bajo estructura del diseño experimental, el análisis y conclusiones son relativos y tendenciales solamente. Hubo tendencia a disminución del pH en pasta, aumentos de salinidad y potasio intercambiables (Figura 3 a, b y c respectivamente).

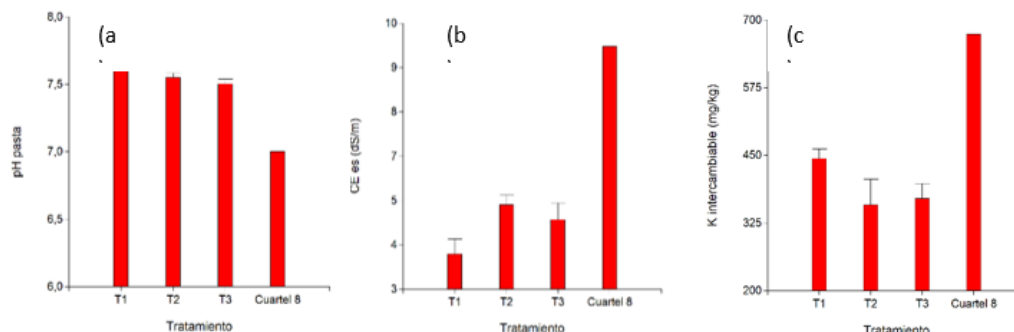


Figura 2. Comparación de los efectos del riego de reúso entre parcelas de menor y mayor aplicación de agua de reúso entre los años 2019 y 2021

La CEA del efluente es elevada y muy variable en el ciclo (entre 1700 y 10070 microS/cm), lo que determina que su aptitud sea cuestionable para el vertido directo como agua de riego en vid y exige cuidadoso control de la evolución de la salinidad edáfica.

El descenso del pH no es muy significativo y no ocasionaría problemas mayores. Los altos contenidos de K en suelo, de por sí elevados en suelos regionales, podría conllevar a problemas de antagonismo y deficiencia de magnesio.

La situación más comprometida observada a campo de este cuartel comercial, no mensurada, es el anegamiento del suelo, que lleva a una muy baja capacidad mínima de aire que afectará a corto plazo el normal desarrollo del cultivo. La conductividad hidráulica saturada (K_{Darcy}) del suelo del cuartel 8 fue de 3,8 mm/h (que es calificada como "lenta" según el Departamento de Conservación de Suelo de USA) versus 15,8 mm/h



promedio de los testigos en nuestro ensayo, moderadamente lenta dado la textura limosa del suelo. Este resultado señalaría que la porosidad total del suelo estaría disminuida por posible entarquinamiento.

La infiltración acumulada de agua en el perfil disminuyó con los riegos de mayor carga orgánica (Figura 3). En la ecuación de Kostiakov se observa la incidencia sobre la pendiente de la función potencial, parámetro que representa la estabilidad estructural frente al pasaje del agua. Posiblemente disminuyó el flujo por macroporosidad por sólidos en suspensión del efluente.

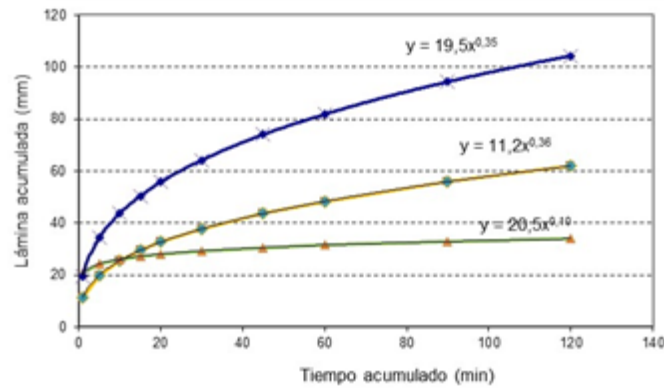


Figura 3. Infiltración acumulada de los distintos tratamientos: Testigo (línea azul), T2 (línea amarilla) y T3 (línea verde) al finalizar el ensayo de reúso de agua en el viñedo

No hubo diferencia en potencial redox entre tratamientos en ninguna fecha evaluada (Fig. 4).

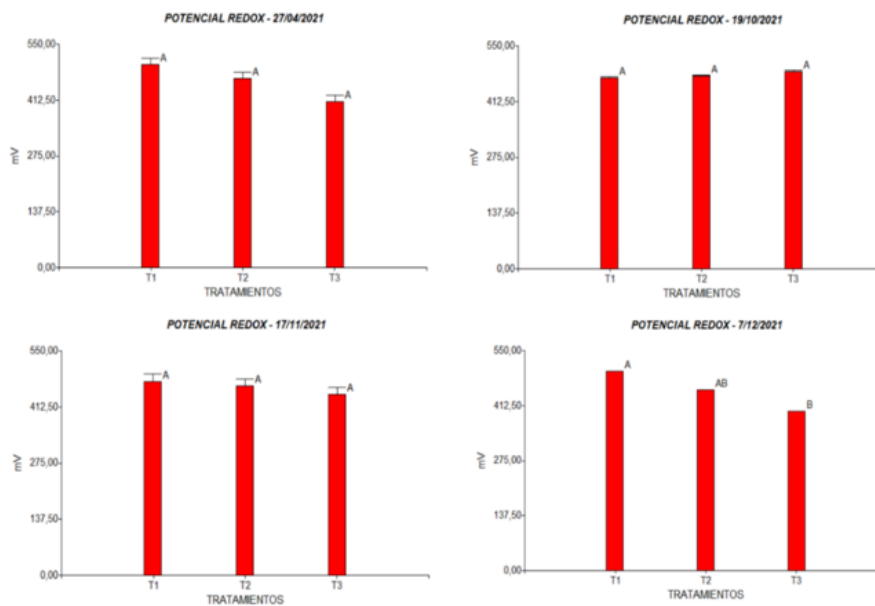


Figura 4. Comparación de medias de potencial redox entre tratamientos. Letras iguales no son significativamente diferentes.

Microbiología del suelo

El análisis de la varianza entre tratamientos mostró un cierto aumento de todos los microorganismos con el aumento de carga orgánica, pero sólo con diferencia estadística en microorganismos fijadores libres y celulolíticos (Cuadro 3).



Cuadro 3. Grupos funcionales microbianos del suelo antes y después de la aplicación del efluente

Trat	AMT	Bacterias aeróbicas mesófilas	Hongos totales	Fijadores libres	Celulolíticos	Amonificadores	Nitrificadores
	mg CO ₂ /g suelo seco	UFC log10/g			NMP log10/g		
T1	0,28	6,32	2,15	5,89 a	2,89 a	2,90	2,45
T2	0,29	7,13	2,65	6,15 b	3,38 ab	2,70	2,69
T3	0,24	7,08	2,48	6,19 b	3,91 b	3,06	3,04
DMS	0,116	1,463	0,594	0,130	0,717	0,887	0,937

Con todas las variables medidas al final del ensayo y las cargas orgánicas promedios aplicados por parcela se realizó un análisis de correlación. No resultaron asociaciones estadísticas significativas, pero hubo tendencia a una asociación positiva entre materia orgánica y carga ($R=0,56$; $p \leq 0,11$) y negativa entre permeabilidad del suelo y carga ($R=0,56$; $p \leq 0,24$). Sin embargo, en el caso de potencial redox del suelo, los resultados del análisis de correlación mostraron tener una asociación estadística significativa negativa entre ambas variables ($R=-0,46$; $p < 0,0001$).

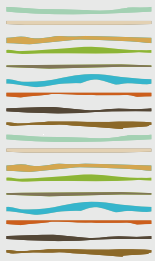
CONCLUSIONES

El riego en viñedo con reúso de efluentes de cargas orgánicas de 500 kg/ha día durante una temporada aumentó significativamente el P disponible y los microorganismos fijadores libres y celulolíticos del suelo. Las variables edáficas utilizadas demostraron ser buenos indicadores de los cambios producidos en el corto tiempo ensayado, pero al comparar con un ACRE comercial que ha recibido más tiempo y volumen de efluente (datos no mostrados) se evidenció además disminución del pH y aumento del K int, lo que refuerza la necesidad de ensayos de larga duración para determinar los efectos sobre la condición edáfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alef, K & Nannipieri, P. 1995. *Methods of Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London, 300. has been cited by the following article: Biodiversity of *Bacillus thuringiensis* Strains and Their Cry Genes in Ecosystems of Kyrgyzstan
- Andrades Balaoeol, JA. Escuela Organización Industrial. Sevilla. 2008. Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de aguas. Instalaciones bodegueras, 41 p
- Fernández Linares et al. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados - Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Hirzel, DR, Steenwerth, K, Parikh, SJ & Oberholster, A. 2017. Impact of winery wastewater irrigation on soil, grape and wine composition. *Agricultural Water Management*, 180, 178–189.
- Martínez LE, Vallone R.C, Piccoli P.N., Ratto S.E. 2018. Effect of organic amendment application on chemical and biological characteristics of soil, and plant nutrition in a vineyard of Mendoza (Argentina). *Rev. FCA UNCuyo* 50 (1): 17-32.
- Mosse, KPM, Patti, AF, Smernik, RJ, Christen, EW, & Cavagnaro, TR. 2012. Physicochemical and microbiological effects of long- and short-term winery wastewater application to soils. *Journal of Hazardous Materials*, 201-202, 219–228.
- Prado, AE. 2011. Effect of the irrigation with residual wastewaters on microbial soil activity of the ornamental flowers (*Dahlia pinnata*) cultures monitored by isothermal calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 431–436.
- Vallone, R & Nijensohn, L 2002. Guía de orientación para regantes de zonas áridas con énfasis en el manejo del agua en áreas salinas. UNCuyo. Tintar editorial, 150 p.
- Vallone, R; Cónsoli, D; Bermejillo A; Barbussa C; A Drovandi A; Rojas, D; J. Nazralla, JC Formento & E, Rearte. 2020. Apreciaciones de la Comisión ad hoc de la UNCuyo, respecto de las modificaciones realizadas a la resolución 778/96 en las resoluciones 51 y 52-20 del HTA, DGI. Reglamento general para control de la contaminación hídrica. Informe Técnico al DGI, 7p.
- Williams, LE & Ayars, J.E. 2005. Grapevine water use and crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 201-211.





COSTO HÍDRICO DE CULTIVOS DE SERVICIO EN AÑO NIÑA (ENSO)

Molina Ordoñez, L.I.¹, C.I. Vettorello^{1*}, L. Salvo¹, M.R. Ateca¹

¹ Facultad Ciencias Agropecuarias. UNC.
Ing. A.F. Marrone 746. Córdoba Capital (5000), Prov. de Córdoba.
*cvettore@agro.unc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar si hubo costo hídrico por parte del cultivo de servicio en la producción de maíz en un año Niña, en la región central de Córdoba, Argentina. Se utilizó centeno como cultivo de servicio y barbecho químico como tratamiento testigo. Se registraron las precipitaciones ocurridas durante el ensayo y se evaluó el índice de sequía bimensual multivariante. Se determinó agua de suelo por gravimetría hasta los 200 cm de profundidad en cuatro fechas distintas, se determinó producción de materia seca del cultivo de servicio y, al momento de cosecha de maíz, se cuantificó la producción de biomasa y rendimiento del cultivo. Se observó una reducción de las precipitaciones mensuales respecto de la media zonal en más del 90 % de los meses evaluados. Por esta causa, la producción de materia seca por parte del cultivo de servicio (1620 kg ha⁻¹) fue menor a los obtenidos por otros autores en la misma región. La mayor diferencia en el contenido hídrico se dio al momento del secado del centeno, marcando el costo hídrico (75 mm) que tuvo dicha práctica respecto del sitio testigo. La producción del cultivo estival no mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo 9896 y 9415 kg ha⁻¹ para T y CS respectivamente. En un año Niña, en la zona evaluada, la producción de maíz se mantuvo sin diferencias significativas luego de centeno como cultivo de servicio antecesor, respecto del testigo.

Palabras clave: agua, centeno, maíz.

INTRODUCCIÓN

La producción de biomasa en secano es fundamental para el servicio agroecosistémico ya que determina algunos componentes del balance hídrico, de carbono y nutrientes, la agregación del suelo, riqueza de meso y microbiología edáfica entre otros aspectos. Sin embargo, las condiciones climáticas regentes en ciertos ambientes con menores precipitaciones que las necesarias, dificultan frecuentemente el crecimiento y desarrollo de cultivos y pasturas, lo que provoca escaso insumo para ser transformado en materia orgánica. Para incrementar el aporte de biomasa existen varias tecnologías que abarcan desde el manejo del cultivo hasta las labranzas realizadas, como también la adopción de ciertas prácticas ingenieriles que favorecen las precipitaciones efectivas y almacenaje de agua en el suelo. Dentro de estas últimas se encuentran los sistemas de terrazas de desagüe, canales, entre otras. Desde comienzos de siglo, la intensificación de las rotaciones con inclusión de cultivos de servicio (CS) apuntó a mejorar la cobertura del suelo, regulando el balance hídrico además de otros beneficios (Boccolini et al., 2019; Baigorria et al., 2016; Varillas et al., 2014). Otra mejora ambiental lograda por los CS es el secuestro de carbono y la mejora en la biomasa microbiana (Boccolini et al., 2019) lo que contribuye a disminuir el efecto invernadero que sufre el planeta. Sin embargo, las condiciones meteorológicas muchas veces impiden reflejar dichas mejoras, atribuyendo a los CS un costo hídrico que, en ocasiones, puede reducir la producción de los cultivos estivales (Rimski-Korsakov et al. 2016) debido a la competencia por recursos, especialmente por agua y nutrientes.



Las condiciones ambientales se pueden evaluar a través de la variación en las condiciones climáticas. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) es un estado anómalo que ocurre naturalmente en las condiciones oceánicas y atmosféricas del Pacífico tropical, es el principal predictor de las alteraciones climáticas globales (Wolter & Timlin, 2011). Estos pueden persistir durante varias temporadas y, por lo tanto, producir efectos regionales severos. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue determinar si hubo costo hídrico por parte del cultivo de servicio en la producción de maíz en un año Niña (del fenómeno ENSO), en la región central de Córdoba, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un establecimiento ubicado 25 km al sur de la ciudad de Córdoba (31°19' lat. Sur; 64°13' long. Oeste), Argentina. El área tiene 760 mm de precipitación media anual, con inviernos secos y veranos húmedos. Los suelos son Haplustoles típicos de textura franco limosa con pendiente promedio de 1.2%. Se registraron las precipitaciones ocurridas durante el ensayo en el período que va desde enero 2020 hasta julio 2022 y se analizó el índice de sequía bimensual multivariante (MEI) de El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) que permite evaluar las condiciones climáticas. MEI, combina variables tanto oceánicas como atmosféricas y brinda indicaciones en tiempo real de la intensidad de ENSO y, a través del análisis histórico, proporciona un contexto para un estudio comparativo significativo de las condiciones en evolución (Zhang et al., 2019). Es la serie temporal de la principal función ortogonal empírica (EOF) combinada de cinco variables diferentes (presión a nivel del mar (SLP), temperatura de la superficie del mar (SST), componentes zonales y meridionales del viento superficial y radiación de onda larga saliente (OLR)) sobre la cuenca del Pacífico tropical (30°S-30°N y 100°E-70°W). Las características clave de los eventos MEI positivos compuestos (cálido, El Niño) y MEI negativos compuestos (frío, La Niña,) son en su mayoría de fase opuesta (NOAA Climate Data Record).

El ciclo evaluado es parte de una rotación 1:1 soja:maíz con cultivos de servicio posterior a la soja realizada bajo siembra directa, en lotes con terrazas paralelas de desagüe para control y reducción del escurrimiento. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó centeno (*Secale cereale* (L.) M.Bieb.) sembrado con sembradora de grano fino, como cultivo de servicio (CS) y barbecho químico como tratamiento testigo (T).

Se determinó agua de suelo por gravimetría hasta los 200 cm de profundidad (0-20 cm; 20-50 cm; 50-100 cm; 100-150 cm; 150-200 cm). Las determinaciones se realizaron en cuatro fechas distintas que corresponden a los momentos de siembra del cultivo de servicio, secado de cultivo de servicio, siembra de maíz y cosecha de maíz (tabla 1).

Al secado del cultivo de servicio, se determinó producción de materia seca (MS). Al momento de cosecha de maíz se cuantificó la producción de biomasa y rendimiento del cultivo.

Tabla 1: Manejo de los cultivos del año analizado (servicio y estival) referidos a especie, fechas de siembra, secado y cosecha, densidad, espaciamiento y fertilización

	Cultivo servicio	Cultivo estival
Especie	Centeno	Maíz
Siembra	15/05/21	23/12/21
Secado-cosecha	05/09/21	06/07/22
Densidad	33 kg ha ⁻¹	8 pl m ⁻²
Marco plantación	17.5 cm entre hileras	52.5 cm entre hileras
Fertilización	Sin fertilización	Urea a la siembra



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros de precipitaciones mensuales en el establecimiento para el período enero 2020 a agosto 2022 y los datos de lluvias medias mensuales (1970-2010), se muestran en la figura 1. Asimismo, está representado el valor de índice de sequía para el mismo ciclo.

Se observa en más del 90 % de los meses evaluados una reducción de las precipitaciones mensuales respecto de la media, alcanzando los 881 mm para el período estudiado (enero 2020- agosto 2022) siendo este valor superior a las lluvias medias anuales de la zona (760 mm), es decir, en 32 meses de medición hubo un déficit de precipitaciones equivalente a más de 1 año de lluvias normales. Dicha acumulación en el déficit pluviométrico se cuantificó con el índice de sequía el cual muestra valores crecientes a medida que avanza el período (figura 1).

Estas características meteorológicas comprueban que las condiciones corresponden al fenómeno ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) con condiciones de Niña.

En relación a la producción de cultivos, los mayores déficits se registraron durante el período estival, afectando la producción de biomasa y rendimiento de los mismos. Para el ciclo correspondiente a soja (octubre 2020/marzo 2021), las lluvias totales alcanzaron los 543 mm; entretanto para maíz, realizado en la campaña siguiente, los valores fueron 456 mm, representando un 17% menos de la campaña anterior. Según Dardanelli et al. (2004) la demanda de agua del cultivo de maíz creciendo sin limitaciones hídricas en Córdoba, se ubica entre los 500 y 600 mm, lo que indica que las precipitaciones cubrieron la mayor parte de los requerimientos.

Asimismo, el cultivo de servicio entre los cultivos estivales anteriores contó con solo 98.5 mm de lluvia. Estas condiciones meteorológicas, sumado al consumo por parte de los cultivos, determinó que el contenido hídrico edáfico total hasta los 2 m de profundidad disminuyera a lo largo de la rotación (figura 2) para la secuencia cultivo de servicio – maíz que es la analizada en el presente trabajo.

