

XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo

Buenos Aires 2022



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

ACTAS Tomo 2

Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal

ISBN: 978-987-48396-7-1



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 - AACS, 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

Patrocinan

BUNGE

AMAUTA

 **Timac AGRO**

 **COFCO INTL
FERTILIZANTES**

 **Bolsa
de Cereales**

 **PROFERTIL**
Vida para nuestra tierra

 **Recuperar**
S.R.L.

 **TECNOAGRO**
TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

 **EUROCHEM**
EMERGER FERTILIZANTES

 **instrumentalia**

**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**

 **Agencia I+D+i**
Agencia Nacional de Promoción
de la Investigación, el Desarrollo
Tecnológico y la Innovación

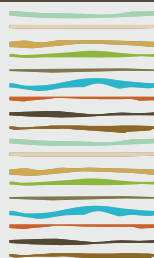


TABLA DE CONTENIDOS TOMO 2

FERTILIDAD DE SUELOS Y NUTRICIÓN VEGETAL	358
VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESPUESTA DE CULTIVO DE MAÍZ A LA APLICACIÓN DE INSUMOS	359
A. Alesso ^{1*} , N.R. Peralta ² , N.F. Martín ³	
EFFECTO ACUMULADO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA SOBRE DISTINTAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO	365
Alvarez, M.L. ^{1*} , C. Alvarez ² , M. Saks ³ , N. Aliaga, N. ¹ , N. Gutiérrez ¹ , E. Noellemeyer ¹	
FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO, AZUFRE Y ZINC EN TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL	370
Alvarez, M.L. ^{1*} , V. Quintana ¹ , T. Scarpello ¹ , A. Dillchneider ^{1,2}	
LA FERTILIZACIÓN AUMENTA EL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS PAMPEANOS PERO NO PERMITE MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO	375
Alvarez, R. ^{1*}	
APLICACIÓN DE RESIDUOS PECUARIOS COMO ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ	380
Amín, M.S. ^{1,2*} , Y. Chilano ^{1,2} , M.A. Becerra ^{1,2,3} , A. Degioanni ^{1,2} , N. Lucio ¹ , E. Maseda ¹	
EVALUACIÓN DE FACTORES ASOCIADOS AL NIVEL DE FÓSFORO BRAY1 EN LOTES DE LA REGIÓN PAMPEANA	381
Antonietta, M. ¹ , J.R. Micheloud ^{2,3} , G. Martini ² , M. Paolini ² , M.B. Alonso ² , J.J. Guiamet ¹ , E. Satorre ^{2,4,*}	
CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS CAÑEROS DEL PEDEMONTE DE TUCUMÁN POR CAPACIDAD DE FERTILIDAD (FCC)	386
Arroyo E.A., Sanzano G.A., Rojas Quinteros H.C., Navarro Di Marco J.P. y Madrid F.R. ¹	
EVALUACION DE DOSIS Y FUENTES DE FOSFORO Y AZUFRE EN MAÍZ, TRIGO Y SOJA EN LA REGION PAMPEANA CENTRAL DE ARGENTINA	392
Balza, M.E. ^{1*} , M. Boxler ² , F. O. García ^{2,3}	