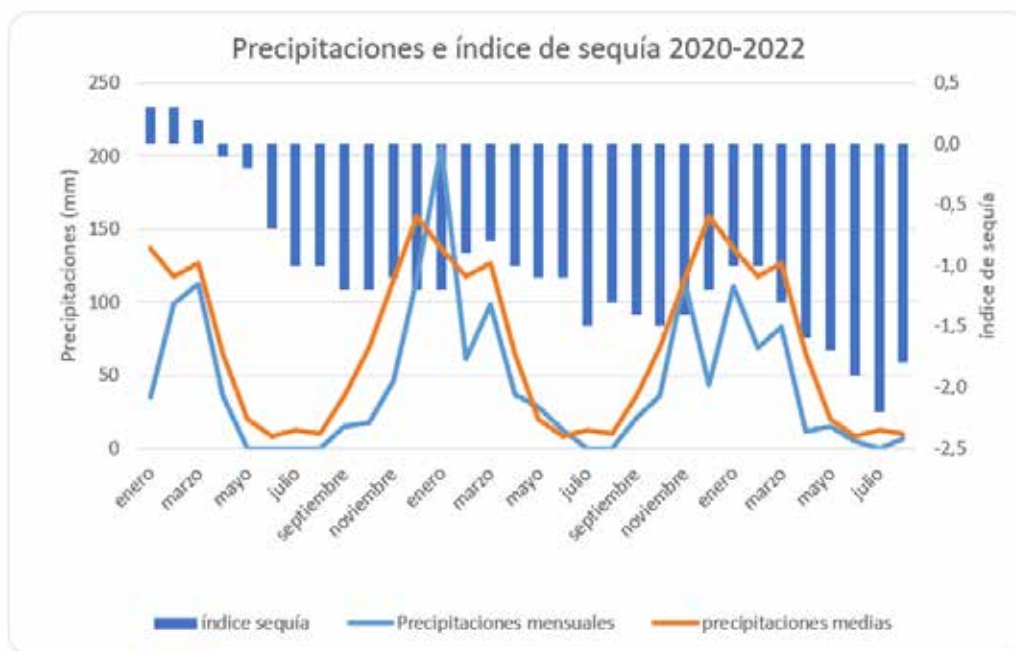


Figura 1. Precipitaciones medias mensuales (mm), precipitaciones registradas e índice de sequía (MEI) (adimensional) para el período enero 2020 – agosto 2022 (mm)

El análisis estadístico indica que solo para la medición de agua al momento de la cosecha del maíz no mostró diferencias significativas entre tratamientos (T y CS) donde dicho valor se encuentra cercano al límite mínimo (PMP) hasta los 2 m para el suelo analizado (240.3 mm). La mayor diferencia en el contenido hídrico se dio



al momento del secado del centeno, marcando el costo hídrico (75 mm) que tuvo dicha práctica respecto del sitio testigo. Duval et al. (2015) determinaron en CS antes de soja, un costo hídrico de 93 mm. Por su parte, la diferencia entre tratamientos al momento del secado del CS y siembra del cultivo estival fue reportado también por diversos autores los cuales indican que dependiendo de la duración del CS, lluvias durante el período y especie utilizada, son los valores registrados (Fernandez et al., 2012; Saenz y Colazo, 2013; Alesandría et al., 2013; Rillo et al., 2013; Varillas et al., 2014). Asimismo, se menciona la mayor capacidad de recarga del perfil en las parcelas que tuvieron CS (Restovich et al., 2012; Álvarez et al., 2013).

Sin embargo, a pesar del bajo contenido hídrico edáfico y las menores precipitaciones registradas debido a la Niña, el cultivo estival no mostró diferencias significativas entre tratamientos, logrando producción de granos superior a la media regional 2021 indicada por el BCCBA (8890 kg ha⁻¹), siendo 9896 y 9415 kg ha⁻¹ para T y CS respectivamente. Asimismo, los valores de biomasa total fueron de 17860 y 17210 kg ha⁻¹.

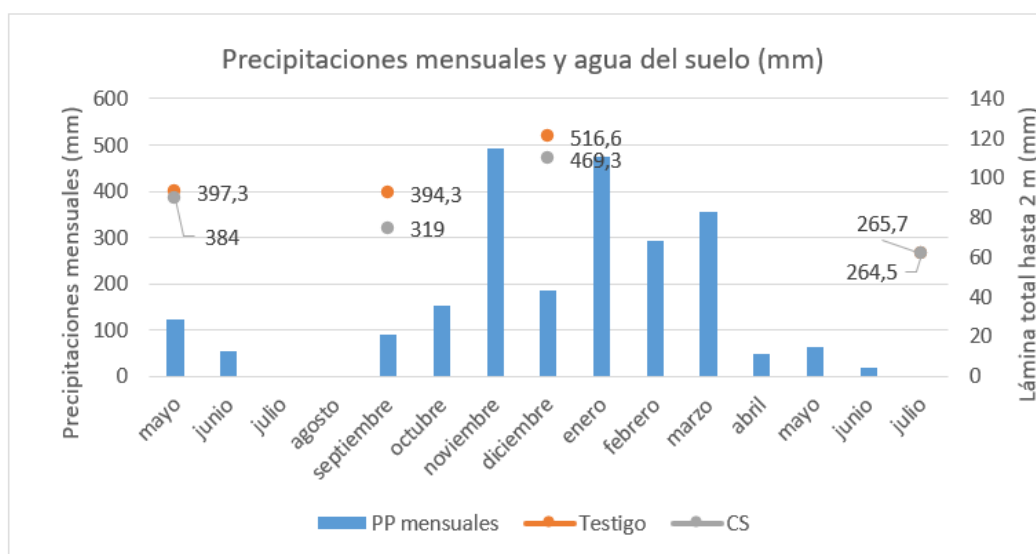


Figura 2. Precipitaciones mensuales (mm) y lámina total del suelo hasta los 2 metros en tratamiento testigo y cultivo de servicio (CS), al momento de la siembra y secado del CS; siembra y cosecha (maíz)

En una revisión bibliográfica realizada por Rimski-Korsakov et al. (2016), muestran que los CS pueden afectar el rendimiento de los cultivos principales, en forma ya sea positiva o negativa. En la zona semiárida de la región pampeana, encontraron que el maíz rindió en promedio 620 kg ha⁻¹ más cuando previamente había un CS, probablemente debido a una mejor eficiencia en la dinámica del agua donde se disminuye la evaporación y mejora la infiltración, entre otros efectos.

En este estudio, los resultados indicaron que, a pesar de haber sido un año Niña y del costo hídrico provocado por el CS, el rendimiento de maíz fue similar en ambos tratamientos (sin diferencias significativas p=0.05), probablemente debido a la tecnología de producción aplicada (rotación de cultivo, siembra directa y terrazas paralelas de desagüe). Por otra parte, bajo CS se incrementó la biomasa producida en las parcelas dado por la sumatoria de centeno (1620 kg ha⁻¹) y biomasa sin grano de maíz (7970 -T y 7800-CS kg ha⁻¹) que fue devuelta al sistema, lo que mantendría en mejores condiciones la fijación de carbono, reciclado de nutrientes y mejores condiciones estructurales. Boccolini et al. (2019) mencionan que los CS incrementan la biomasa microbiana mejorando la actividad del suelo a través del aporte adicional de residuos. Los valores de materia seca de CS en este estudio fueron menores que los obtenidos por Fernández et al., (2012) en centeno sin fertilizar (4548 a 7666 kg ha⁻¹), sobre Haplustoles énticos en la región semiárida, debido principalmente a las características climáticas previamente descritas.



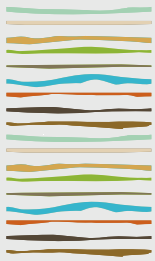
CONCLUSIONES

En un año Niña, en la zona evaluada, la producción de maíz se mantuvo sin diferencias significativas luego de centeno como cultivo de servicio antecesor, respecto del testigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alessandria, E., Arborno, M., Leguía, H., Pietrarelli, L., Sanchez, J. V., & Zamar, J. L. (2013). Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba. *cultivos de cobertura*, 128.
- Alvarez, C. O., Quiroga, A. R., Noellemeyer, E. J., & Fernández, R. (2013). Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción.
- Baigorria, T., Alvarez, C., Cazorla, C., Belluccini, P., Aimetta, B., Pegoraro, V., ... & Tuesca, D. (2016). Análisis temporal de métodos de secado en cultivos de cobertura: dinámica del agua y malezas. In *XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: ordenamiento territorial: un desafío para la ciencia del suelo: trabajos de investigación*.
- Boccolini, M., Cazorla, C. R., Galantini, J. A., Belluccini, P. A., & Baigorria, T. (2019). Cultivos de cobertura disminuyen el impacto ambiental mejorando propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de los cultivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 45(3), 412-425.
- Dardanelli J., Collino D., Otegui M.E. y Sadras V. 2004. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Satorre, E. H., Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2004). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo (No. F01 AGR 17624). Editorial Facultad Agronomía.
- Duval, M. E., Capurro, J. E., Galantini, J. A., & Andriani, J. M. (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del suelo*, 33(2), 0-0.
- Fernández R; A Quiroga & E Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región se-írida pampeana?. *Cienc. suelo*. 30(2):137-150.
- Observations of OLR are obtained from NOAA Climate Data Record (CDR) of Monthly Outgoing Longwave Radiation (OLR), Version 2.2-1: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/atmospheric/outgoing-longwave-radiation-monthly>
- Restovich SB; AE Andriulo & SI Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize- soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crop Res.* 128:62-70.
- Rillo, S., Álvarez, C., Bagnato, R., & Noellemeyer, E. (2013). Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. *cultivos de cobertura*, 58.
- Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C. R., & Lavado, R. S. (2016). Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina.
- Sáenz, C., & Colazo, J. (2013). Costo hídrico de cultivos de cobertura invernales en San Luis. *Primeras experiencias. cultivos de cobertura*, 16.
- Varillas, G., Pedraz, F., Kruk, B., & Barraco, M. (2014). Cultivos de cobertura en ambientes limitantes del oeste de Buenos Aires. In *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Bahía Blanca, Argentina.
- Wolter, K., and M. S. Timlin, 2011: El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Intl. J. Climatology*, 31, 14pp., 1074-1087. DOI: 10.1002/joc.2336.
- Zhang, T, A. Hoell, J. Perlwitz, J. Eischeid, D. Murray, M. Hoerling and T. Hamill, 2019: Towards Probabilistic Multivariate ENSO Monitoring, *Geophys. Res. Lett.*, 46, DOI: 10.1029/2019GL083946





SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EÓLICA DE LA REGIÓN MANISERA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (Argentina)

Vicondo, M.E.^{1,2,*}, J.M. Villar Mir³, J.C. Colazo^{1,4}

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria;

2 Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de Córdoba.

3 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria-Universidad de Lleida.

4 Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de San Luis.

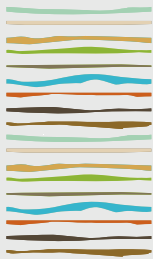
* Ruta Nac 9, km 636, (X5988) Manfredi, Provincia de Córdoba, vicondo.manuel@inta.gob.ar

RESUMEN

Argentina es uno de los principales productores y exportadores de maní en el mundo. En este país, el maní es producido principalmente en la Provincia de Córdoba y constituye su economía regional más importante. Durante las últimas décadas la localización de la producción del maní ha cambiado desde el centro norte de la provincia hacia suroeste. El desplazamiento se ha producido siempre dentro de la región semiárida pampeana de la Provincia de Córdoba, desde ambientes con suelos de origen loessico hacia otros de origen eólico arenoso. Por otra parte, el movimiento del cultivo, ha ocurrido hacia zonas más frías y en algunos casos, con menores precipitaciones, y mayores déficits hídricos. Los suelos con mayores proporciones de arena tienen una mayor fragilidad a la erosión eólica. Esto es debido a su baja proporción de limos y arcillas que actúan como cementantes de agregados, sumado a la menor capacidad de acumular carbono orgánico o retener humedad. Además, las labores agrícolas, necesarias para la cosecha del maní, incrementan la fracción erosionable del suelo. Los nuevos sitios ocupados por el cultivo serían más susceptibles a la erosión eólica debido a una menor capacidad para formar agregados no erosionables. Por lo que el objetivo de este trabajo fue establecer la susceptibilidad a la degradación por erosión eólica de los suelos de la región manisera de la provincia de Córdoba. La información de las variables edáficas se obtuvo de la Carta de Suelos de la República Argentina. Se trabajó con la información existente a la mayor escala disponible. Para cada unidad cartográfica se eligió un suelo representativo, aquella serie que se encontraba en mayor proporción o que mejor representaba las características de la unidad. Para cada serie de suelos se estimó la fracción erosionable (FE) a partir de sus propiedades de materia orgánica y textura de 0 a 25 cm de profundidad de acuerdo con la fórmula $FE=9,98+6,91(\text{arena}/\text{arcilla})+(14,1/\text{materia orgánica})$. La susceptibilidad a la degradación se determinó en alto, medio o bajo, combinando su vulnerabilidad natural con la posibilidad de disminuir esa fracción erosionable o reducir su exposición con diversas prácticas de manejo de acuerdo a su textura superficial. De acuerdo a las referencias, suelos con FE mayores a 40% producen pérdidas superiores a la tolerancia, mientras que suelos con menos de 68,5% de arena pueden disminuir su FE con prácticas de manejo. De las 23 series representativas, 9 se consideraron de baja susceptibilidad, aquellas series con menos de 40% de FE y menos de 68,5% de arena. 10 con susceptibilidad moderada, FE mayor al 40% pero porcentajes de arena iguales o menores a 68,5%. Finalmente, 3 con alta susceptibilidad que tenían una FE mayor al 40% y contenido de arena mayor al 68,5%. Si bien se encontraron suelos con valores de FE superiores al umbral tolerable, la textura de algunos de estos suelos permite la disminución de la susceptibilidad y además sería posible el control de la erosión con prácticas de manejo adecuadas, como así también, se ha demostrado la existencia de ambientes con elevada susceptibilidad.

Palabras clave: fracción erosionable por el viento, maní, vulnerabilidad.





MODELACIÓN DEL USO DE LA TIERRA E INFRAESTRUCTURA EN LA CUENCA ALTA DE LA PICASA (CÓRDOBA)

Videla-Mensegüe, H.^{1*}, J. Corigliano², A. Macchiavello¹, A. Veldhuizen³, T. Kroon⁴, B. Romero Verastegui⁴, J. Alvarez⁵, S. López⁵, N. Guillén^{5,6} y C.M. García⁵

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

²Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

³Wageningen Environmental Research, Netherlands.

⁴Deltares, Netherlands.

⁵Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

⁶Universidad Católica de Salta, Argentina.

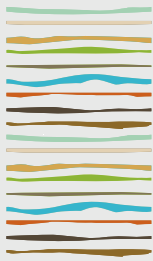
*Castelli 16, Laboulaye, Córdoba. videla.horacio@inta.gob.ar.

RESUMEN

La actividad humana y el cambio climático están generando severas presiones sobre los recursos naturales que se manifiestan en desequilibrios sobre el ciclo hidrológico, biodiversidad y producción de alimentos. El objetivo de este trabajo fue comparar indicadores ambientales y económico – productivos calculados a partir de escenarios de modelación codiseñados representando cambios en el uso de la tierra y aumento de la red de canales en la cuenca Alta de La Picasa (CALP). El estudio se focalizó sobre el oeste de la cuenca de La Picasa correspondiente al territorio de Córdoba (245.000 ha). Junto a actores referentes del territorio, se codiseñaron escenarios de modelación, por un período de 10 años, para evaluar la situación actual (E0, 50% soja-soja (S-S), 30% soja-maíz (S-M) y 20% trigo/soja (T/S), áreas no agrícolas con pasturas naturales; y una red de canales de 133 km), aumento de la red de canales (E1, 792 km de canales), intensificación en rotación agrícola (E2, 20% S-S, 30% S-M y 50% T/S) y pasturas (E3, 20% S-S, 30% S-M, 30% T/S, y 20% alfalfa). La herramienta de modelación consistió en el acoplamiento del modelo agrohidrológico SWAP-WOFOST y el modelo de aguas subterráneas iMOD previamente calibrados para el área de estudio. Se calcularon indicadores ambientales (nivel freático, NF; recarga, R; evapotranspiración de cultivo, ETc) y económico – productivos (producción equivalente en soja, PES; y valor bruto de la producción, VBP). Los resultados muestran que los escenarios E2 y E3 generaron mayores cambios en todos los indicadores en comparación a E0 y E1. E3 mostró mayor efecto sobre NF (178 cm) seguido por E2 (NF 128 cm) y E1 (122 cm). En E0, la R fue 123 mm/año mientras que los menores valor de R fueron logrados en E3 (46 mm/año) y E2 (100 mm/año). E1 no mostró efectos sobre R. PES aumentó un 16% en E2 comparado con E0, variando de 908.000 t de soja/año a 1.055.000 t soja/año. Por el contrario, E3 se redujo un 11% comparado a E0 disminuyendo 102.000 t de soja/año. El VBP aumentó 16% en E2 (37.8 millones u\$) comparado a E0 (232 millones u\$). E3 no logró compensar el rendimiento económico de los cultivos anuales de cosecha reduciendo el VBP 11% significando 26 millones de u\$ menos producidos en CALP. La ETc en E0 fue 830 mm/año siendo 85% transpirada, 14% evaporada y 1% conducida por canales. En cambio, en E3 y E2 la ETc fueron 9 y 6% superiores a E0 (907 y 854 mm, respectivamente). La transpiración fue 6 y 20% superior en E2 y E3 en comparación a E0. En E1 el movimiento de agua por canales aumentó un 400% en comparación a E0. Los resultados mostraron que el incremento en la intensificación del uso del suelo, ya sea con pasturas o doble cultivo de cosecha, generan un importante efecto sobre el NF, R, PES y VBP. Además, el aumento de la red de canales no generó impactos importantes sobre el NF.

Palabras clave: modelación, gestión territorial, recursos naturales.