UTILIZACIÓN DE PURÍN SÓLIDO DE TAMBO EN MAÍZ PARA SILO: PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y PROPIEDADES EDÁFICAS	398
Bannister W. ¹ , W.D. Carciochi ^{1,2*} , L. Bassi ^{1,2} , S. Vacca ^{1,3} , M. Eyherabide ¹ , N. Wyngaard ^{1,2} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} , H.R. Sainz Rozas ^{1,2}	
FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON PROPIEDADES EDÁFICAS	404
Rocha, L. S. ¹ , M. G. Ferrando ¹ , M. M. Barbazán ^{1*}	
ANÁLISIS ESPACIAL DEL APORTE DE CARBONO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LA REGIÓN PAMPEANA	405
Barni, M.L. ^{1*} , C. Alvarez ² , M.F. Varela ³ y J.L De Paepe ¹⁴	
EFFECTO DE CORTE DE BIOMASA DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA	411
Barolin, F.E. ^{1*} , Ecclesia, R.P. ²	
MANEJO DE LA SIEMBRA E INOCULACIÓN CON RIZOBIOS EN EL CULTIVO DE VICIA VILLOSA	412
Barraco, M. ^{1*} , M.E. Gallace ² , M. Díaz-Zorita ²	
PROPIEDADES DEL DIGERIDO ANAERÓBICO DE ORUJO DE MANZANA COMO BIOFERTILIZANTE	413
Bartucci, S.L. ^{1,2} , Young, B. J. ³ , Laos, F. ¹	
INDICADORES DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO PARA CEREALES DE INVIERNO	419
Bassi L. ^{1*} , G. V. García ^{2,3} , N.I. Reussi Calvo ² , C. Crespo ^{2,3} , W. Carciochi ^{2,3} , I. Queirolo ² , H. R. Sainz Rozas ^{2,3} N. Wyngaard ^{2,3} .	
FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, FÓSFORO E POTÁSSIO: EFEITOS NA ACIDEZ DO SOLO	425
Souza Bastiani, K.E. ¹ , E. N. Meoti ¹ , A. G. Scolari ¹ , M. Collet ¹ , J. Fink ²	
VARIACION DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE ARGENTINA	426
Berhongaray, G. ^{1*} , A. Alesso ¹ , J.M. Orcellet ² , L. Burzaco ³	
EFFECTOS DE LA CARBONILLA COMO ENMIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (<i>LACTUCA SATIVA</i> L.)	430
Bertollo, J. ^{1*} , F. Paredes ^{1,2} , J. Machado ¹ , M. Talabera, M. ¹ , A. Mc Cargo ¹ , C. Paiva ¹ , C. Fernández López ^{1,2}	
INDICADORES DE RESIDUALIDAD DEL AZUFRE EN EL SUELO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN AZUFRA	434
Blassoni, M.M. ^{1*} , H. Vivas ² , D.A. Carreira ³ , F.H. Gutiérrez Boem ⁴ , F. Salvagioti ¹	
RESPUESTA DEL SORGO GRANÍFERO A DISTINTOS NUTRIENTES EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	440
Bilbao, S.E. ¹ , M.C. Ferrari ^{2,3*} , J.A. Llovet ^{2,3} , L.A. Rivoltella ²	



EFFECTO RESIDUAL DE USO DE DIGESTATO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL SUELO Y RENDIMIENTO DE SOJA	441
Bongiovanni M. D. ^{1,2*} , R. Marzari ^{1,2}	
ENMIENDAS CALCICAS EN LA PRODUCCIÓN Y SANIDAD DEL CULTIVO DE MANÍ EN UN HAPLUSTOL ENTICO	442
Bongiovanni M. D. ^{1,2*} , R. Marzari ^{1,2}	
BALANCE DE NUTRIENTES EN MAÍZ CON APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y EFLUENTES PORCINOS EN CORRIENTES, ARGENTINA.	448
Brandolin A.N. ^{1*} , N.I. Stahringer ¹ , J.E. Behr ¹ , D.A. Petelko ¹ , G.R. Vallejos ¹ , H.C. Dalurzo ¹ , L. Gnoatto ¹ .	
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE DIGERIDOS DE PLANTAS DE BIOGÁS OPERATIVAS PARA SU VALORIZACIÓN AGRONÓMICA	453
Bres, P.A. ^{1*} , M.E. Beily ¹ , N. Peñuela ² , N. Riera ¹	
MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA SINCRONIZAR LA OFERTA Y DEMANDA DE NITRÓGENO EN MAÍZ	459
Cafaro La Menza, F. ^{1*} , W.D. Carciochi ^{1,2*} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} ; M.P. Rodríguez ¹ , A.M. Lapaz ¹ , P.A. Barbieri ¹ , H.R. Sainz Rozas ^{1,2}	
ACUMULACIÓN DE NUTRIENTES EN CULTIVOS DE SERVICIO Y SU IMPLICANCIA EN LOS AGROECOSISTEMAS	465
Cafaro La Menza, F. ^{1*} , W.D. Carciochi ^{1,2*}	
EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA A PARTIR DO TERMOFOSFATO NA FERTILIDADE DO SOLO EM BANANAL	471
Cândido, H.T. ^{1*} , M. Leonel ¹ , S. Leonel ² , R. L. Villas Boas ²	
ADUBAÇÃO FOSFATADA VIA TERMOFOSFATO NA BANANEIRA BRS SCS BELLUNA EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO	472
Cândido, H.T. ^{1*} , P. R. R. Jesus ² , L. F. Ouros ¹ , M. Izidoro ³ , N. A. Lossolli ¹ , N. Z. Molha ² , V. M. Domiciano ² , M. Leonel ¹	
MATERIA ORGÁNICA Y SU RELACIÓN CON LA IMPLANTACIÓN DE <i>NELTUMA ALBA</i>	473
CANO, N. I. ^{1,2} , V. A. Franco ^{1,2} , S. Jaime ¹ , E. Santander ¹ , C. López Fernández ³ , J. E. Baridón ⁴	
ÉPOCA DE APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO-COMUM CULTIVADO IRRIGADO NO CERRADO BRASILEIRO	474
Carmo, R.T. ^{1*} , J.A.V. Jardim ² , R.A. Flores ³ , N.P.R. Reges ¹ , M.F.N. Xavier ¹ , F.S.R. de Lima ¹ , M.L. Lima ⁴ , Sousa, R.G. ²	
APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DO FEIJÃO-COMUM IRRIGADO NO CERRADO BRASILEIRO	480
Carmo, R.T. ^{1*} , T.S. Canedo ² , R.A. Flores ³ , N.P.R. Reges ¹ , M.F.N. Xavier ¹ , F.S.R. de Lima ¹ , M.L. Lima ⁴ , Sousa, R.G. ²	