ESTADO DE SALUD DE LOS SUELOS DEL ÁREA DE BOSQUES NATIVOS DEL ESPINAL

Wilson, M.G.^{1*}, A.B. Wingeyer^{1,2}, E.A. Gabioud¹, M.C. Sasal¹, S.M.J. Sione^{2,3}, L. Lezana^{1,3}

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria Paraná;

² CONICET;

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER;

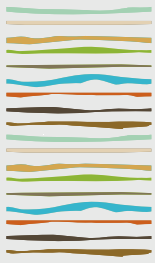
* Ruta Ruta Provincial N° 11, km 12,5 (3101) Oro Verde, Provincia de Entre Ríos, Argentina,
wilson.marcelo@inta.gob.ar

RESUMEN

Los bosques nativos (BN) brindan diversos servicios ecosistémicos: proveen hábitats a especies de flora y fauna silvestre, contribuyen a la conservación y protección de los suelos, cumplen un rol importante en el ciclo del agua protegiendo las cuencas hidrográficas, contribuyen a atenuar el clima local y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a su vez, ofrecen servicios recreativos, culturales y paisajísticos. En la región norte del Espinal el sistema productivo predominante es la ganadería de cría bajo bosque nativo, con sostenido aumento de la superficie agrícola vinculada a cultivos de verano. Erosión hídrica, encharcamiento en áreas planas, pérdida de biodiversidad (vinculado a la fragmentación y pérdida de superficie boscosa) y menor productividad del pastizal de los bosques remanentes por sobrecarga animal y sobrepastoreo, constituyen problemáticas que se han detectado en esta región. En tal sentido, es clave contar con herramientas que contribuyan a definir una línea base del estado de conservación/degradación de la tierra para realizar el seguimiento de la implementación de prácticas de manejo sostenible de tierras. El índice de calidad expeditiva de suelo (ICES), basado en los métodos de FAO (2009) y de estimación visual de la calidad de la estructura de Ball et al. (2007), permite conocer en forma rápida y sencilla el estado del recurso y su tendencia. Este índice es acompañado por otro índice de "clase de erosión", compuesto por la sumatoria de estimaciones visuales de tipo, estado, extensión y severidad de la erosión, basado en una metodología de FAO (2011). Ambos índices son utilizados por el Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, y por otros proyectos de la región del Espinal para evaluar el efecto del manejo ganadero en BN. Del relevamiento de 35 establecimientos, se observó la presencia de algún grado de deterioro de la calidad del suelo en el 90% de los sitios, independientemente del tipo de suelo evaluado. El empleo de estos índices permitió conocer el estado de conservación/degradación de la tierra, al distinguir un amplio rango de calidad de suelos y estados de erosión para pastizales de BN bajo producción ganadera. Se observaron diversos tipos y grados de erosión hídrica, en algunos casos con alto grado de erosión. La presencia de los tipos de erosión más severos (surco y cárcavas), así como la clase de erosión (índice) registrados, se relacionaron en forma inversa con la altura promedio del pastizal, mostrando relación directa entre el estado de erosión y el sobrepastoreo. Estos resultados ponen en evidencia la degradación de suelos aún con vegetación nativa de campo natural y contribuyen a la formulación e implementación de prácticas de manejo ganadero orientadas al manejo sostenible de tierras.

Palabras clave: calidad del suelo, bosques nativos, erosión.





ACIDIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS BAJO MONTES DE PINO

Zalba, P.¹, C. Zalba¹, E. Schmidt¹

¹ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS);

* San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Buenos Aires, Argentina, eschmidt@criba.edu.ar

RESUMEN

Los cambios ocurridos en el uso de la tierra, tales como la introducción de árboles en zonas agrícolas, pueden dar lugar a alteraciones en las propiedades fisicoquímicas de los suelos y también afectar la cantidad y la calidad de la materia orgánica incorporada al sistema. En este estudio, se evaluaron dos sistemas de manejo del suelo muy contrastantes, forestal y agrícola, prestándole especial atención a las fracciones orgánicas, a la acidificación y al contenido de N total para explicar las diferencias encontradas. Para ello se tomaron muestras de suelo (0 - 20 cm) bajo montes de pinos de +70 años de edad y otras provenientes de suelos adyacentes con similar cantidad de años de uso agrícola, en la región centro-sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El pH en la capa superior del suelo debajo de los pinos fue notoriamente más ácido (5,0 vs. 6,2) y se registró un aumento significativo en el nivel de carbono orgánico total (COT). La relación C/N fue más elevada debajo de los árboles (más de una unidad en orden de magnitud), no obstante, el contenido de CO en la fracción mineral del suelo fue similar en ambos sistemas comparados. La distribución relativa de las fracciones orgánicas, se modificaron como consecuencia del uso del suelo, no obstante, la materia orgánica más estable y humificada (COM) asociada a la fracción mineral del suelo fue similar en ambos sistemas. Se plantea la incorporación de una enmienda con calcio para remediar el efecto negativo de la acidificación.

Palabras clave: *Pinus spp.*, acidificación, encalado.

INTRODUCCION

Las particularidades de cada sistema productivo tienen un fuerte impacto sobre el balance, la dinámica y los tipos de transformaciones de la materia orgánica del suelo (MOS) (Balesdent *et al.*, 2000; Galantini *et al.*, 2004, 2016). Desde el punto de vista químico, la MOS es muy dependiente de las características de las moléculas orgánicas predominantes, ya que por su alto potencial para interactuar con los minerales del suelo surge su capacidad "buffer" entre otros aspectos importantes para la estabilidad del ambiente edáfico. En cuanto a la fertilidad química, la MOS a través de su propia descomposición libera nutrientes esenciales para las plantas, tal es el caso de la MO particulada o joven (MOP). Otra manera de contribuir a la fertilidad del suelo es mediante la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de la MOS ya que en el caso de las sustancias húmicas ésta es muy elevada, entre 200 y 500 cmol kg⁻¹.

Los diferentes usos y manejos de las tierras impactan tanto sobre la reserva de macronutrientes en el suelo como sobre la disponibilidad de los micronutrientes. Se ha demostrado que en ecosistemas forestales antrópicos introducidos en tierras de pastizales aumenta de manera significativa la disponibilidad del P y debido a las condiciones de acidez del suelo, se pierden otros elementos como K, Mg y Ca (Zalba & Peinemann, 1987; Amiotti *et al.*, 2000; Garay *et al.*, 2015). Otros autores como Entry & Emmingham (1996) reportaron también mayores contenidos de P, Mn y Fe y menores de Zn, B y Cu en el suelo mineral bajo bosque en comparación



con el ecosistema natural adyacente, mientras que Jackson *et al.* (2005) y Céspedes-Payret *et al.* (2012), concuerdan en que la forestación incrementa selectivamente la concentración de algunos cationes como Na y aumenta la acidez del suelo.

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar la acidificación del suelo bajo montes del género *Pinus* en la zona de Sierra de la Ventana (Pcia. de Bs. As.) y plantear la posibilidad cierta de corregir dicha acidificación mediante el uso de una enmienda con calcio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en proximidades del sistema serrano de Ventania en el suroeste de la provincia de Buenos Aires. Desde el punto de vista geomorfológico, el área corresponde al Dominio Morfoestructural "Positivo de Ventania" (González Uriarte, 1984). En él, se han definido dos unidades principales: el Sistema Serrano y el Nivel de Planación General. Este último nivel geomorfológico constituye una superficie plana que se extiende desde los 400 msnm al pie de las sierras hasta los 60-70 msnm en dirección a la costa atlántica. El gradiente es del orden del 5% en proximidades al cordón serrano (piedemonte) y disminuye hasta el 0,5 % en la porción distal del Nivel de Planación General (NPG) o llanura subventánica.

La precipitación media anual para las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio es de 700 mm con un desvío de +/- 170 mm (serie histórica 1900-2009) para la ciudad de Tornquist y de 750 mm +/- 163 mm para Sierra de la Ventana (serie histórica 1904-2009), ambas localidades cercanas a los sitios de muestreo. La evapotranspiración potencial para los mismos períodos fue de 1100 mm +/- 112mm. Las estaciones más lluviosas son verano y otoño, con el 32% y el 28% del total de las precipitaciones, respectivamente. El valor máximo medio se presenta en el mes de marzo, mientras que el mínimo se produce en agosto. Los promedios no reflejan el alto nivel de irregularidad de las precipitaciones, situación que caracteriza a la región centro-sur de la provincia de Bs. As. (Scian, 2010).

La temperatura media anual se ubica en los 15,0°C, mientras que la temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23,2°C y la del mes más frío (julio) de 7,5°C. Estas condiciones caracterizan a un clima templado. El período medio libre de heladas se extiende desde octubre a abril.

Los montes forestales seleccionados para llevar adelante la investigación fueron ubicados en el área de estudio (NPG) observando las imágenes satelitales de Google Earth y realizando controles de campo. En algunos casos los montes estuvieron constituidos por bloques compactos y en otros, debido a la escasez de los mismos, estuvieron representados por cortinas forestales de al menos cinco hileras de plantación. En total se seleccionaron siete montes forestales constituidos por especies del género *Pinus* (*P. halepensis*, *P. radiata* y *P. pinaster*) los que fueron implantados entre los años 1949 y 1958 a un espaciamiento de 5 m por 5 m. La ubicación de los mismos estuvo supeditada a la textura del suelo dado que cierta homogeneidad textural es requerida para evitar la influencia de la granulometría sobre los cambios en los contenidos de sustancias húmicas y nutrientes asociados (Galantini *et al.*, 2004).

En cada uno de los montes se tomaron tres muestras al azar a una distancia de 50 cm del tronco de los árboles y a una profundidad de 0-20 cm, correspondiente al horizonte A. En forma simultánea se tomaron tres muestras, también al azar, de 0-20 cm, en lotes adyacentes con similar cantidad de años de uso agrícola. La información recabada de los propios productores con respecto a la historia agrícola de los lotes, señala que en todos los casos se han realizado cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*) y girasol (*Helianthus annuus*) para cosecha, los que fueron implantados con un período de barbecho previo a la siembra para acumular agua. Ocasionalmente, y a modo de rotaciones para mantener la fertilidad del suelo, se han implantado pasturas de festuca (*Festuca arundinacea*) y alfalfa (*Medicago sativa*) durante períodos de tiempo de al menos 3 años. También de manera esporádica se ha cultivado avena (*Avena sativa*), moha (*Setaria itálica*) y sorgo (*Sorghum spp.*). Las muestras de suelo fueron procesadas en el laboratorio luego de ser secadas al aire y tamizadas por una malla de 2 mm. Además, se procedió a la separación de tres fracciones granulométricas con la finalidad de poder comparar con mayor precisión el efecto del manejo (forestal vs. agrícola)



sobre las propiedades químicas del suelo. La separación se llevó a cabo previa dispersión mediante agitación con agua durante 16 horas (agua destilada + bolitas de vidrio). Posteriormente se realizó un tamizado en húmedo utilizando los tamices de 50 y 100 micrones. Las fracciones obtenidas fueron identificadas como fina (FF, <50 µm), media (FM, 50 – 100 µm) y gruesa (FG, > 100 µm).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se presentan las propiedades químicas y la clase textural de las muestras de suelo estudiadas. Tanto bajo los árboles como en los lotes destinados a la agricultura, las variaciones texturales encontradas presentaron similares tendencias. La granulometría quedó clasificada entre las clases texturales franca a franco arenosa en ambos sistemas. El contenido de arcilla presentó un rango de variación entre 15,5 y 26,5%, en el caso del limo entre 15,4 y 36%, mientras que la fracción arena presentó una mayor variabilidad (41,1% a 65%), aunque fue considerada aceptable para este estudio. Se observó bajo los pinos una fuerte disminución del pH, un aumento significativo del contenido de carbono orgánico (CO) un incremento de la relación C/N en forma concomitante con el nitrógeno total (Nt). Los cuatro parámetros evaluados presentaron diferencias significativas, pudiéndose inferir que el horizonte mineral superficial resultó afectado por el manejo.

Por otro lado, la agricultura en estos suelos se caracteriza por un balance negativo de N, debido a la exportación sumado a las pérdidas potenciales por lixiviación y/o erosión (Galantini *et al.*, 2007). Por ello, los menores valores observados en agricultura estarían vinculados a pérdidas de N en este sistema que no ocurren en el suelo bajo los pinos. Como consecuencia del fuerte incremento de CO, especialmente materiales orgánicos menos transformados, la relación C/N también aumenta en el sistema forestal.

Tabla 1. Propiedades químicas y clase textural de las muestras de suelo analizadas en el horizonte A (0 – 20 cm) en los sistemas forestal y agrícola.

Sistema	pH	CO %	Nt %	C/N	Textura
Forestal	5,0 ± 0,1 a	3,6 ± 0,2 a	0,27 ± 0,01 a	13,2 ± 0,4 a	F/FA
Agrícola	6,2 ± 0,1 b	2,5 ± 0,2 b	0,22 ± 0,01 b	11,7 ± 0,4 b	F/FA

Nota: CO, Carbono orgánico; Nt, Nitrógeno total; C:N, relación Carbono: Nitrógeno; F/FA= franco a franco arenoso; letras distintas entre columnas indican diferencias altamente significativas (p<0,01).

El mayor contenido de CO bajo los pinos puede ser atribuido a características de calidad del material orgánico que conducen a una descomposición más lenta y también al menor contenido de humedad bajo los árboles. Si bien aquí no se presentan los valores, se pudo constatar que cada vez que se tomaron muestras en condiciones de campo, el contenido de humedad fue menor bajo los pinos, con diferencias de hasta 6-7% entre ambos sistemas.

En contraste, parte del carbono fijado por los cultivos en el sistema agrícola es exportado con las cosechas. Durante una parte del año el sistema agrícola se encuentra sin cultivar y en consecuencia el suelo se halla en mejores condiciones de humedad que favorecen la descomposición de los materiales más lábiles. Además, la superficie del suelo suele estar más o menos desprotegida de cobertura aumentando también el riesgo de pérdidas por procesos erosivos (Galantini *et al.*, 2007). Este contexto permite explicar las diferencias encontradas que estarían localizadas principalmente en las fracciones orgánicas más gruesas, como por ejemplo el COP grueso (Tabla 2).

Resultados similares con respecto a los valores de pH y CO fueron reportados por Amiotti *et al.* (2000) en Argentina y por Reddy (2014) en la India cuando compararon suelos bajo montes forestales con suelos agrícolas o provenientes de pastizales naturales.



Tabla 2. Contenido de carbono orgánico en las distintas fracciones estudiadas en los sistemas forestal y agrícola.

Sistema	Fracción gruesa >100 μm (%)	Fracción media 50 – 100 μm (%)	Fracción fina < 50 μm (%)
Forestal	5,01 \pm 3,08 a	1,30 \pm 0,66 a	4,27 \pm 1,61 a
Agrícola	2,51 \pm 1,90 b	1,92 \pm 1,14 a	3,51 \pm 0,86 a

Nota: Letras distintas entre columnas indican diferencias significativas entre sistemas ($p < 0.05$).

En la Fig. 1 se muestra la distribución del CO del suelo dentro de cada una de las fracciones analizadas que ilustra mejor los resultados comentados previamente. A pesar que los valores absolutos de COM fueron similares en ambos tratamientos, en el sistema forestal éste representó el 51% del COT del suelo, mientras que en el sistema agrícola representó el 60%.

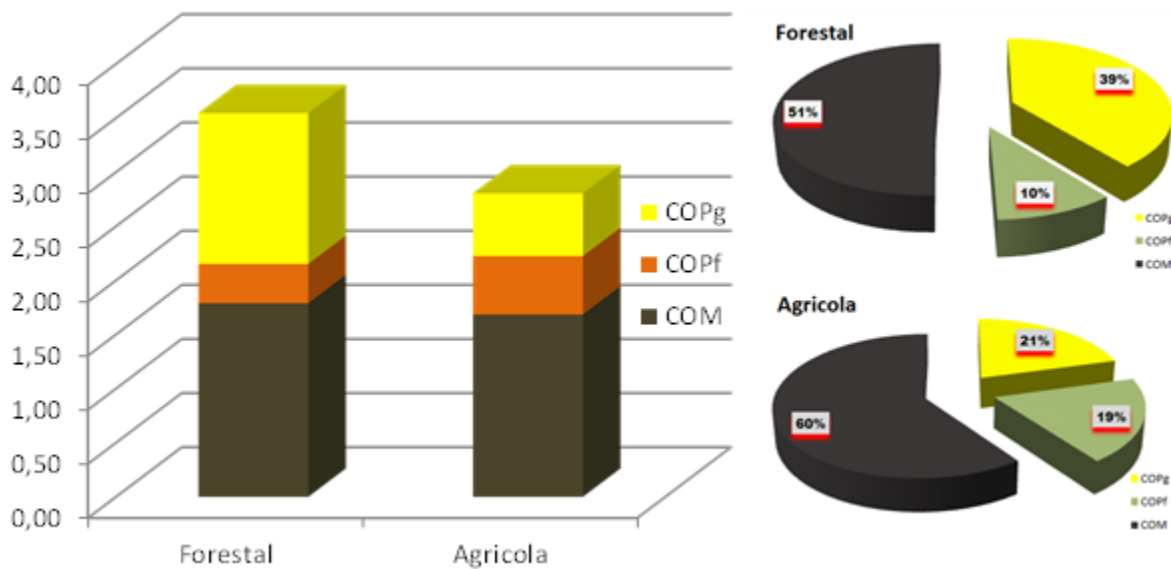


Figura 1. Distribución del carbono orgánico en las diferentes fracciones granulométricas separadas por tamizado en húmedo.

Se observa también en la Fig. 1 un equilibrio entre COPg y COPf en el sistema agrícola, el cual se altera bajo los árboles donde el aporte de material orgánico es mayor y/o más resistente a la degradación, por lo tanto, se descompone más lentamente. La distribución relativa de las fracciones orgánicas, se modificaron como consecuencia del uso del suelo, no obstante, la materia orgánica más estable y humificada (COM) asociada a la fracción mineral del suelo fue similar en ambos sistemas. En el caso de los pinos la mayor cantidad de COPg en relación al contenido de COPf indicaría que las condiciones para su transformación no son las más adecuadas básicamente por dos motivos: 1) los materiales son más resistentes a la descomposición y 2) menor contenido de agua disponible bajo los pinos.

CONCLUSIONES

La introducción de pinos en Molisoles del área de Ventania modificó algunas propiedades químicas del horizonte mineral superficial del suelo a corta distancia del tronco de los árboles, en comparación con suelos adyacentes destinados a la agricultura. El pH del suelo en el horizonte A (0 – 20 cm) presentó una fuerte acidificación (1,2 unidades). También se registraron aumentos significativos en los niveles de COT y en la fracción particulada gruesa (COPg), el contenido de N total fue más elevado y se determinó un aumento de la relación C/N bajo los árboles.