PRODUÇÃO DE COUVE-MANTEIGA E RABANETE EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO CONDICIONADO À SUBSTRATO ORGÂNICO ARTESANAL	486
Carvalho C. E. S ^{1*} , M. C. M. Batista ¹ , L. F. R.S. Silva ¹ , V.G.Souza ¹ , P. P. N. Charles ¹ , A. P. Umbelino ¹	
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON BORO SOBRE LA CALIDAD DE TUBÉRCULOS DE PAPA	491
Cassino, M.N. ¹ , P. Fioriti ¹ , S. Silva ¹ , P. Ceroli, G. Lagos, N. Reussi Calvo ^{1,2} , S. Rodriguez ¹ , S. Walter ³ , C. Giletto ¹	
LABRANZA CERO Y CULTIVOS DE COBERTERA PARA QUINUA ORGÁNICA (<i>CHENOPODIUM QUINOA</i>), EN LOS ANDES ECUATORIANOS	496
Cayambe, K ¹ ., A. Suárez. ^{1*} , J. León ¹	
EFFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE LA INTERACCION DENSIDAD DE SIEMBRA:DOSIS DE NITROGENO EN MAIZ	501
Cerliani, C. ^{1*} , D. Bolinger ¹ , G. Martínez Bologna ¹ , M. Fissore ¹ , R. Naville ¹ , G.P. Esposito ¹	
CONCENTRACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO EN SUELOS BAJO DIFERENTES PASTURAS EN EL ESTE CHAQUEÑO	502
Céspedes Flores, F.E. ^{1,2*} , I.P. Mónaco ¹ , J.A. Fernández ²	
EFFECTOS DEL USO DIGESTATO SOBRE LA CONDICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y QUÍMICA DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ	503
Chilano, Y. ^{1,2*} , M.S. Amín ^{1,2} , M.D. Bongiovanni ^{1,3}	
EL USO DE NANOFERTILIZANTES IMPACTA EN EL PORCENTAJE DE MICORRIZACION Y RENDIMIENTO DE SOJA	504
Ciacci, M. B ^{1,2,5} ; Giachero, M. L ^{1,3,4} ; Rosa, M. ⁶ ; Guerra da Silva A ⁶	
ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO MÉDIO PARA ESTIMAR A CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i>	505
Chemin, C. ¹ , G. Naibo ² , J. Brilhante ³ , B. Lisboa ³ , L. Kayser ³ , J.M. Moura-Bueno ⁴	
FERTIRRIEGO CON MACRO Y MICRONUTRIENTES EN EL CULTIVO DE LIMONERO (<i>CITRUS LIMÓN</i>) EN TUCUMÁN	506
Correa, O.R. ^{1*} , F.A. Sosa ¹ , G.A. Sanzano ¹ , R.F. Madrid ¹ , I. Fernández Landaburu ² , H.S. Salas Lopez ¹	
FONTES DE NUTRIENTES EM VINHEDOS ORGÂNICOS VISANDO O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE UVAS	507
Costa, V.F. ^{1*} , L.H. Bandeira ¹ , P.P. Rauber ¹ , A.A.S. Kokkonen ² , T.L. Tiecher ³	
EFFECTO DE VICIA COMO CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL RENDIMIENTO DE CEBADA	508
Crespo, C. ^{1,2*} , J. Igarza ¹ , G. Divito ³ , P. Barbieri ^{2,4}	



PRODUCCIÓN EXTENSIVA DE GARBANZO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL ARGENTINA	514
Dalmasso, L.P. ^{1*} , M. Díaz Zorita ¹	
QUANTITATIVE AND QUALITATIVE WHEAT RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION IN THE ARGENTINEAN PAMPAS: A SYNTHESIS ANALYSIS	515
Damianidis, D. ^{1*} , N. Reussi Calvo ^{2,3,8} , F. García ³ , C. Alvarez ⁴ , P.A. Barbieri ^{2,3} , H. Sainz Rozas ^{2,3} , M.R. Barraco ⁵ , A.M. Brach ⁶ , J.J. Boero ⁷ , J. Castellarin ¹ , G. Ferraris ⁹ , F.M. Gómez ¹⁰ , V. Gudelj ¹¹ , F.H. Gutiérrez-Boem ¹⁰ , H.R. Kruger ¹² , T. Loewy ¹² , A.G. Manlla ¹ , D. Melion ¹³ , H. Videla Menesque ¹⁴ , L.F. Pagnan ¹⁵ , J.M. Pautasso ¹⁶ , P. Prystupa ¹⁰ , G.R. Pugliese ¹⁷ , L. Ventimiglia ¹⁸ , M. Diaz-Zorita ¹⁹ , A. Correndo ²⁰ , F. Salvagiotti ^{1,2*}	
STOCK DE CARBONO: RELACIÓN CON LA HUMEDAD Y MACRONUTRIENTES DE SUELOS ENMENDADOS CON ALPERUJO	517
de Bustos, M.E. ^{1*} , J.F. Fernández ¹ , A.E. Bellanich ¹ , J. Cólica ²	
EXPERIENCIA EN COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL PROVENIENTE DEL BARRIDO DE CORRALES DE FEEDLOT	518
Diez, M. ¹ , Rizzo, P. ² , Sardiña, M.C. ¹ , Barrios Barón, M. P. ³ , Mattaini, J. ³	
SUPERFOSFATO SIMPLES EM SUBSTITUIÇÃO AO GESSO AGRÍCOLA EM ARGISSOLO NO SUL DO BRASIL	519
Eckert, D.J. ^{1*} , M.F. Menegat ² , G. Frosi ¹ , T.C. Coser ³ , T. Tiecher ¹	
EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO SOBRE EL AGUA Y EL NITRÓGENO EN MAÍZ TEMPRANO	520
Eclesia, R.P. ^{1*} , V.C. Gregorutti ¹ , F. Sörenson ² , M. Di Napoli ²	
¿QUE CONSIDERAR AL ELEGIR CULTIVOS DE SERVICIO COMO ANTECESOR A MAÍZ TEMPRANO?	521
Eclesia, R.P. ^{1*} , M. Kahl ² , F. Sörenson ³ , F. Barolín ⁴	
WATER AND NITROGEN AVAILABILITY AFFECTS DIFFERENTIALLY SENESCENCE AND SEED WEIGHT IN SOYBEAN GENOTYPES WITH DIFFERENT PROTEIN CONCENTRATION	522
Ergo, V. ^{1,2*} , F. Salvagiotti ^{2,3} , T. Nigro ⁴ , L. Rossiano ⁴ , C.S. Carrera ^{1,2}	
APLICACIÓN DE ESTIERCOL BOVINO EN MORINGA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN DE N-P-K	523
Fatecha, D.A. ¹ , M.S. Lesme ¹ , J.W. Rasche ¹	
INDICADORES DEL POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO PARA MAÍZ DE SEGUNDA	524
Fernández, D. ¹ , C. Crespo ^{1,2*} , L. Bassi ^{1,2} , P. Barbieri ^{1,2,3} , J. Romero ¹ , N. Wyimgaard ^{1,2}	