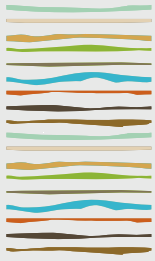


La distancia de plantación en este estudio ha sido de 5 m por 5 m, por lo tanto, la densidad es de 400 plantas por hectárea. Si tenemos en cuenta un radio de 1 m de distancia alrededor de cada árbol individual, la superficie afectada por la acidificación del suelo es de 1260 m² ó 12,6% si lo expresamos en porcentaje. Dado que los árboles tienen en promedio 70 años de edad podemos inferir que el proceso de acidificación es muy lento, que además ocurre gradualmente y que está localizado cerca del tronco de los árboles. Por dicho motivo, aplicando una enmienda como calcita o dolomita podemos prevenir y/o revertir este proceso, ya que se trata de un aspecto negativo de la forestación con pinos, pero el mismo es evitable y además el costo de una remediación es muy bajo.

BIBLIOGRAFIA

- Amiotti, NM; P Zalba, LF Sánchez & N Peinemann. 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81: 3283 – 3290.
- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53: 215-230.
- Céspedes-Payret, C; G Piñeiro, O Gutiérrez & D Panario. 2012. Land use change in a temperate grassland soil: Afforestation effects on chemical properties and their ecological and mineralogical implications. *Sci. Total Environ.* 438: 549-557.
- Entry, JA & WH Emmingham. 1996. Nutrient content and extractability in riparian soils supporting forests and grasslands. *Applied Soil Ecology* 4:119-124.
- Galantini JA, N Senesi, G Brunetti & RA Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Galantini, JA; L Suñer & JO Iglesias. 2007. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA – INTA)* 36 (1): 63-81.
- Galantini, JA; ME Duval; JM Martínez; V Mora; R Baigorri & JM García-Mina. 2016. Quality and quantity of organic fractions as affected by soil depth in an Argiudoll under till and no-till systems. *Int. J. of Plant & Soil Sci.* 10(5): DOI: 10.9734/IJPSS/2016/25205
- Garay, M; NM Amiotti & P Zalba. 2015. Potencial riesgo de polución biológica asociado a la introducción de *Pinus radiata* en tierras de pastizales. *Phyton* 84 (2): 280-287.
- Gonzalez Uriarte, MJ. 1984. Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca (Buenos Aires). *Actas III: (556-576), IX Congreso Geol. Arg. Buenos Aires.*
- Jackson, RB; EG Jobbagy; R Avissar; SB Roy; DJ Barrett; CW Cook; KA Farley; DC le Maitre; BA McCarl & BC Murray. 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science* 310: 1944-1947.
- Reddy, S. 2014. Elemental analysis, E4/E6 ratio and total acidity of soil humic and fulvic acids from different land use systems. *Annals of Plant and Soil Research*, 16(2): 89 – 92.
- Scian, B. 2010. Clima de Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. Capítulo II. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas. JD Paoloni (Comp.), 1a ed., Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, Ediuns, 242 p.
- Zalba, P & N Peinemann. 1987. Efecto de algunas especies forestales sobre ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Ciencia del Suelo*, 5: 71-76.





PROFUNDIDAD DE LA NAPA DURANTE EL CULTIVO DE TRIGO EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO

Zubiaga, L.^{1*}, J. Vanzolini¹, L. Dunel¹, R. Storniolo¹, D. Ombrosi¹, C. Álvarez², M.A. Cantamutto¹ & J.A. Galantini³.

¹ EEA INTA-H. Ascasubi;

² AER INTA-Gral. Pico;

³ CIC (PBA), CERZOS (UNS-CONICET);

* Ruta Nacional 3, km 794, (8142) Hilario Ascasubi, Prov. de Buenos Aires, zubiaga.luciano@inta.gob.ar

RESUMEN

La existencia de un nivel freático poco profundo puede ser una fuente disponible de agua subterránea para el trigo en el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Su contribución estaría condicionada por la profundidad del mismo. El objetivo de este trabajo fue evaluar las fluctuaciones en la profundidad del nivel freático durante el ciclo del trigo en un lote en el VBRC y relacionarlo con el aporte potencial de agua al cultivo. El estudio se llevó a cabo en un lote ($\cong 3$ ha) del INTA EEA Hilario Ascasubi. Entre mayo y diciembre de 2021 se realizaron mediciones periódicas del nivel freático en cuatro freatómetros equidistanciados (50 m) y distribuidos en línea atravesando el centro del lote. Se consideró la humedad del suelo promedio de cuatro ciclos (2017-2020) en junio y diciembre hasta 90 cm (estratos 0-20, 20-40, 40-60 y 60-90 cm). El nivel freático promedio se encontró a una profundidad de 1,65 m, (1,40-1,90 m), con diferencias de hasta 30 cm entre freatómetros. No solo se observaron fluctuaciones estacionales, sino que también temporales. El descenso se asoció a la veda del riego y el ascenso con el ciclo de riego. Se determinó la presencia de agua gravitacional a la siembra y cosecha del trigo en el estrato 60-90 cm, lo que supone el aporte de agua libre de la napa en un estrato de 1,1 m, equivalente a 325 mm de agua disponible. A partir del desarrollo radicular teórico de 1,4 m, se estimó un aporte de la napa de 220 mm de agua disponible. Según la información analizada la presencia de agua gravitacional supone una contribución del 50% a los requerimientos de uso consuntivo en el trigo, principalmente durante el periodo crítico de definición del rendimiento del cultivo.

Palabras clave: nivel freático, uso consuntivo, cereal de invierno.

INTRODUCCION

Considerando que el agua es uno de los principales factores limitantes de la producción de cultivos en ambientes semiáridos, la existencia de un nivel freático poco profundo puede ser una fuente subterránea de este recurso para los cultivos. Su beneficio estaría condicionado a la oscilación de la profundidad del mismo. En tal sentido, el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) posee un gran potencial productivo por la posibilidad de contar con este recurso hídrico, además del agua de riego. Si bien se conocen los niveles freáticos de manera informal, existen pocos trabajos que evalúen la dinámica en la profundidad del nivel del freático durante el desarrollo de los cultivos y su contribución.

Tanto en el ámbito internacional (Grismer & Gates, 1988; Mejia *et al.*, 2000; Kang *et al.*, 2001; Sepaskhah *et al.*, 2003; Kahlowan *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2005) como en el nacional (Racca *et al.*, 2001; Dardanelli & Collino, 2002; Saks, 2014) se realizaron investigaciones referidas al estudio de la relación suelo - cultivo en ambientes con capa freática somera. En ellos se destaca su importancia como recurso hídrico para los cultivos en



regiones áridas y semiáridas, cuyos aportes pueden cubrir hasta el 100% de sus requerimientos en períodos principalmente considerados críticos (dándole estabilidad a las productividades de los cultivos aún en campañas con pocos aportes por precipitaciones).

En numerosos trabajos con lisímetros para cuantificar el aporte de agua del nivel freático a los requerimientos hídricos de varios cultivos (Kang *et al.*, 2001; Kahlow *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2005), se afirma que el mismo a una profundidad de 1,2 – 2,0 m es óptima para obtener una alta producción de biomasa en maíz, girasol, trigo y sorgo. Kang *et al.* (2001) indican que con profundidades de capa freática que oscilan entre los 0,5 y 2,5 m la contribución fue de aproximadamente un 50% de la evapotranspiración del trigo. Kahlow *et al.* (2005) indican que la profundidad óptima de la capa freática para alcanzar un máximo rendimiento es de 1,5 m para trigo. Según Sepaskhah *et al.* (2003), las napas pueden contribuir significativamente al uso consuntivo con valores que pueden alcanzar el 70% del total de agua evapotranspirada.

Tanto los aportes durante la época de riego como las precipitaciones pueden estar asociados a una mayor recarga de los acuíferos, con elevaciones estacionales y ocasionales de los niveles freáticos. Esta elevación, si bien constituye un factor de riesgo de anegamiento y salinización de suelos, también representa una fuente adicional de agua para los cultivos, cuando las raíces son capaces de llegar hasta el frente capilar. Por lo tanto, especificar la dinámica de la napa bajo las condiciones predominantes de la zona para el uso de las tierras resulta importante para su aprovechamiento como fuente de agua y para evitar daños por anegamiento y salinización (Angeli *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las fluctuaciones en la profundidad del nivel freático durante el ciclo del trigo en un lote de producción del VBRC y relacionarlo con el aporte potencial de agua al cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre fines de mayo y fines de diciembre de 2021. Se trabajó en un lote ($\cong 3$ ha) del campo de producción de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Hilario Ascasubi ($39^{\circ}24'36,4''S$; $62^{\circ}38'30,1''O$), partido de Villarino, Buenos Aires. El área presenta clima templado de transición (condiciones subhúmedas). Según el sistema de Thornthwaite, la porción noreste del partido presenta clima seco subhúmedo, y los sectores sur y oeste clima semiárido (Sánchez *et al.*, 1998). El suelo del ensayo fue un Haplustol éntico, de textura arenosa franca. El contenido de materia orgánica (IRAM-SAGPyP 29571-2) del suelo fue de 1,25% y el índice IMO fue de 7,06. El fósforo Bray Kurtz I (IRAM-SAGyP 29570-1) fue de 15 ppm y el Nitrógeno Kjeldahl (IRAM-SAGPyP 29572) de 0,8 g kg⁻¹. El pH (método potenciométrico, relación 1:2,5) fue de 7,4 y la CE (conductimétrico, extracto de pasta saturada) de 0,64 dS m⁻¹.

El historial de uso del lote fue de cultivos de invierno en labranza cero desde el 2017 hasta 2020. A partir de enero de 2021, luego de la cosecha de trigo, se mantuvo el rastrojo en superficie libre de malezas (barbecho químico) durante todo el periodo de estudio. Se mantuvo en secano, es decir, sin riego complementario desde el 2017 hasta el final del estudio. Se ubicó en adyacencias de lotes agrícolas, un sector de monte de "chañar" y el canal ramal sur del canal principal de riego Buratovich (Figura 1). Los lotes agrícolas no presentaron riegos complementarios por gravedad durante el periodo de estudio. La veda del riego, en el que se reduce el caudal a un mínimo de 15 m³ s⁻¹, tuvo extensión desde el 8 de abril al 25 de septiembre durante el 2021 (COIRCO, 2022).

En enero de 2021 se colocaron 4 freatómetros (F1, F2, F3 y F4), equidistanciados por 50 m lineales, ubicados en dirección NE a SO en paralelo al canal principal de riego Buratovich (ramal sur, Figura 1). Los mismos se colocaron sobre un ensayo con un diseño en bloques divididos. El F1 se ubicó al inicio del Bloque 1 (B1), el F2 entre B1 y Bloque 2 (B2), el F3 entre el B2 y Bloque 3 (B3) y el F4 al final del B3. Fueron colocados, previa perforación con barreno helicoidal, hasta una profundidad máxima de 2 m. Se utilizaron caños de 2,35 m de largo y 2 pulgadas de diámetro, con tapa fija en la parte inferior y móvil en la superior para realizar las mediciones del nivel freático. En la porción media inferior se le realizó ranuras para permitir el movimiento del agua entre el suelo y el interior del caño. Para la primer medición, se respetó el tiempo de estabilización (48 h) luego de colocado el freatómetro (INTA, 2014). Se determinó las diferencias de nivel o elevación entre los diferentes puntos del terreno donde se instalaron los freatómetros, las cuales representan las distancias



verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia obtenido con el nivel de antejo. Desde el freatrómetro 1 al 4 se observó un desnivel de 10 cm, es decir, una pendiente del 1%, acorde a la nivelación del lote para el riego por gravedad.

Las mediciones del nivel freático se realizaron de forma periódica entre 15 y 30 días, mediante la utilización de una sonda de profundidad (SPOHR Frankfurt – Tipo 2733). A partir de principios de agosto de 2021 no se detectó la napa por lo que se discontinuó el seguimiento hasta fin de noviembre, momento en el cual se da inicio al ciclo hidrológico 2021 – 2022.

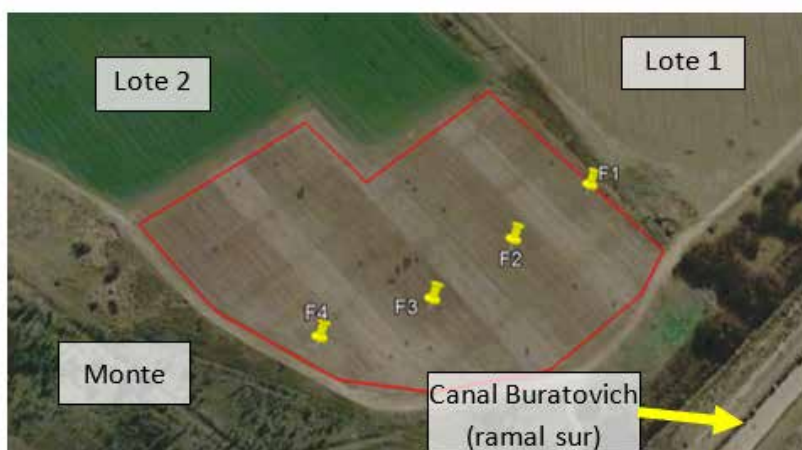


Figura 1. Ubicación del lote en estudio y distribución de los freatrómetros.

Además, se tuvieron en cuenta las mediciones de humedad de suelo hasta la profundidad de 90 cm (estratos 0-20, 20-40, 40-60 y 60-90cm) por el método gravimétrico a la siembra (junio) y cosecha (diciembre) de los cultivos de invierno entre los años 2017 y 2020. Se determinó la eficiencia de uso del agua (EUA) al relacionar el rendimiento con el uso consuntivo del trigo. También las determinaciones de contenido de agua a saturación (Sat), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Las precipitaciones se registraron en la Estación Meteorológica de la EEA INTA Hilario Ascasubi, ubicada a 2400 m del lote (Gustavo Zura, Dpto. Agrometeorología).

RESULTADOS Y DISCUSION

La profundidad del nivel freático es la variable principal que define la influencia de la napa sobre distintos cultivos (Nosetto *et al.*, 2011). Durante el ciclo del cultivo de trigo se observó que en promedio el nivel freático fue de 1,65 m, oscilando entre 1,40 y 1,90 m, respecto de la superficie del suelo (Figura 2). Valores similares fueron obtenidos en la zona con promedios de 1,40; 1,50 y 1,64 m, entre 0,8 y 2,0 m (Sánchez & Pezzola, 1997, 1998b; Sánchez, 2013).

Se observaron diferencias en la profundidad de la napa entre freatrómetros, a pesar de la escasa distancia entre ellos. Hasta fines de julio, dentro del período de veda del riego, el nivel fue similar entre los F1 y F2 y entre el F3 y F4 (Figura 2). La napa se encontró más profunda en los dos primeros, lindantes con lotes agrícolas, que en los próximos al monte. Esta característica podría estar indicando un movimiento de la napa hacia el sector de monte, que actuaría como “bomba de agua”. Asimismo, en todos los freatrómetros el nivel de la napa se comportó de manera descendente desde la siembra del trigo hasta fines de julio, momento en el cual no se encontró la napa en la profundidad analizada (2,0 m).

A partir de fin de septiembre, junto con el inicio del ciclo hidrológico 2021-2022, se pudo detectar la presencia de la napa, con un comportamiento entre freatrómetros similar al primer tramo. En este caso, el nivel se pre-

sentó de manera ascendente hasta alcanzar promedios de 1,5 m (1,4 a 1,7 m) hacia fines de octubre. A partir de este momento se observó un leve descenso de hasta un promedio de 1,7 m (1,6 a 1,8 m) a la cosecha del trigo (Figura 2).

Las diferencias temporales en la presencia y profundidad del nivel freático son atribuibles a los cambios producidos en la dinámica hídrica subterránea propia del área de riego. En concordancia, en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Galeazzi & Aruani (2019) observaron que la elevación más significativa del nivel freático se produjo debido a la reposición del agua en el suelo por riegos y las prácticas de control de heladas tardías, y los niveles freáticos más profundos con la disminución de los riegos durante la cosecha de los frutales.

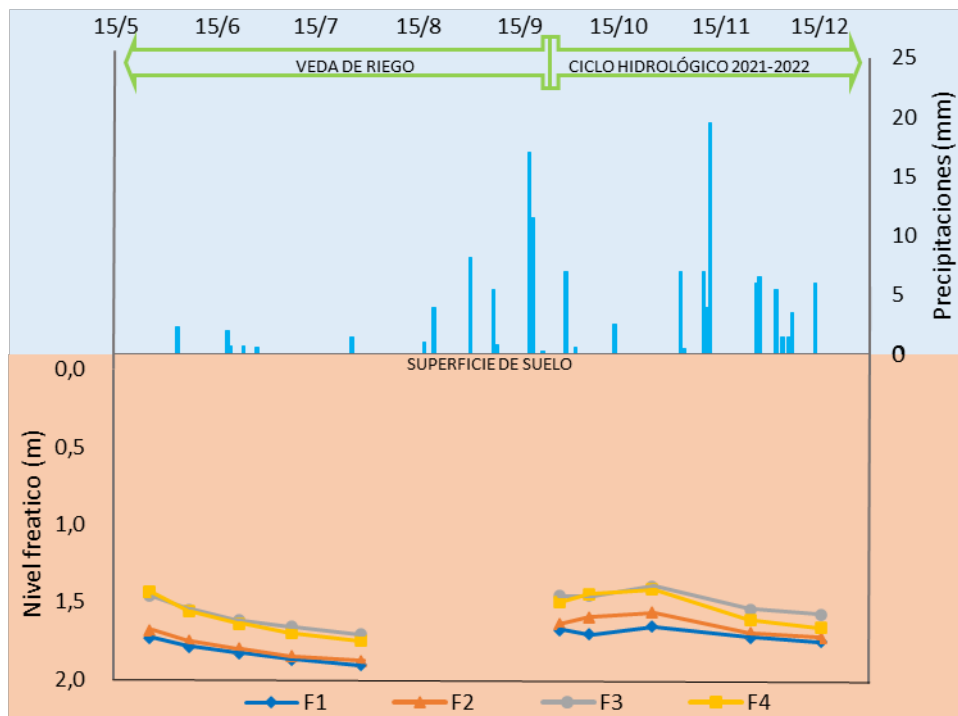


Figura 2. Nivel freático en 4 freaticmetros (F1 al F4) y precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de trigo. El nivel "0" refiere a la superficie del suelo.

No obstante, estos resultados fueron diferentes a los observados por Sánchez & Pezzola (1997), que no observaron diferencias estacionales durante 1997. En un estudio al año siguiente, los mismos autores detectaron mayor y menor profundidad de la napa en verano y otoño, respectivamente (Sánchez & Pezzola, 1998b). En este último trabajo, asociaron sus resultados a la evapotranspiración durante el período estival y a la escorrentía subterránea aportada por la lluvia, y al agua de riego de lenta recarga durante el otoño. En este trabajo, se observó que las precipitaciones no lograron modificar la dinámica del nivel freático. El acumulado durante el ciclo del trigo fue de 135 mm en 2021, el mayor registro mensual ocurrió en noviembre con 50 mm y los eventos de precipitación no superaron 30 mm día⁻¹.

En los perfiles de suelo se distinguen tres zonas hídricas bien diferenciadas desde la superficie: una *no saturada*, que es la más extensa e importante desde el punto de vista del desarrollo radicular; una *semi-saturada*, ubicada sobre el plano freático y cuyo espesor depende de la capilaridad textural, siendo más estrecha a medida que la textura es más arenosa. Finalmente, una zona *saturada*, la napa freática (Sánchez, 2013). Teniendo en cuenta la limitación en la profundidad del muestreo de la humedad del suelo hasta 90 cm, en el promedio de los cuatro ciclos de cultivo de trigo (2017-2020), se observó la presencia de agua gravitacional en el estrato de suelo a 60-90cm a la siembra (junio) y cosecha (diciembre). Este agua gravitacional supone el aporte de agua de la napa freática mediante capilaridad. Al determinarse el nivel freático a 1,7 m, tanto a la siembra y cosecha del trigo, es posible inferir una extensión de la zona semi-saturada de aproximadamente 1,1 m (entre 0,6 y 1,7 m), estimándose en un agua disponible de 325 mm (Figura 3).



Teniendo cuenta que el trigo alcanza su punto máximo de desarrollo radicular en anthesis (0,6 a 1,4 m; Bingham & Wu, 2011; Habele & Svoboda, 2015), los niveles freáticos observados durante octubre y noviembre suponen el aporte de agua capilar (Quiroga & Paccapelo, 1990). Teniendo en cuenta el desarrollo radicular hasta 1,4 m, el agua disponible para el cultivo a partir del aporte de la napa se estima en 220 mm. Mueller *et al.* (2005) consideraron aportes de agua de la capa freática de 20-250 mm en trigo, con niveles freáticos entre 0,8 y 1,2 m, que se tradujeron en aumentos de producción asociado probablemente al aumento en la evapotranspiración.

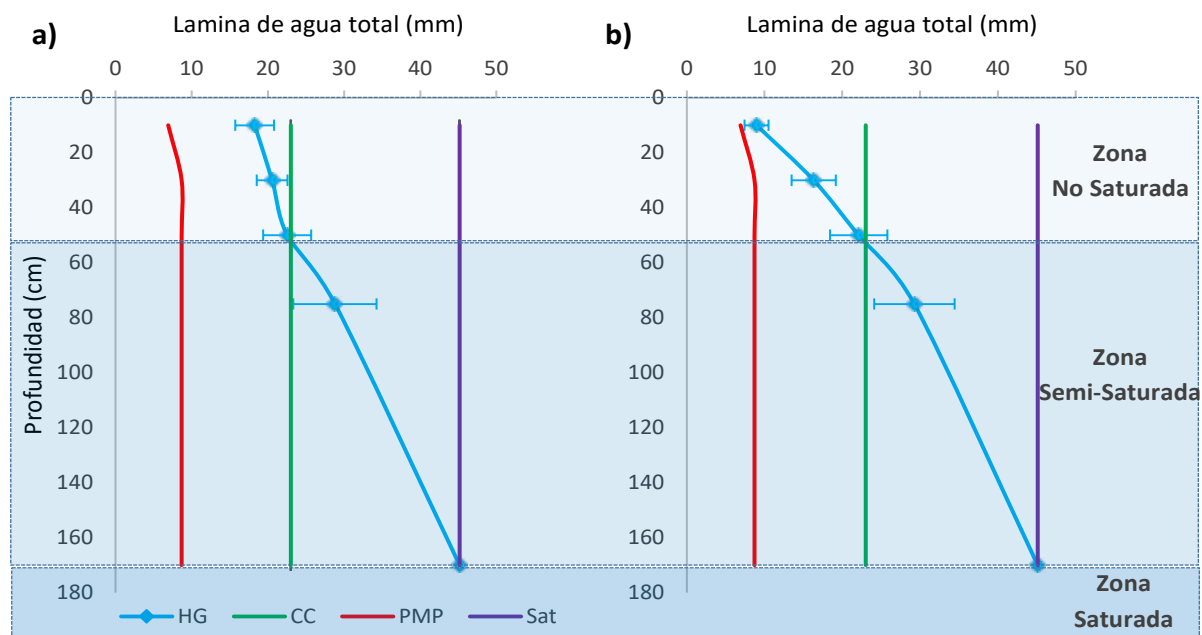


Figura 3. Lámina de agua total (mm) promedio entre 2017-2020, a la siembra (a) y cosecha (b) del cultivo de trigo en función de la profundidad del suelo. PMP: punto de marchitez permanente, CC: capacidad de campo, Sat: saturación.

El rendimiento promedio del trigo en los cuatro ciclos anteriores a la medición (2017-2020) fue de 4 Mg ha⁻¹. El UC se estimó en 245 mm, pero al incluir el aporte de la napa asciende a 465 mm, resultando en una EUA de 16,3 y 8,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente (datos inéditos). Este último se considera más acorde a lo observado en trabajos realizados en la región. En cultivos de secano, el rendimiento promedio en la zona es de 1,1 Mg ha⁻¹, con valores alcanzables de 2 Mg ha⁻¹ (Cantamutto *et al.*, 2016). Por lo tanto, se considera que el aporte aproximado del agua freática a un cultivo de trigo en el VBRC podría estar asociado al 50% de sus requerimientos hídricos.

CONCLUSIONES

Las variaciones temporales y espaciales de la profundidad del nivel freático durante el ciclo del cultivo de trigo a nivel de lote se relacionan a la influencia del ambiente de riego. El nivel promedio fue de 1,65 m, descendiendo en las primeras etapas del ciclo del cultivo y ascendiendo en el periodo crítico de definición del rendimiento del trigo. La presencia de agua gravitacional a partir del estrato de 60-90 cm supone una contribución a los requerimientos hídricos del trigo que, bajo las condiciones evaluadas, se estima en un aporte del 50% al uso consuntivo del cultivo de trigo.

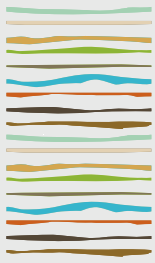
BIBLIOGRAFIA

Angeli AR, CG Cholaky, GA Cantero & JM Cisneros. 2006. Biodrenaje forestal: efectos sobre la salinidad del suelo y el nivel freático en el sur cordobés. In XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina.



- Bingham IJ & L Wu. 2011. Simulation of wheat growth using the 3D root architecture model SPACSYS: validation and sensitivity analysis. *European journal of agronomy*, 34(3), 181-189.
- Cantamutto M, C Bertucci & D Huarte. 2016. El trigo en el sudoeste bonaerense. Documento de discusión encomendado por el consejo del plan de desarrollo del sudoeste bonaerense. 76 p.
- COIRCO. 2022. Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. www.coirco.gov.ar.
- Dardanelli JL & D Collino. 2002. Estimation of the water table contribution to alfalfa crops in the Argentinean Pampa Region. *Agriscientia*, 19: 11-18.
- Galeazzi JO & AM Aruani. 2019. Manejo del riego en pera (*pyrus communis*) cv. Williams cultivada en suelo con capa freática poco profunda. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 151-162.
- Grismer ME & Gates TK. 1988. Estimating saline water table contribution to crop water use. *Calif. Agric.*, 42: 23-24.
- Haberle J & P Svoboda. 2015. Calculation of available water supply in crop root zone and the water balance of crops. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 45(4), 285-298.
- INTA. 2014. ¿Por qué es importante conocer el nivel de la napa freática? <https://inta.gov.ar/documentos/bfpor-que-es-importante-conocer-el-nivel-de-la-napa-freatica>.
- Jobbagy EG & MD Nosoetto. 2009. Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. *Actas XVII Congreso AAPRESID* : 151-156.
- Kahlow MA, M Ashraf & Zia-ul-Haq. 2005. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management*, 76(1): 24-35.
- Kang S, F Zhang, X Hu, P Jerie & L Zhang. 2001. Effects of shallow water table on capillary contribution, evapotranspiration, and crop coefficient of maize and winter wheat in a semi-arid region. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(3): 317-327.
- Mejia MN, CA Madramootoo & RS Broughton. 2000. "Influence of water table management on corn and soy-bean yields". *Agricultural Water Management*, 46(1): 73-89.
- Mueller L, A Behrendt, G Schalitz & U Schindler. 2005. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, 75(2): 117-136.
- Nosoetto MD, EG Jobbagy & JL Mercau. 2011. Ambientación y aplicación variable de insumos en áreas con influencia freática. *Revista Especial AAPRESID. Agricultura de Precisión y Manejo por Ambientes*. In: www.aapresid.org.ar.
- Nosoetto MD, EG Jobbagy, RB Jackson & GA Sznajder. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113: 138-148.
- Quiroga A & H Paccapelo. 1990. Evaluación de algunos aspectos de las relaciones hídricas en trigo, en la Región Semiárida Pampeana. *Rev. Fac. Agronomía-UNLPam*. 5: 109-115.
- Racca R, D Collino, JL Dardanelli, D Basigalup, N González, E Brenzoni, N Hein & M Balzarini. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la Región Pampeana. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Sánchez RM. 2013. Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado. INTA Hilario Ascasubi. Informe Técnico, 40.
- Sánchez RM & NA Pezzola. 1998b. Monitoreo del sistema de riego y drenaje del Valle Bonaerense del río Colorado. Convenio CORFO-INTA. 49pp.
- Sánchez RM, NA Pezzola, & JV Cepeda. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. Boletín de divulgación N° 18. ISSN 0328-3321.
- Sánchez RM & NA Pezzola. 1997. Monitoreo del sistema de riego y drenaje del Valle Bonaerense del río Colorado. Convenio CORFO-INTA. 46pp.
- Saks, M., 2014. Factores edáficos que inciden sobre la productividad de maíz en la Región Semiárida Pampeana. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca, Arg. 93p.
- Sepaskhah AR, A Kanooni & MM Ghasemi. 2003. "Estimating water table contributions to corn and sorghum water use". *Agricultural Water Management*, 58(1): 67-79.





CALIDAD DE LA NAPA DURANTE EL CULTIVO DE TRIGO EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO

L. Zubiaga^{1*}, Dunel, L.¹, J. Vanzolini¹, R. Storniolo¹, D. Ombrosi¹, C. Álvarez², M.A. Cantamutto¹ & J.A. Galantini³.

¹ EEA INTA-H. Ascasubi;

² AER INTA-Gral. Pico;

³ CIC (PBA), CERZOS (UNS-CONICET);

* Ruta Nacional 3, km 794, (8142) Hilario Ascasubi, Prov. de Buenos Aires, zubiaga.luciano@inta.gob.ar

RESUMEN

La existencia de un nivel freático poco profundo puede ser una fuente disponible de agua subterránea para el trigo en el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Su contribución estaría condicionada no solo por la profundidad, sino también por la calidad. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la calidad del agua de la napa freática en un lote de producción y su relación con los beneficios o limitaciones sobre la productividad del trigo en el VBRC. El estudio se realizó en un lote ($\cong 3$ ha) del INTA EEA Hilario Ascasubi. Entre mayo y diciembre de 2021 se extrajo agua en cuatro freáticos equidistanciados (50 m) y en línea atravesando el centro del lote. Se analizó sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca^{2+}), magnesio, sodio (Na^+), potasio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y relación de adsorción de sodio (RAS). El pH se ubicó dentro del rango normal. Se observó un grado de restricción ligero a moderado en F1 y F2-3 y severo en F4, pudiendo afectar los rendimientos de los cultivos susceptibles. Según la relación entre CE y RAS, el agua analizada no presentaría problemas en cuanto a la pérdida de estructura del suelo y reducción de la permeabilidad. La composición iónica demuestra que los cationes mayoritarios corresponden al Ca^{2+} y Na^+ , mientras que los SO_4^{2-} y Cl^- prevalecen dentro de los aniones. Según Piper, F1 se clasificó como de tipo cálcica-mixta, F2-3 mixta y F4 en cálcica sulfatada. Según Riverside, el agua tiene riesgo de salinización elevado en F2-3 a muy elevado en F4 y F1. Las diferencias estacionales observadas presentaron una tendencia de calidad de agua aceptable para los cultivos, exceptuando lo medido en el freático cercano al monte, en el que podría observarse una merma del 15% en el rendimiento del cultivo de trigo.

Palabras clave: agua subterránea, caracterización química, trigo.

INTRODUCCION

Considerando que el agua es uno de los principales factores limitantes de la producción en ambientes semiáridos, la existencia de una capa freática poco profunda puede ser una fuente subterránea de agua para los cultivos. Su beneficio y/o perjuicio no solamente estaría condicionado por la oscilación de la profundidad de la napa, sino también por las características químicas del agua. En este sentido, el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC) posee un gran potencial productivo por la posibilidad de contar con este recurso hídrico, además del agua de riego. En general se conocen de manera informal los niveles freáticos, existiendo pocos trabajos que evalúen su altura, pero son aún más limitadas aquellas investigaciones que evalúan la calidad del agua. La relevancia de la calidad radica en que define qué cultivos podrán utilizar el agua aportada por las napas, debido a que no todos se comportan de igual manera ante una misma salinidad (Justo, 2008).



Existen varias investigaciones que demuestran el aporte de agua de la napa freática para cultivos en regiones áridas y semiáridas, con volúmenes que alcanzan a cubrir hasta el 100% de los requerimientos hídricos de los cultivos dependiendo de la profundidad del nivel freático (Mejía *et al.*, 2000; Sepaskhah *et al.*, 2003; Kahlowan *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2005; Dardanelli & Collino, 2002). Ellos han observado aumentos en el rendimiento de los cultivos asociados al nivel freático, pero no hacen referencia al impacto de la calidad del agua freática sobre los mismos.

La evaluación de la calidad del agua es una herramienta fundamental para la determinación de su potencial de utilización, así como el establecimiento de eventuales restricciones en el uso, no solo por el impacto en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos sino también en las propiedades de los suelos (Díaz & Tiberi, 2017). Los parámetros que permiten describirla para el uso agrícola son diversos, entre los más importantes se encuentran aquellos que permiten establecer el tipo y concentración de sales presentes, así como la concentración relativa de algunos iones (García, 2012). La calidad del agua queda definida entonces por su composición y los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo así establecer posibilidades de uso.

Por lo tanto, además de la localización, la caracterización de la napa en relación con su calidad es muy importante tanto para el riesgo de salinización y alcalinización por ascenso capilar, como así también para la determinación del aporte y limitación en la productividad de los cultivos o definición de los cultivos en función de sus tolerancias. Teniendo en cuenta la relevancia del cultivo de trigo en el VBRC (20% de la superficie sembrada con cereales; Lucanera, 2019) y su clasificación como cultivo medianamente tolerante a la salinidad (García, 2012), resulta importante la caracterización del agua de la napa para estimar el comportamiento del cultivo y ajuste del riego complementario.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la calidad de la napa freática en un lote de producción y su relación con los beneficios o limitantes sobre la productividad del trigo en el VBRC.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre fines de mayo y fines de diciembre de 2021. Se trabajó en un lote ($\cong 3$ ha) del campo de producción de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Hilario Ascasubi ($39^{\circ}24'36,4''S$; $62^{\circ}38'30,1''O$), partido de Villarino, Buenos Aires. El área presenta clima templado de transición (condiciones subhúmedas). Según el sistema de Thornthwaite, la porción noreste del partido presenta clima seco subhúmedo, y los sectores sur y oeste clima semiárido (Sánchez *et al.*, 1998). El suelo del ensayo fue un Haplustol éntico, de textura arenosa franca. El contenido de materia orgánica (IRAM-SAGPyP 29571-2) del suelo fue de 1,25% y el índice IMO fue de 7,06. El fósforo Bray Kurtz I (IRAM-SAGyP 29570-1) fue de 15 ppm y el Nitrógeno Kjeldahl (IRAM-SAGPyP 29572) de 0,8 g kg⁻¹. El pH (potenciometría, suspensión 1:2,5) fue de 7,4 y la CE (conductimétrica, extracto de saturación) de 0,64 dS m⁻¹.

El historial de uso del lote fue de cultivos de invierno en labranza cero desde el 2017 hasta 2020. A partir de enero de 2021, luego de la cosecha de trigo, se mantuvo el rastrojo en superficie libre de malezas (barbecho químico) durante todo el período de estudio. Se mantuvo en secano, es decir, sin riego complementario desde el 2017 hasta el final del estudio. Se ubicó en adyacencias de lotes agrícolas, un sector de monte de "chañar" y el canal ramal sur del canal principal de riego Buratovich (Figura 1). Los lotes agrícolas no presentaron riegos complementarios por gravedad durante el período de estudio. La veda del riego, en el que se reduce el caudal a un mínimo de 15 m³ s⁻¹, tuvo extensión desde el 8 de abril al 25 de septiembre durante el 2021 (COIRCO, 2022).

En enero de 2021 se colocaron 4 freatímetros (F1, F2, F3 y F4), equidistanciados por 50 m lineales, ubicados en dirección NE a SO en paralelo al canal principal de riego Buratovich (ramal sur, Figura 1). Se colocaron sobre un ensayo con un diseño en bloques divididos. El F1 se ubicó al inicio del Bloque 1 (B1), el F2 entre B1 y Bloque 2 (B2), el F3 entre el B2 y Bloque 3 (B3) y el F4 al final del B3. Fueron instalados, previa perforación con barreno helicoidal, hasta una profundidad máxima de 2m. Se utilizaron caños de 2,35 m de largo y 2 pulgadas de diámetro, con tapa fija en la parte inferior y móvil en la superior para realizar las extracciones de



agua. En la porción media inferior se le realizó ranuras para permitir el movimiento del agua entre el suelo y el interior del caño. Para la primera medición, se respetó el tiempo de estabilización (48 h) luego de colocado el freaímetro (INTA, 2014). Se consideró similares las cotas de los freaímetros ya que el lote se encontraba nivelado para el riego por gravedad.