COMPARACIÓN DE FERTILIZANTES ÓRGANO-MINERALES PELLETIZADOS VS. INORGÁNICOS EN TRIGO: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO	525
Ferrari, J.L. ¹ , W Carciochi ² , L. Orden ³ , J. Galantini ⁴	
ADUBAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO FEIJÃO COMUM CULTIVADO NO CERRADO BRASILEIRO	531
Flores, R.A. ^{1,*} ; A.S. Vascurado ² , L.R. Marchão ² , A.M. Bueno ³ , M.F.N. Xavier ³ , R.T. do Carmo ³ , M.L. Lima ⁴ , F.R.S. de Lima ³	
EFEITO DA ADUBAÇÃO NITRGOENADA E SILICATADA NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA	537
Flores, R.A. ^{1,*} ; S.R. Conceição ² , F.S.R. de Lima ³ , M.F.N. Xavier ³ , R.T. do Carmo ³ , M.L. Lima ⁴ e N.P.R. Reges ³	
FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS Y CRECIMIENTO DEL <i>AUSTROCEDRUS CHILENSIS</i> (CIPRÉS DE LA CORDILLERA) EN NEUQUÉN, ARGENTINA	543
Frugoni M.C., A.L. Rabino, R.F. González Musso, A. Medina, J. Muñoz Saavedra, A. Suárez, J.C. Salazar, L. Echenagucia Istillarte ¹	
ASLAMIENOS DE ENDÓFITOS EN NODULOS DE ALFALFA EN HAPLUSTOLES SALINOS Y ANEGABLES	544
Gallace, M.E. ^{1*} , C. M. Vigna ¹ , L. P. Dalmasso ¹ , F. Porta Siota ^{1,2} , M. Díaz-Zorita ¹	
CONDICIONAMENTO DE NEOSSOLO QUARTZARÊNICO À RESÍDUOS ORGÂNICOS DE BAIXO VALOR ECONÔMICO PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS	545
Galvão C. M. B. ^{1*} , P. P. N. Chaves ¹ , J. A. S Alves ¹ , B.V.G. Steffler ¹ , A. P. Umbelino ¹ , T. L. Nunes ¹	
NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN) EN DOS DÍAS COMO INDICADOR DE LA NUTRICIÓN DEL TRIGO	549
García, G.V. ^{1,2,*} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} , N. Wyngaard ^{1,2} , G.A. Studdert ¹	
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON POTASIO EN EL CULTIVO DE PAPA	555
Giletto, C.M. ^{1*} , L. Esperón ¹ , P. Ceroli ^{1,2} , C. Gugliotta ¹ , G. Lagos ² , M.N. Cassino ¹ , S. Rodriguez ¹ , S.E. Silva ¹	
¿CUÁLES SON LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FITOTOXICIDAD POR FERTILIZANTES EN SOJA Y MAÍZ?	561
Girón, P. ^{1*} , M. Barraco ²	
AUMENTOS DE RENDIMIENTO EN SOJA ¿FERTILIZAMOS?	566
Girón, P. ^{1*} , M. Barraco ²	
BRECHAS DE RENDIMIENTO Y PROTEÍNA EN CEBADA CERVECERA: EFFECTO DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA Y AZUFRA	571
Gómez, F.M. ¹ , F.H. Gutiérrez-Boem ¹ , P. Prystupa ¹ , J.J. Boero ² , G. Ferraris ³ , L.G. Abeledo ⁴	