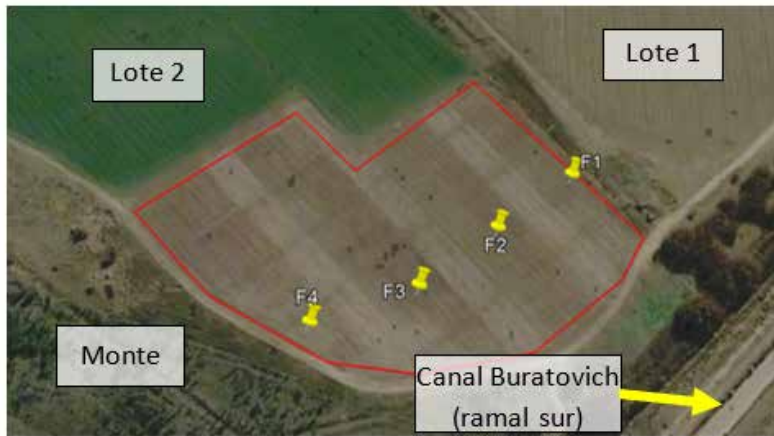


Figura 1. Ubicación del lote en estudio y distribución de los freaímetros.

Las extracciones de agua se realizaron de forma periódica entre 15 y 30 días, entre mayo y diciembre de 2021, mediante la utilización de una jeringa conectada a una manguera que permitió acceder al agua en profundidad. A partir de principios de agosto de 2021 no se detectó la napa por lo que se discontinuó el seguimiento hasta fin de noviembre, momento en el cual se da inicio al ciclo hidrológico 2021 - 2022. En cada fecha se tomó una muestra de hasta 500 cm³, en botellas destinadas a tal fin. Las muestras se colocaron en conservadora hasta su ingreso al Laboratorio de Suelos y Agua (LSA) de la EEA INTA Hilario Ascasubi, a fin de caracterizarla químicamente. Se caracterizó además el agua para el riego de los lotes contiguos, perteneciente al río Colorado (RC). Los análisis se desarrollaron bajo los protocolos consensuados por la Red de Laboratorios de Suelo, Agua y Material Vegetal del INTA (RILSAV), basados en los propuestos por el Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 th Edition. Washington D.F.O.MS. Los parámetros analizados incluyeron: sólidos disueltos totales (SDT), pH, conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺), sodio (Na⁺), potasio (K⁺), carbonatos (CO₃⁼), bicarbonatos (HCO₃⁻), cloruros (Cl⁻), sulfatos (SO₄⁼) y relación de adsorción de sodio (RAS).

Se utilizó el Software Qualigraf 2017 con el objetivo de evaluar los iones dominantes y establecer el análisis de calidad. Se determinó si la misma excede los niveles establecidos para el cultivo de trigo. A causa de la limitada información que permita determinar fehacientemente el efecto de la calidad de agua de napas sobre los cultivos, y de niveles guía específicos para determinar su calidad; los valores obtenidos se analizaron siguiendo las directrices para interpretar la calidad del agua para riego (Adaptación de Ayers & Westcott, 1985; Manual 29, FAO).

RESULTADOS Y DISCUSION

El resultado de los análisis químicos del agua de cada una de las napas freáticas, permitió agrupar el F2 y F3 en función de la similitud de la calidad, mientras que el F1 y F4 se analizaron individualmente. Además, en cada caso se realizó el promedio de todo el ciclo del cultivo de trigo al no observarse grandes diferencias durante este período (Tabla 1).

En todos los casos se observó una tendencia (F4>F1>F2-3≥RC) casi constante en cuanto a la composición de los iones mayoritarios (Figura 2). La tendencia general es Ca²⁺ > Na⁺ + K⁺ > Mg²⁺ y SO₄²⁻ > Cl⁻ > CO₃²⁻ + HCO₃⁻. Los cationes predominantes fueron calcio y sodio, mientras que, entre los aniones fueron los sulfatos y cloruros. En contraposición, el potasio, magnesio y bicarbonato se presentaron en menor proporción (Figura 2).



Tabla 1. Calidad de agua de napa para los freáticos 1 (F1), 2 y 3 (F2-3); 4 (F4) y la calidad de agua de riego (RC) como promedio durante el ciclo del cultivo de trigo.

Freatímetro	CE	pH	SDT	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	RAS	Dureza	
													dS m ⁻¹
F1	Prom	2,50	7,8	1955	15,2	4,3	10,5	0,8	6,0	9,6	12,9	3,4	977
	SD	0,13	0,4	222	1,7	1,8	1,0	0,1	0,8	1,3	2,4	0,2	113
F2-3	Prom	1,77	8,0	1393	9,8	1,8	7,3	0,5	4,8	7,1	7,0	3,0	581
	SD	0,12	0,3	204	0,9	0,9	0,9	0,2	0,9	0,6	2,0	0,5	65
F4	Prom	5,27	7,7	4666	35,3	7,2	21,3	0,3	6,0	24,4	34,5	4,6	2128
	SD	0,33	0,4	151	2,0	3,2	4,8	0,0	1,1	4,7	8,8	1,1	155
RC	Prom	1,62	8,2	1062	7,5	2,0	7,3	0,1	2,0	6,1	7,1	3,4	471
	SD	0,22	0,1	53	0,7	1,0	1,3	0,0	0,3	0,8	0,3	0,7	33

SD: desvío estándar.

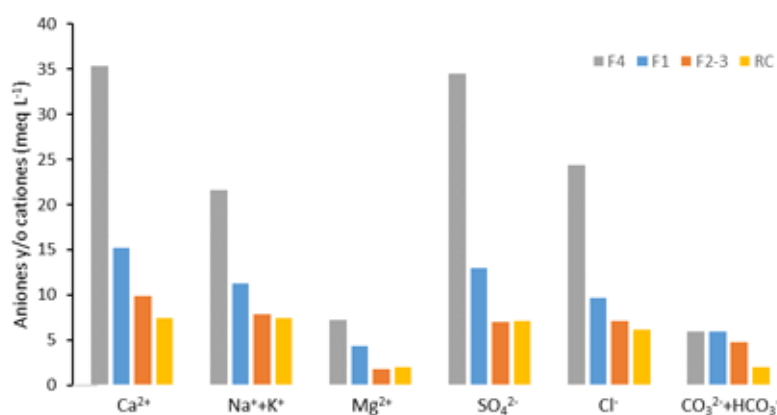


Figura 2: Distribución de los iones mayoritarios en el agua de los freáticos y de riego.

A partir de los iones mayoritarios se evaluaron diferentes modelos de interpretación que permitieron identificar la distribución de iones en la composición del agua. Según el diagrama de Piper, el patrón presentado en los cationes predominantes corresponde a agua cálcica-mixta (F1), mixta (F2-3 y RC) y cálcica sulfatada (F4, Figura 3).

De acuerdo al nomograma de Riverside (Richards, 1954), que permite interpretar la peligrosidad del agua a partir de los valores de RAS y CE, F1 se clasificó como Clase C4 S1, F4 Clase C5 S2, mientras que F2-3 compartió la misma clasificación que el agua de riego, es decir C3 S1 (Figura 2). Por lo tanto, es bajo el riesgo que se eleve el nivel del sodio de intercambio en F1 y F2-3, y medio en F4, mientras que el riesgo de salinización es muy elevado en F4 y F1, y elevado en F2-3, debiendo seleccionarse cultivos con tolerancia a la misma.

Los valores de pH de la napa freática fluctuaron entre 7,7 y 8,0, debajo del agua de riego y ubicándose dentro del rango considerado normal (6,5-8,4). De acuerdo a la CE y el RAS, se puede inferir que el agua no presenta ningún efecto sobre las propiedades hídricas del suelo que cause una disminución en la velocidad en la infiltración ya que en todos los casos se presentan niveles de RAS entre 3,0 y 6,0, y CE >1,2 dS m⁻¹. Por otro lado, en cuanto a la toxicidad de iones específicos como el Na⁺ se observó que el agua puede afectar a cultivos sensibles, con un grado de restricción ligero o moderado en F2-3 (3 a 9 meq L⁻¹); y severo en F1 y F4 (>9 meq L⁻¹). Considerando los cloruros (Cl⁻), F1, F2-3 presentan un riego de toxicidad ligero a moderado (4 a 10 meq L⁻¹), mientras que en F4 el riesgo pasa a ser severo (>10 meq L⁻¹).



A partir de los parámetros CE y SDT, que definen la salinidad y por lo tanto la disponibilidad de agua para el cultivo, durante el período de estudio, la CE en F1 osciló entre 2,30 y 2,72 dS m⁻¹, en F2-3 entre 1,55 y 1,99 dS m⁻¹, mientras que F4 tuvo una variación de 4,61 y 5,81 dS m⁻¹. Se observó un grado de restricción ligero a moderado en F1 y F2-3 (0,7 a 3 dS m⁻¹ y 450 a 2000 mg L⁻¹) y severo para F4 (>3,0 dS m⁻¹ y >2000 mg L⁻¹). Asimismo, según la CONAMA 357-2005 el agua analizada se clasifica como de tipo salada (>1500 mg L⁻¹) para los casos F1 y F4, mientras que F2-3 y el agua de riego de tipo salobre (501-1500 mg L⁻¹).

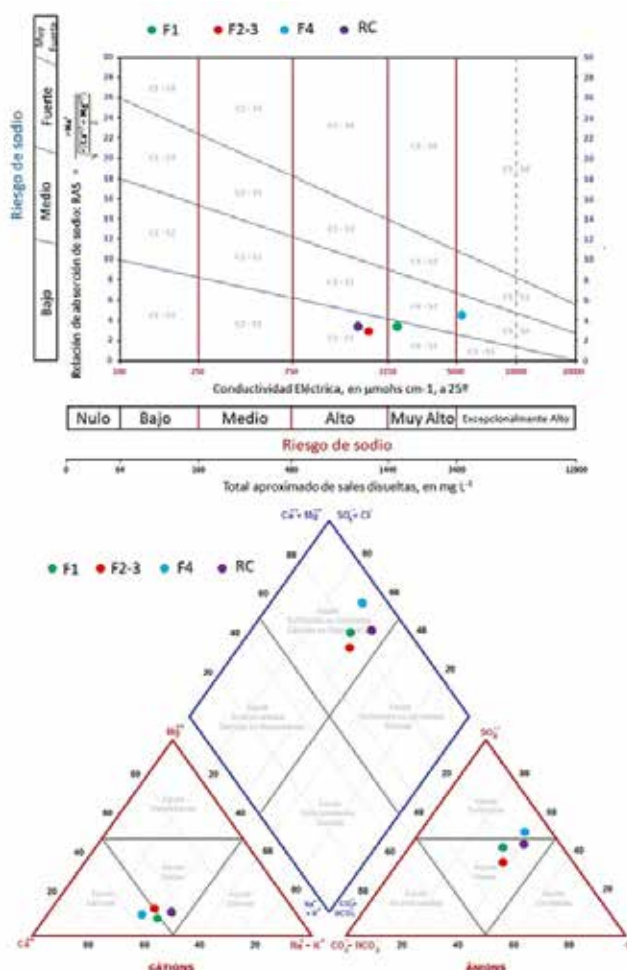


Figura 3: Peligrosidad por salinidad y/o sodicidad de acuerdo al Nomograma de Riverside (arriba; Richards, 1954) y diagrama de Piper (abajo) para la caracterización de los freáticos (F1, F2-3 y F4) y el agua de riego (RC).

Los cationes mayoritarios fueron calcio y sodio, mientras que los sulfatos y cloruros prevalecen dentro de los aniones. A partir del diagrama de Piper (Figura 3), se clasificó el agua en F1 como de tipo cálcica-mixta, mixta en F2-3, y cálcica sulfatada en F4. En lo que respecta a la salinidad se observó un grado de restricción ligero a moderado en F1 y F2-3 y severo en F4, pudiendo afectar los rendimientos de los cultivos susceptibles. Según la clasificación de Riverside, el agua es altamente salina en todos los casos, principalmente en F4 y luego en F1, debiendo seleccionarse cultivos tolerantes a las sales. En cuanto al peligro de sodicidad, es bajo para F1, F2-3, y medio en F4. En todas las clasificaciones la calidad del agua F2-3 fue similar al agua del Río Colorado. Sanchez & Pezzola (1997) observaron valores entre 3 y 20 dS m⁻¹, sin diferencias estacionales al igual que el RAS en la zona norte del VBRC. Los mismos autores determinaron al año siguiente valores promedio de 10,5 dS m⁻¹, con diferencias estacionales. El contenido de sales presente en el agua de la napa podría incidir sobre el rendimiento del trigo según la clasificación de esta especie como medianamente tolerante, cuyo **límite crítico teórico** es 4 dS m⁻¹ (Maas & Hoffman, 1977; García, 2012). Por lo tanto, la CE del F1 y F2-3 no limitaría el rendimiento del trigo, pero sí la F4 con una merma estimada del 15%.



CONCLUSIONES

Las diferencias estacionales observadas presentaron una tendencia de calidad de agua aceptable para los cultivos, exceptuando lo medido en el frentómetro cercano al monte, en el que podría observarse una merma del 15% en el rendimiento del cultivo de trigo.

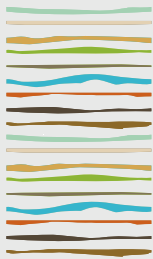
Será necesario incrementar los estudios de este tipo en la región, para caracterizar más detalladamente la variabilidad de la calidad del agua de la napa freática que resulta en aportes al rendimiento de los cultivos en el VBRC.

Será necesario incrementar los estudios de este tipo en la región, para caracterizar más detalladamente la variabilidad de la calidad del agua de la napa freática que resulta en aportes al rendimiento de los cultivos en el VBRC.

BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA, WEF. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Ayers RS & DW Westcot, 1985. Water quality for agriculture. FAO irrigation and Drainage paper 29, FAO, Roma, 156p.
- Ayers RS & DW Westcot. 1985. Water quality for agriculture (No. 29). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- COIRCO. 2022. Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. www.coirco.gov.ar.
- CONAMA. 2005. Resolução nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Dardanelli JL & D Collino. 2002. Estimation of the water table contribution to alfalfa crops in the Argentinean Pampa Region. *Agriscientia*, 19: 11-18.
- Díaz BG & PE Tiberi. 2017. Calidad de aguas superficiales para el riego en la región hidrográfica del Río Gallegos (Santa Cruz, Argentina). XXVI Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina.
- García A. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH*, 7, 27-36.
- INTA. 2014. ¿Por qué es importante conocer el nivel de la napa freática? <https://inta.gov.ar/documentos/bfpor-que-es-importante-conocer-el-nivel-de-la-napa-freatica>.
- Kahlow MA, M Ashraf & Zia-ul-Haq. 2005. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management*, 76(1): 24-35.
- Justo C. 2008. Las dos caras de las napas. Memoria técnica. EEA INTA General Villegas. 2008-2009.
- Lucanera G. 2019. Banco de Datos Socioeconómicos de la Zona de CORFO - Río Colorado. Estimación del Producto Bruto Agropecuario Regional. 2018/2019. UNS.
- Maas EV & CJ Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. *Journal of irrigation and Drainage Division*. ASCE, Vol. 103, No. 1R 2. Proc. Paper 12993, 115-134.
- Mejia MN, CA Madramootoo & RS Broughton. 2000. "Influence of water table management on corn and soy-bean yields". *Agricultural Water Management*, 46(1): 73-89.
- Mueller L, A Behrendt, G Schalitz & U Schindler. 2005. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, 75(2): 117-136.
- Richards LA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook* 60, 160 pp.
- Sánchez RM, NA Pezzola, & JV Cepeda. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. *Boletín de divulgación* N° 18. ISSN 0328-3321.
- Sánchez RM & NA Pezzola. 1997. Monitoreo del sistema de riego y drenaje del Valle Bonaerense del río Colorado. *Convenio CORFO-INTA*. 46pp.
- Sepaskhah AR, A Kanooni & MM Ghasemi. 2003. "Estimating water table contributions to corn and sorghum water use". *Agricultural Water Management*, 58(1): 67-79.





LECHUGA REGADA CON AGUA DE DIFERENTE CALIDAD. EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO

Huespe, D.S.^{1*}, J.A. Galantini², C. Alvarez¹

¹EEA INTA "Guillermo Covas" Anguil, La Pampa, Ruta Nacional 5, km 580 (6326),

²Comisión de investigaciones científicas (CIC), CERZOS, Dpto. Agronomía (UNS), Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.
huespe.daiana@inta.gob.ar

RESUMEN

En la provincia de La Pampa, la demanda de productos hortícolas ha provocado que la producción de hortalizas tenga un amplio crecimiento, tanto bajo cubierta como al aire libre. El agua es bicarbonatada sódica, con pH de 8-8,5 y conductividades eléctricas de 1 a 1,5 dS m⁻¹, superando en algunas zonas estos valores. El objetivo de este estudio, fue evaluar el crecimiento de lechuga en dos suelos texturalmente distintos regados con agua de diferente calidad y evaluar el efecto de la estación del año, en la región central de La Pampa. Se hizo un ensayo con un diseño completamente aleatorizado, y se evaluaron dos suelos, uno arenoso (A) y otro franco arenoso (FA). Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹, durante dos estaciones del año, primavera e invierno. El agua de riego fue de 1,0, 1,5 y 2,0 dS m⁻¹. En ambos suelos, se vio un efecto adverso por el uso de agua salina con disminución en los valores de materia seca total (MST), materia seca aérea (MSA) y biomasa de raíces con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al riego con agua de buena e intermedia calidad. En el suelo A, se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año en la MSA, Parte aérea/Raíz y la eficiencia de uso del agua (EUA) en donde hubo diferencias significativas entre estaciones, y se obtuvieron mayores valores en invierno respecto a la primavera. En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas en la MST, la MSA, la EUA y la tasa de crecimiento, con valores superiores en invierno respecto a la primavera. Los ciclos desarrollados en invierno fueron de menor duración y mayor rendimiento respecto a los ciclos desarrollados en primavera.

Palabras clave: estación del año, lechuga, calidad agua.