LA RELACIÓN N:S EN GRANO COMO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE DEFICIENCIA AZUFRADE EN CEBADA	577
Gómez, F.M. ¹ , P. Prystupa ¹ , L.G. Abeledo ² , J.J. Boero ³ , G. Ferraris ⁴ , F.H. Gutiérrez-Boem ¹	
RESPUESTA DEL AGROPIRO (<i>THINOPYRUM PONTICUM</i>) A LA FERTILIDAD DEL SUELO Y A LAS PRECIPITACIONES	583
González, G.M. ¹ , M.A. Luna ^{2*} , H.J. Hernández ²	
ALTERNATIVAS DE SUSTRATOS AGROECOLÓGICOS EN PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE CUCUMIS MELO	584
Gramajo Dominguez, Y.N. ^{1 *} , P. Savino ²	
INCIDENCIA DE FECHAS DE SUPRESIÓN DEL CULTIVO DE COBERTURA PREVIO A MAÍZ	585
Gudelj, V.J., M.B. Conde, C.A. Lorenzon, P.M. Marelli, R.D. Seravalle, L.A. Pereyra, O.E. Gudelj	
DISTRIBUCION TOPOGRAFICA DEL P EXTRACTABLE EN UN SUELOS FRANCO ARENOSO DEL OESTE BONAERENSE	592
Heredia, Olga S., ¹ , Chirkes J. ¹ , Sagardoy L. ¹ , Marquez Molina J ¹ .	
FERTILIZACIÓN AZUFRADE EN LA SECUENCIA CEBADA/CULTIVO DE SEGUNDA: ESTADO NUTRICIONAL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANOS	593
Iglesias, M.P. ¹ , W.D. Carciochi ^{1,2*} , P.A. Barbieri ^{1,2} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2}	
PERFIL DE NITRÓGENO EN EL CANOPEO DE MAÍZ: IMPLICANCIAS EN EL DIAGNÓSTICO	599
Iglesias, M.P. ¹ , W.D. Carciochi ^{1,2*} , N.E. Maltese ^{2,3} , A.M. Lapaz ^{1,2} , O.P. Caviglia ^{2,3} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2}	
VALORACIÓN AGRONÓMICA DE LÍQUIDO DE MACERACIÓN DE MAÍZ	605
J.G. Nicolier ¹ , M. Simonutti ^{1,2} , D.E. Menapacce ¹ , M.E. Carrizo ¹ , M.J Masola ¹ & Imhoff S ^{1,2}	
EFICIENCIA DE USO DE AGUA Y NITRÓGENO EN TRIGO CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA	606
Imvinkelried, H.O. ^{1,*} , M. Pietrobon ¹ , N. Garrote ² , F. Buralli ²	
IS IT POSSIBLE TO PREDICT NITROGEN CONCENTRATION IN CORN USING OPTICAL REMOTE SENSING AND C-SAR?	612
Lapaz Oliveira, A.M. ^{1,2*} , H. Saínz Rozas ^{1,2} , W. Carciochi ^{1,2} , M. Balzarini ^{2,3} , M. Castro-Franco ⁴ , O. Ávila ^{1,5} , S. Tovar Hernández ¹ , G. Larrea ¹ , M.P. Rodríguez ^{1,2} , N. Reussi Calvo ^{1,2}	
NEW VEGETATION INDICES FOR SATELLITE MONITORING OF THE NITROGEN NUTRIENT INDEX IN CORN	618
Lapaz Oliveira, A.M. ^{1,2*} , W. Carciochi ^{1,2} , H.R. Saínz Rozas ^{1,2} , M. Balzarini ^{2,3} , M. Castro-Franco ⁴ , S. Tovar Hernández ¹ , O. Ávila ^{1,5} , G. Larrea ¹ , M.P. Rodríguez ^{1,2} , N. Reussi Calvo ^{1,2}	