INTRODUCCION

Los invernaderos nacionales se han desarrollado aprovechando estructuras locales existentes o copiando modelos de otras zonas de producción, pero en ningún caso sobre bases científicas para lograr el mejor aprovechamiento climático de cada región en particular (Lenschak *et al.*, 2019). En la Provincia de La Pampa, la producción hortícola representó históricamente una actividad de escasa importancia, pero en los últimos años se ha incrementado el cultivo en forma sostenida, tanto bajo cubierta como al aire libre (Siliquini *et al.*, 2001 y Muguiro *et al.*, 2014). El agua utilizada para riego en los emprendimientos productivos es mayormente de origen subterráneo (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011), en general, la calidad no es buena, son aguas salinas, bicarbonatadas-sódicas, con pH que rondan valores de 8-8,5 y conductividades eléctricas que van desde 1 a 1,5 dS m⁻¹ (Lang *et al.*, 2013 y Lang *et al.*, 2016). La lechuga (*Lactuca sativa* L.), es una de las hortalizas de hoja más cultivadas y es muy sensible al déficit hídrico debido a que su sistema radical es poco profundo, efecto que se hace evidente sobre la producción de materia verde, exigiendo niveles hídricos en el suelo cercanos a capacidad de campo (Adrover *et al.*, 2001). Esta restricción implica que el productor riegue con alta frecuencia lo que resulta, en aplicaciones superiores a las necesarias. Además, los productores, no



utilizan ninguna técnica para mejorar la calidad del agua (Ministerio de Producción de La Pampa, 2011). El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de lechuga en suelos texturalmente distintos regados con agua de diferente calidad y evaluar el efecto de la estación del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la huerta demostrativa de la Agencia de extensión rural INTA General Acha, La Pampa, Argentina (37°36'44,381" 64°56'64,995"), Km 28 RN 152, bajo condiciones protegidas dentro de un túnel alto, en macetas de 1 litro. Se evaluó el cultivo de lechuga variedad Sicilia. La iniciación del cultivo se realizó a través de plantines provistos del Centro Regional de Educación Tecnológica (CERET), General Pico. Se evaluaron 4 ciclos consecutivos durante dos años, y dos muestras de suelos del horizonte A extraídas de los establecimientos "Colonia Lía", situado a 20 km hacia el Oeste de la localidad de General Acha y de la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA, que presentan una textura arenosa (A) (88,8% arena, 8,0% limo y 3,2% arcilla) y una textura franco arenoso (FA) (11,8% arena, 31,8% limo y 56,3% arcilla) respectivamente. Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹. Se usó agua proveniente de la localidad de Chacharramendi clasificada como clorada cálcica (S1C4) según el diagrama de Piper y se diluyó en 1,0; 1,5 y 2,0 dS m⁻¹. Durante el año 2020, se realizaron dos ciclos consecutivos del cultivo, el primero se desarrolló durante la estación de invierno, seguido por el ciclo 2, en la primavera. Durante el año 2021, se realizó el ciclo 3, en invierno y el ciclo 4 en primavera. En invierno, se cubrieron los plantines con malla anti helada, mientras que, en primavera, se colocó media sombra negra al 35% por encima de la cobertura plástica, para disminuir las altas temperaturas alcanzadas en el interior del túnel y disminuir los efectos de estrés por calor a los plantines, además, se ventiló de manera permanente a través de las puertas del frente y fondo, con el fin de asegurar la ventilación en el interior del túnel.

Diseño experimental

El diseño estadístico fue completamente aleatorizado, con 5 repeticiones. Los datos se presentan como medias en cada uno de los suelos, A y FA. Las diferencias en los resultados obtenidos afectados por las diferentes calidades de agua, así como la interacción entre ellos, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y la comparación de medias de tratamientos fue analizada por el test de Fisher utilizando un nivel de significancia del $\alpha \leq 5\%$. El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2013).

Mediciones meteorológicas

Las variables meteorológicas que se midieron fueron la temperatura media mensual (T°M), la temperatura media máxima (T°MMáx), la temperatura máxima (T°Máx), la temperatura media mínima (T°MMín) y la temperatura mínima (T°Mín), a través de un termómetro colocado en el interior del túnel alto. Además, se utilizó los datos de evapotranspiración de referencia (ET_o), a partir de la estación meteorología situada en la Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil de INTA, ubicada a 100 km del sitio bajo estudio. Allen et al., (2006) presentan valores de K_c inicial y medio para condiciones al aire libre de 0,70 y 1,00 respectivamente y Gallardo et al., (1996), determinaron valores para el cultivo a campo que variaron entre 0,70 y 0,89. En este estudio, se utilizó el coeficiente K_c de 0,72 empleado por Muguero (2014), en la zona de General Pico, La Pampa.

Cultivo de lechuga

Se evaluó el efecto de la época del año en cada ciclo de lechuga sobre las variables, materia seca aérea (MSA), la cual representa la parte aérea de la planta (hoja y tallo) expresada en g maceta⁻¹, la biomasa de raíces (Raíz), la materia seca total (MST), la cual es la suma de la MSA y la Raíz, el % de canopeo, el cual consistió en la medición del porcentaje de cobertura foliar mediante la aplicación "CANOPEO", y la Relación Parte aérea/Raíz en cada ciclo del cultivo. Se consideró la producción de lechuga sin buscar el tamaño comercial, ya que se cosechó en un momento de activo crecimiento, pero logrando observar el efecto del agua de riego. Se hizo el análisis estadístico para cada ciclo expresado en g, se realizó la corrección de los valores de g a mg mm⁻¹, y se analizó cada ciclo según su índice, debido a una fuerte interacción entre ciclos. Se determinó la eficiencia del uso del agua de la MST (EUA_{MST} mg mm⁻¹) y la tasa de crecimiento de la MST (TC, mg día⁻¹).



RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la estación del año

En ambos años de estudio, las estaciones fueron bien marcadas, registrándose dentro del invernadero en los meses primaverales temperaturas medias de 22,8°C, en tanto que en los meses invernales las temperaturas medias fueron de 19,8°C (Tabla 1).

Tabla 1: Características climáticas registradas durante los ciclos ensayados en los años 2020 y 2021.

Ciclo	Año	Ciclo días	T° M	T°MMáx	°C		
					T°Máx	T°MMín	T°Mín
1	2020	55	22,7	46,0	38,2	0,0	7,3
2	2020	31	22,7	50,0	38,1	0,0	7,3
3	2021	41	17,0	49,0	32,8	-5,0	1,9
4	2021	25	23,0	48,0	37,0	3,0	9,3

T°M, temperatura media. T°MMáx, temperatura media máxima, T°Máx, temperatura máxima, T°MMín, temperatura media mínima, T°Mín, temperatura mínima.

Tanto en el suelo A, cómo en el suelo FA, se vio un efecto adverso por el uso de agua salina (2,0 dS m⁻¹), con una disminución en los valores de MST, MSA y Raíz, con diferencias significativas (p<0,05) respecto al riego con agua de buena (1,0 dS m⁻¹) e intermedia (1,5 dS m⁻¹) calidad. En el suelo A, no se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año, por lo cual, el comportamiento fue similar en invierno y en primavera, excepto en las variables MSA, Parte aérea/Raíz y EUA, en las cuales hubo diferencias significativas entre estaciones, con valores superiores en el invierno respecto a la primavera (Tabla 2). En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas al comparar las estaciones del año en las variables MST, MSA, EUA y TC, con valores superiores en los meses de invierno respecto a los meses de primavera (Tabla 3). Tales resultados ponen en evidencia menores rendimientos obtenidos en la estación primavera respecto al invierno, posiblemente cómo resultado de la temperatura, ya que es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Lenschak *et al.*, 2019). Según Lang *et al.*, (2013), la temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga, es de 18°C, con un rango que oscila entre 7 y 24°C, mientras que según Lenscak *et al.*, (2019), el valor óptimo de la temperatura nocturna es de 10-15°C y el de la temperatura diurna es de 15-20°C. Si bien el sombreado favorece el cultivo de lechuga en invernadero en las épocas cálidas, debido a que permite una rápida implantación con menores requerimientos de reposición y una mayor producción a través de pesos por planta más elevados y menores porcentajes de descarte, según las autoras Franciscangeli y Mitidieri (2006), las altas temperaturas en la primavera y el verano dificultan la producción de lechuga en invernadero en toda la región litoral Norte de la Provincia de Buenos Aires.

Tabla 2. Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura A, en cada estación del año y sobre la MST, MSA, EUA, TC, % de Canopeo y Relación Parte aérea/Raíz.

	A						Probabilidad		Interacción
	CE1.0	CE1.5	CE2.0	PRI	INV	Factor A	Factor B		
MST (g)	1,59 _b	1,82 _b	0,96 _a	1,41 _a	1,50 _a	<0,0001	0,4740	0,3524	
MSA (g)	0,90 _b	1,02 _b	0,56 _a	0,72 _a	0,94 _b	0,0015	0,0389	0,2738	
Raíz (g)	0,68 _b	0,80 _b	0,40 _a	0,69 _a	0,56 _a	0,0001	0,0766	0,5477	
Canopeo (%)	44,6 _b	51,1 _b	29,2 _a	45,7 _a	37,6 _a	0,0002	0,0572	0,5006	
EUA	3,16 _b	3,65 _b	1,88 _a	2,39 _a	3,40 _b	<0,0001	0,0001	0,0826	
TC	28,8 _b	33,1 _b	17,4 _a	25,7 _a	27,2 _a	<0,0001	0,4741	0,3524	
Parte aérea/ Raíz	1,87 _a	1,64 _a	1,99 _a	1,28 _a	2,39 _b	0,7947	0,0122	0,5895	

MST, materia seca total (g maceta⁻¹), MSA, materia seca aérea (g maceta⁻¹), TC, tasa de crecimiento, EAU, eficiencia del uso del agua. CE1.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1.5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. A, arenoso. PRI, primavera, INV, invierno. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). Factor A: Salinidad. Factor B: Estación.



Tabla 3: Efecto de la calidad de agua en el riego para los tratamientos con suelo de textura FA, en cada estación del año y sobre la MST, MSA, EUA, TC, % de Canopeo y Relación Parte aérea/Raíz.

	FA						Probabilidad		Interacción
	CE1.0	CE1.5	CE2.0	PRI	INV	Factor A	Factor B		
MST (g)	1,33 _b	1,14 _b	0,50 _a	0,82 _a	1,16 _b	0,0002	0,0397	0,3924	
MSA (g)	0,68 _b	0,59 _b	0,25 _a	0,39 _a	0,62 _b	0,0031	0,0323	0,5387	
Raíz (g)	0,65 _b	0,55 _b	0,25 _a	0,43 _a	0,54 _a	0,0024	0,2405	0,3730	
Canopeo (%)	32,6 _b	27,7 _b	10,3 _a	25,2 _a	21,9 _a	0,0005	0,4621	0,8595	
EUA	2,75 _b	2,31 _b	0,99 _a	1,39 _a	2,64 _b	0,0002	0,0004	0,1321	
TC	24,1 _b	20,8 _b	9,1 _a	14,9 _a	21,1 _b	0,0002	0,0397	0,3925	
Parte aérea/Raíz	1,28 _a	1,39 _a	1,02 _a	1,01 _a	1,45 _a	0,5510	0,1252	0,4513	

MST, materia seca total (g maceta⁻¹), MSA, materia seca aérea (g maceta⁻¹), TC, tasa de crecimiento, EUA, eficiencia del uso del agua. CE1.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,0 dS m⁻¹; CE1.5 calidad de agua con conductividad eléctrica de 1,5 dS m⁻¹ y CE2.0, calidad de agua con conductividad eléctrica de 2,0 dS m⁻¹. FA, franco arenoso. PRI, primavera, INV, invierno. Letras diferentes significan diferencias significativas (p<0,05). Factor A: Salinidad. Factor B: Estación.

Según Maroto (2000), la duración media del ciclo de lechuga es de 150 días para ciclos invernales y de 120 días para el resto de los ciclos, mientras que según Jackson *et al.*, (1999), el cultivo tiene un ciclo de 70 a 130 días. Para cultivos a campo en Argentina, se han registrado ensayos con variedades de hoja suelta donde la duración media es de 67 días para un ciclo primaveral y de 112 días para un ciclo invernal (de Grazia *et al.*, 2001). En este estudio, los ciclos desarrollados en meses fríos fueron de menor duración respecto a los ciclos desarrollados en los meses cálidos. Tales resultados, coinciden con lo reportado por Francescangeli y Mitidieri (2006), quienes determinaron que en otoño-invierno, la cosecha se realiza a los 45 días en variedades de hoja con rendimientos de 3000-4000 g m⁻¹ y a los 70-80 días en las de cabezas, con rendimientos de 5000-6000 g m⁻¹; mientras que en primavera y verano los ciclos tienen entre 10 y 15 días menos y los rendimientos son menores.

Evapotranspiración

Los diferentes consumos de agua según el ciclo analizado se explicarían por la influencia de la demanda evaporante de la atmósfera, siendo ésta superior en condiciones de mayores temperaturas y radiación (ciclo primaveral). En el ciclo invernal, la evapotranspiración decayó, con valores de 0,0 y 1,4 junto con las temperaturas y la radiación, ocurriendo lo contrario en el ciclo primaveral, en donde los valores fueron de 6,6 y 6,4. Numerosos autores citan consumos de agua entre 52 mm y 125 mm dependiendo de la época del año en que se produzca (Adrover *et al.*, 2001; Ortega *et al.*, 1999; Gallardo *et al.*, 1996). Estos mismos autores establecieron que al variar el suministro de agua no se modifica significativamente la EUA.

CONCLUSION

Hubo un efecto adverso por el uso de agua salina con disminución en los valores de MST, MSA y Raíz, tanto en el suelo A como en el suelo FA.

En el suelo A, hubo diferencias significativas entre estaciones, con valores superiores en invierno en comparación a la primavera, en las variables MSA, Parte aérea/Raíz y EUA. En los demás parámetros no se observó interacción entre la calidad de agua de riego y la estación del año, por lo cual, el comportamiento fue similar en invierno y en primavera. En el suelo FA, hubo diferencias estadísticas en la MST, la MSA, la EUA y la TC, con valores superiores en los meses de invierno respecto a los meses de primavera.

Se obtuvieron diferentes consumos de agua según el ciclo analizado, siendo superior en la estación primaveral. Los ciclos desarrollados en invierno presentaron menor duración respecto a los ciclos en primavera, y los rendimientos en primavera fueron menores en comparación con los obtenidos en invierno, posiblemente



por la temperatura, ya que es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y desarrollo de las plantas.

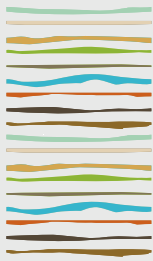
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CERET por el aporte de plantines para el desarrollo de la experiencia. Al Laboratorio de Servicios Analíticos de suelos, plantas y ambiente (LABSPA) y al laboratorio de suelo y agua de la EEA INTA Anguil por la colaboración brindada en algunos análisis realizados.

BIBLIOGRAFIA

- Adrover, M., Miralles, P., Farrús, E., Lladó, G., y Vadell, J. 2001. Aprovechamiento del agua de riego mediante el uso de distintos tipos de acolchado. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. V Jornadas Técnicas. Mallorca, España.
- Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Yrisarry, J.B., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., y Elliott, R. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81: 1-22
- De Grazia, J., Tittonell, P.A., Chiesa, A. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), INIA, España. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, Vol. 16 (3): 355 – 365
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Francescangeli, N., y Mitidieri, M. 2006. El invernadero hortícola estructura y manejo de cultivos. 2da ed. INTA 2006. Pp 46
- Gallardo, M., Jackson, L.E., Schullback, K., Snyder, R., Thompson, R., y Wyland, L. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrig. Sci.* 16:125–137.
- Jackson, L., Mayberry, K., Laemmlen, F., Koike, S., Schulbach, K., Chaney, W. 1999. La producción de lechuga de hoja en California, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 7216 Spanish, Oakland, California, USA. Disponible en <http://vric.ucdavis.edu/selectnewcrop.lettuce.ht>
- Lang, M. 2016. Efecto de la aplicación de enmiendas y manejo del riego en suelos de la región semiárida pampeana sobre el rendimiento de lechuga bajo invernadero. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Cuyo.
- Lang, M., Lipinski, V., y Balcaza, L. 2013. Efecto de la aplicación de enmienda y manejo del riego sobre el rendimiento y la calidad de lechuga bajo invernadero. *Horticultura Argentina* 32 (79) 32-42.
- Lenscak, M.P., e Iglesias, N. 2019. Invernaderos: Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54). INTA Ed. IPAF Región Pampeana.
- Maroto Borrego, J. V. 2000. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi - Prensa, Madrid, España. pp. 208-214.
- Ministerio de la Producción del Gobierno de La Pampa. 2011. Encuesta hortícola provincial. Pp. 5.
- Muguiro, F. A. 2014. Rehabilitación de suelos con impedimentos físicos de uso hortícola degradados por riego con aguas bicarbonatadas sódicas. Tesis Magister en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral.
- Ortega, J.F., De Juan, J.A., Tarjuelo, J.M., Merino, R., Valiente, M. 1999. Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. INIA, España. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, Vol. 14 (3): 325 – 354.
- Siliquini, O., Gregoire, H., y Scarone, J. 2001. Evolución de la producción hortícola en la provincia de La Pampa. XXIV Congreso Argentino de Horticultura. Jujuy Resúmenes. *Horticultura Argentina* 20 (48).





EVALUACIÓN DE AQUACROP PARA SIMULAR AGUA EDÁFICA EN SOJA CULTIVADA BAJO DISTINTA DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y RADIATIVA

Peirone, L.S.^{1-3-4*}, G. Ovando², F.A. Raspa³, C.R.C. Vega³

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC;

³EEA INTA Manfredi;

⁴IAPCByA UNVM

*peirone.laura@inta.gob.ar

RESUMEN

Los modelos de simulación son herramientas útiles que pueden asistir a la toma de decisiones para mejorar la productividad en diferentes escenarios hídricos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño del modelo AquaCrop para estimar el nivel de agua en el suelo y la producción de biomasa en soja en la región central de Córdoba. Asimismo, el modelo se utilizó para evaluar la productividad de la soja bajo un amplio rango de los recursos agua y radiación a partir de experimentos de fechas de siembra (FS), genotipos y nivel hídrico (riego y seco). Para la calibración del modelo, se utilizaron datos de fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (fPARI), contenido de agua del suelo (CAS) y la biomasa de cultivo (MS) durante la campaña 2020-21. Los datos de fPARI se utilizaron para la calibración de la cobertura del cultivo (CC). La capacidad predictiva de AquaCrop fue evaluada a través del coeficiente de determinación (R^2), la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE) y el índice de concordancia (d). AquaCrop simuló adecuadamente CC ($R^2=0.90$, RMSE=8.24 %, $d=0.97$), MS ($R^2=0.95$, RMSE=1.33 tn ha⁻¹, $d=0.98$) y CAS ($R^2=0.84$, RMSE=47.94 mm, $d=0.93$). Estos resultados mostraron que AquaCrop podría ser adecuado para simular con precisión la CC, la MS y el CAS bajo ambientes de distinta calidad hídrica y radiativa, lo que permitiría indagar en distintas combinaciones de manejo para la optimización de la captura y el uso de la radiación solar y el agua en soja.

Palabras clave: modelo de cultivo, *Glycine max*, biomasa, fechas de siembra, variedades.

INTRODUCCIÓN

La región pampeana oeste presenta ambientes semiáridos y alta variabilidad interanual de precipitaciones. Estas características, junto con condiciones edáficas como suelos de texturas gruesas hace a esta región altamente susceptible a sequías. Frente a este escenario es indispensable el desarrollo de nuevas estrategias de manejo que permitan reducir la brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzable en seco. En estas condiciones, el diseño de sistemas de cultivo para esta región que se focalice en el uso adecuado del agua y en la estabilidad de los rendimientos puede requerir largos y costosos experimentos de campo. Una manera de abordar esta limitación es mediante el empleo de modelos de simulación de cultivos (Videla Mensegue et al., 2021). El uso de modelos de simulación podría ser importante para simular los componentes eco-fisiológicos que afectan la generación del rendimiento. Además, podría ser útil como herramienta para tomar decisiones en condiciones climáticas cambiantes, con el fin de optimizar el uso de los recursos en la producción y predecir el rendimiento de los cultivos.

Estos modelos simulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos considerando factores como condiciones ambientales, de manejo y factores genéticos. Los modelos de simulación de cultivos pueden reproducir las



interacciones del sistema “suelo-planta-atmósfera-manejo” (Pasquel et al., 2022). Existe un gran número de modelos tales como APSIM, DSSAT, EPIC, STICS, WOFOST, CropSyst o AquaCrop, entre otros (Dhouib et al., 2022). El modelo AquaCrop ha sido ampliamente aplicado debido a que mantiene un balance entre precisión, complejidad del modelo y estabilidad. Además, Aquacrop consta de diferentes funciones que simulan el crecimiento del cultivo y separa la transpiración del cultivo de la evaporación del suelo. También se emplea para optimizar los sistemas de riego con datos limitados, lo cual es altamente intuitivo y tiene un amplio rango de aplicaciones (Li et al., 2022).

Argentina es el tercer productor mundial de soja (*Glycine max (L.) Merr.*) (Food and Agriculture Organization, FAO; <http://faostat.fao.org>) y su producción es principalmente en seco. El déficit hídrico y la variabilidad interanual son factores principales que condicionan el rendimiento. Por lo tanto, contar con modelos de simulación de cultivos regionalmente calibrados resulta de vital importancia como herramientas para el apoyo en la toma de decisiones. El objetivo de este trabajo fue calibrar el modelo AquaCrop para estimar el progreso del nivel de agua en suelo y la producción de biomasa en soja en la región central de Córdoba. Complementariamente, el modelo se utilizó para evaluar el impacto de la fecha de siembra y el manejo de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

I- Sitio y diseño experimental

Se llevó a cabo un experimento en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi (31° 49' S, 63° 46' O) (Córdoba), durante la campaña agrícola 2020-2021. El suelo sobre el que se realizó el experimento es un Haplustol éntico, serie Oncativo, con capacidad de almacenaje de agua útil de 313 mm (2m). Se evaluaron dos fechas de siembra (FS₁, 26/10/2020, y FS₂, 27/11/2020), bajo dos niveles hídricos (riego y seco) y dos genotipos de distinto grupo de madurez (DM4612 y DM53i53). En los tratamientos con riego, el contenido de agua del suelo se mantuvo en los porcentajes a capacidad de campo, regando con un sistema de goteo. El experimento fue sembrado bajo un diseño de parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones, siendo la fecha de siembra, la condición hídrica y el genotipo la parcela principal, sub-parcela y sub-sub-parcela, respectivamente. Cada parcela consistió en 6 surcos de 10 metros de largo separados a 0.52 m. El contenido de agua (CAS) en el suelo se midió gravimétricamente en las etapas fenológicas de siembra, R3, R6 y R7 (Fehr y Caviness, 1977). Para ello, se tomaron muestras de suelo a intervalos de 20 cm hasta los 200 cm de profundidad. La fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (fPARi) se estimó utilizando un sensor de luz cuántico de línea de 1 m (Cavadevices, Buenos Aires, Argentina) entre las 11:00 y las 13:00 horas en días despejados. Se realizaron mediciones por encima y debajo del canopy entre la emergencia del cultivo y R7. Los datos de fracción de PARi interceptada por el cultivo (fPARi) fueron utilizados para comparar los valores simulados de la cobertura del cultivo (CC, %) por el modelo AquaCrop. La biomasa seca total (MS) se evaluó en diferentes momentos durante el ciclo del cultivo mediante la cosecha de plantas de surcos centrales en una superficie de 0.5 m². Las plantas se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante. Las variables meteorológicas utilizadas para correr el modelo fueron registradas en la estación de INTA Manfredi.

II- Estadísticos empleados en la calibración de Aquacrop

El desempeño del modelo en la estimación de los parámetros biofísicos del dosel (cobertura y biomasa) y de la humedad del suelo se evaluó estadísticamente contrastando las estimaciones con la información correspondiente medida de campo. En el análisis se emplearon los estadísticos R², *d* y RMSE, que se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:



$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - \overline{obs})(est_i - \overline{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (obs_i - \overline{obs})^2 \sum_{i=1}^n (est_i - \overline{est})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - est_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|est_i - \overline{obs}| + |obs_i - \overline{obs}|)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2} \quad (3)$$

donde: R^2 = coeficiente de determinación, d = índice de concordancia, RMSE = raíz del error cuadrático medio, est_i = variable estimada por el modelo, \overline{est} = promedio de la variable estimada por el modelo, obs_i = variable observada, \overline{obs} = promedio de la variable observada, n = tamaño de la muestra.

Los valores de R^2 pueden ir de 0 a 1; valores próximos a 1 muestran una buena concordancia entre los valores observados y los estimados (es decir, que la mayoría de la variancia de los datos observados es explicada por el modelo). Valores de R^2 mayores que 0,80 son recomendados para estudios de simulación de cultivos. Los valores del índice d pueden variar entre 0 y 1 siendo este último un valor que refleja una perfecta concordancia entre los valores observados y los estimados. Un índice d mayor que 0,7 es aceptable para la calibración en agronomía. Los valores de RMSE pueden ir de 0 a infinito, siendo mejor el modelo mientras menor sea el RMSE. Modelos con valores porcentuales de RMSE menores que 10% es considerado excelente, entre 10 y 20% "bueno", entre 20 y 30% "satisfactorio" y mayores a 30% "pobre". Para rendimientos y biomasa se recomienda un RMSE máximo de 15% (Adeboye et al., 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se muestran el rango de valores observados y estimados para la CC, la biomasa y CAS y los estadísticos obtenidos durante el proceso de simulación en AquaCrop. A través de combinaciones de manejo que impactan la captura y uso del recurso radiactivo e hídrico se lograron amplios rangos observados y estimados para las tres variables. Los valores medidos y simulados de CC, MS y CAS se muestran en la Fig. 1. Se observó una buena correlación entre los valores de CC observados y simulados (Tabla 1, Fig. 1, $R^2=0.90$). El RMSE (8.24%) fue bajo, resultando una buena calibración. El índice d (0.97) fue bueno para todos los tratamientos. Para la MS, el R^2 calculado fue de 0.95, lo que indica que los valores observados y simulados fueron estadísticamente similares. La calibración fue buena para MS (tabla 1, Fig. 1, RMSE=1.33 tn ha⁻¹, $d=0.97$). El CAS simulado por AquaCrop mostró un ajuste adecuado con respecto a las mediciones gravimétricas realizadas hasta 2 m de profundidad ($R^2=0.84$), considerándose, por ende, aceptable (Tabla 1, Fig. 1., RMSE=47.94 mm, MAE=38.59 mm, $d=0.93$).

Tabla 1. Rango de variación de datos observados y estimados para tres variables evaluadas desde la siembra a R7 y comparación de estadísticos

	N	Rango observados	Rango estimados	R^2	d	RMSE
Cobertura de cultivo ((%)	48	13-100	17.5-99	0.90	0.97	8.24
Biomasa seca (tn ha ⁻¹)	31	0.51-21.28	0.64-17.04	0.95	0.98	1.33
Contenido de agua en suelo (mm)	20	319.5-602.2	376.1-648.8	0.84	0.93	47.94

Coeficiente de determinación (R^2), raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE), índice de concordancia (d).



AquaCrop mostró un buen desempeño para simular las variables evaluadas. Resultados similares fueron obtenidos por Adebeye et al. (2021) quienes emplearon el modelo AquaCrop para evaluar optimización de la fertilización y la productividad del agua en soja, y presentaron para CC valores de R^2 entre 0.90 y 0.98 y d entre 0.98 y 1.00, en tanto que para biomasa obtuvieron valores de R^2 , RMSE y d de 0.95, 1.33 tn ha^{-1} y 0.98, respectivamente. Abedinpour (2020), por su parte, informó valores de R^2 y RMSE de 0.95 y 0.40 tn ha^{-1} , respectivamente cuando empleó AquaCrop para simular la materia seca del cultivo de soja con diferentes fechas de siembra y niveles de déficit de riego.

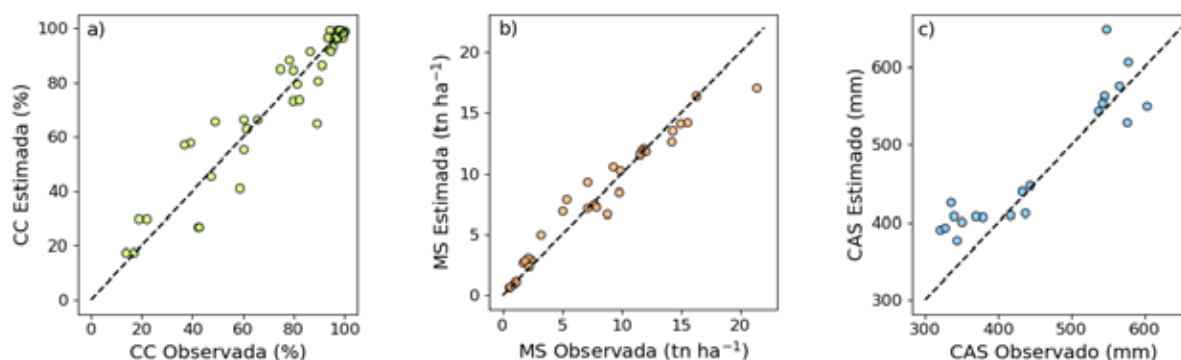


Figura 1. Valores de a) Cobertura del cultivo de soja (CC, %) b) Biomasa (MS, tn ha^{-1}) y c) Contenido de agua del suelo (CAS, mm), observados y estimados por AquaCrop para todos los tratamientos. La línea discontinua representa la función identidad (1:1).

En cuanto a CAS, Adebeye et al. (2021) encontraron que el desempeño en la simulación fue bueno (R^2 de 0.75 y RMSE de 11.5 mm).

Complementariamente en este estudio, AquaCrop se utilizó para evaluar la captura de la radiación solar y la productividad de sojas cultivadas bajo un amplio rango de recursos hídricos y radiativos logrados a partir de combinaciones entre FS, niveles hídricos y variedades (Fig. 2). En la primera fecha de siembra, el riego tuvo un efecto más marcado sobre la cobertura y la duración del cultivo en comparación con el secano. Por el contrario, en fechas de siembra tardías, los patrones de intercepción de radiación solar no difirieron entre riego y secano. Los dos genotipos alcanzaron los valores óptimos de intercepción para maximizar tasas de crecimiento (Andrade et al., 2005) pero sus ciclos fueron más cortos en comparación con la fecha de siembra temprana. Dichos efectos pueden ser explicados a través de cambios en temperatura y fotoperíodo, factores que aceleran las tasas de desarrollo.

En línea con el patrón de captura de radiación, la biomasa fue máxima en fecha temprana y bajo riego y contribuyó a mayores rendimientos en grano. En la FS₁ bajo riego, los rendimientos oscilaron entre 5.4 y 6 tn ha^{-1} , mientras que bajo secano variaron entre 4.1 y 4.4 tn ha^{-1} . Dichos rendimientos estarían en línea con los rendimientos potenciales estimados para la región (Aramburu Merlos et al., 2015). Como era esperable, en FS₂ el rendimiento disminuyó (3.7 a 4.1 tn ha^{-1} en DM4612 y DM53i53, respectivamente) aún bajo riego. Los rendimientos en secano de la FS₂, fueron de 3.9 y 3.7 tn ha^{-1} (para DM4612 y DM53i53, respectivamente). Interesantemente, entonces, las brechas debidas al recurso hídrico fueron más marcadas en fechas tempranas que en tardías.

La poca diferencia entre los rendimientos observados en la FS₂ de los tratamientos de riego y secano para las dos variedades fue explicada por la transpiración del cultivo, que fluctuó entre 350,4; 344,2; 358,4 y 351,1 mm (para DM4612 bajo riego, DM4612 en secano, DM53i53 bajo riego y DM53i53 en secano, respectivamente). Por otra parte, para la primer fecha de siembra, el modelo estimó 428,9; 346,8; 442,4 y 360,6 mm (para DM4612 bajo riego, DM4612 en secano, DM53i53 bajo riego y DM53i53 en secano, respectivamente).



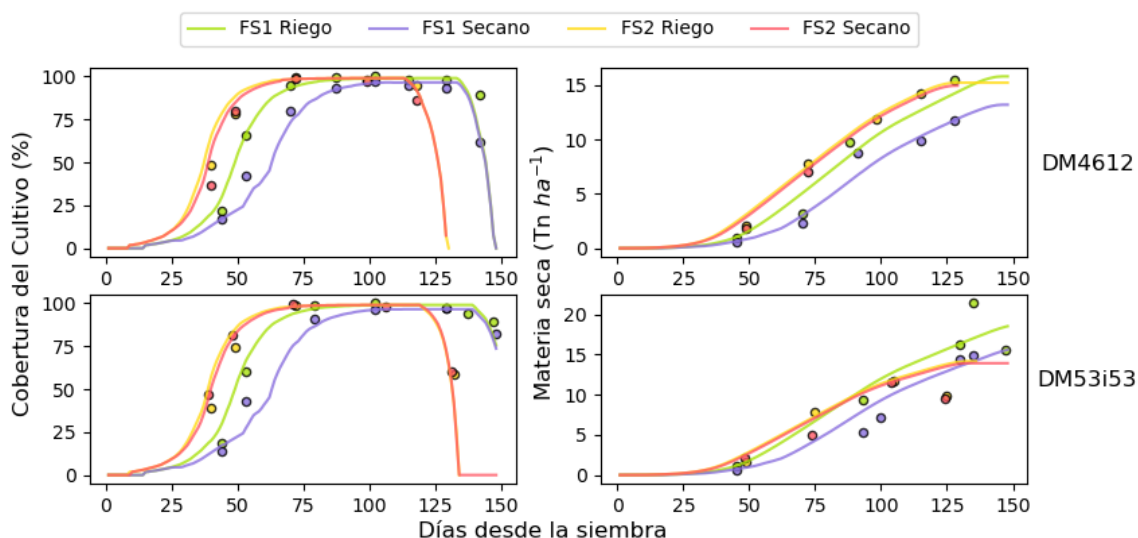


Figura 2. Evolución de la Cobertura del cultivo (izquierda) y la Materia seca de la parte aérea (derecha) para las variedades DM4612 (arriba) y DM 53i53 (abajo) en las dos fechas de siembra (FS_1 y FS_2) con riego y en seco.

Finalmente, y teniendo en cuenta la bondad de ajuste del modelo AquaCrop para sojas cultivadas en el centro de Argentina, se espera a futuro indagar en combinaciones de manejo bajo distintos escenarios hídricos con el fin de determinar aquellas que maximicen la productividad del agua.

CONCLUSIONES

La calibración del modelo AquaCrop bajo ambientes de distinta calidad hídrica y radiativa permitió simular con precisión la cobertura del cultivo, la biomasa del cultivo de soja y el contenido de agua en el suelo. A partir de los resultados de este estudio, AquaCrop podría utilizarse para estimar el CAS, la MS y la CC, lo que permitiría indagar en estrategias para la optimización del uso de los recursos o la captura y uso de la radiación solar y el agua en soja. Estudios posteriores requerirán la validación de estas variables, así como también la simulación y validación del rendimiento y productividad del agua para el cultivo de soja en la región central de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- Abedinpour, M. (2020). Evaluation of AquaCrop model in soybean cultivation under different planting dates and deficit irrigation treatments. *Iran Agricultural Research*, 39(2), 37-46.
- Adeboye, O. B., Schultz, B., Adeboye, A. P., Adekalu, K. O., & Osunbitan, J. A. (2021). Application of the AquaCrop model in decision support for optimization of nitrogen fertilizer and water productivity of soybeans. *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 419-436.
- Andrade, F.H., Sadras, V.O., Vega, C.R.C., Echarte, L., 2005. Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean. *Journal of Crop Improvement* 14, 51-101.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J.P., Mercau, J.L., Taboada, M., Andrade, F.H., Hall, A.J., Jobbagy, E., Cassman, K.G., Grassini, P., 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184, 145-154.
- Dhouib, M., Zitouna-Chebbi, R., Prevot, L., Molenat, J., Mekki, I., & Jacob, F. (2022). Multicriteria evaluation of the AquaCrop crop model in a hilly rainfed Mediterranean agrosystem. *Agricultural Water Management*, 273, 107912.
- FAO Food and Agriculture Organization (2021), Disponible en <http://faostat.fao.org>. Consultado el 29/08/2022.
- Fehr, WR. y Caviness, CE. (1977). Stages of soybean development. Ames, IO, Iowa State University, Special Report 80.11.
- Heng, L. K., Hsiao, T. C., Evett, S., Howell, T., & Steduto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal* 101, 488-498
- Hsiao, T. C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101:448- 459.



- Li, Z., Feng, B., Wang, W., Yang, X., Wu, P., & Zhuo, L. (2022). Spatial and temporal sensitivity of water footprint assessment in crop production to modelling inputs and parameters. *Agricultural Water Management*, 271, 107805.
- Montoya, F., & Otero, A. (2019). Is irrigating soybean profitable in uruguay? a modeling approach. *Agronomy Journal*, 111(2), 749-763.
- Pasquel, D., Roux, S., Richetti, J., Cammarano, D., Tisseyre, B., & Taylor, J. A. (2022). A review of methods to evaluate crop model performance at multiple and changing spatial scales. *Precision Agriculture*, 1-25.
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. (2009) AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying principles. *Agronomy Journal* 101(3):426–37.
- Videla Mensegue, H. V., Caviglia, O. P., Degioanni, A., Marcos, J., & Bonadeo, E. (2021). Calibration and validation of soil water balance (SWB) model in the Inner Argentinian Pampas. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105892.





Actas Tomo 3

XXVIII CACS

15 al 18 de noviembre de 2022

Buenos Aires – Argentina

www.congreso2022.suelos.org.ar

ISBN 978-987-48396-7-1



9 789874 839671