META-ANÁLISIS DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE PASTURAS Y VERDEOS	623
Lezana, L. ^{1,2*} , C. Quintero ¹ , E. Quinodoz ¹ , J.M. Pautasso ^{1,2} , A. Re ³	
CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO	628
Lima, M.L. ^{1,3*} , R.A. Flores ² , M.F.N., Xavier ³ , R.T. do Carmo ³ , R.G. de Sousa ⁴ e F.S.R. de Lima ³	
EFEITO DA ADUBAÇÃO FOLIAR CONTENDO SILÍCIO NO RENDIMENTO PRODUTIVO DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA	634
Lima, M.L. ^{1,3*} , R.A. Flores ² , M.F.N., Xavier ³ , R.T. do Carmo ³ , R.G. de Sousa ⁴ , e F.S.R. de Lima ³	
EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SILICATADA NA BIOMETRIA E FISIOLOGIA DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA	640
F.S.R. de Lima ^{1*} , S.R. Conceição ² , Flores, R.A. ³ ; M.F.N. Xavier ¹ , R.T. do Carmo ¹ , M.L. Lima ⁴ e N.P.R. Reges ¹	
APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO AFETA A FISIOLOGIA DAS PLANTAS DE SOJA CULTIVADA NO CERRADO BRASILEIRO	646
M.L. Lima ¹ , F.S.R. de Lima ^{2*} , R.A. Flores ³ ; M.F.N. Xavier ² , R.T. do Carmo ² , N.P.R. Reges ² ; R.G. de Sousa ⁴	
FERTILIZACIÓN BALANCEADA EN CEREALES DE INVIERNO	652
Lopez de Sabando, M. J. ¹ ; J.M. Erreguerena ¹ ; I. Besteiro ¹ ; K. Leaden ¹ ; M.J. Eiza ¹	
CRECIMIENTO DE <i>EUCALYPTUS BETHAMII</i> MAIDEN & CANNING FERTILIZADO CON N Y P, EN ALBARDONES DEL DELTA DEL PARANÁ	658
Lupi, A.M. ^{1*} , H. Rimski-Korsakov ² , I. Fosco ³ , J.M. Garcia Conde ⁴	
LA RELACIÓN SUELO-CULTIVO EN ANTESIS COMO INDICADORA DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO DE TRIGO	663
Mac Maney, M. ^{1*} , L. Benech-Arnold ¹ , D.J. Miralles ^{1,2} , E.H. Satorre ^{1,2} , L.G. Abeledo ^{1,2}	
EL RIESGO DE PRODUCCIÓN COMO MEDIDA DE RESILIENCIA PARA MAÍZ, TRIGO Y SOJA EN LA REGIÓN PAMPEANA	668
Manenti, L. ^{1,2*} , García, F.O. ³ , Rubio, G. ^{1,2}	
FERTILIZACION NITROGENADA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO PAN EN EL SUR SANTA FE	673
Manilla, A.G. ^{1*} , F. Salvagioti ¹ ; D. Damianidis ¹	
INHIBICIÓN DE VOLATILIZACIÓN DE NITRÓGENO EN FERTILIZANTES UREICOS EN SUELOS DE MENDOZA CULTIVADOS CON AJO	674
Martinez L. E. ^{*1} , D. M. Lavanderos ² , M.G. Estrella ² , V. M. Lipinski ³ , S. B. Lanzavechia ² , M. Toribio ⁴ , F. Moriones ⁴	



EFFECTO DE LA MINERALIZACIÓN DE NITROGENO SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL FERTILIZANTE EN PAPA	675
Mateos Inchauspe, F. ^{1*} , C.M. Giletto ² , H.E. Echeverría ^{2,3} , N.I. Reussi Calvo ^{2,4}	
ESTIMACIÓN DEL NITRÓGENO DISPONIBLE EN CULTIVO DE PAPA A PARTIR DEL NITRÓGENO INCUBADO EN ANAEROBIOSIS	676
Mateos Inchauspe, F. ^{1*} , C.M. Giletto ² , H.E. Echeverría, N.I. ^{2,3} . Reussi Calvo ^{2,4}	
ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN DIFFERENT PHYTOPHYSIOGNOMIES OF CERRADO IN THE STATE OF GOIAS	677
MATOS, K.M.B. ^{1*} , Peixoto, J.C. ¹ , Lucas, L.S. ² , Neto, A.R. ² , Moura, J.B. ² , Santos, M.E.F. ² , Dias, T.V. ² , Barbosa, T.S. ² , Santos, L.B.M. ² , Santos, M.L.F. ²	
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAIZ CONTINUO SOBRE LA ACIDEZ DEL SUELO	678
Melchiori, R.J.M. ^{1*} , S.C. Appelhans ^{1,2,3} , L.E. Novelli ^{1,2,3} , P.A. Barbagelata ^{1,2}	
RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE LA SOJA Y GRADIENTES DE PH ALCALINO EN EL SUELO	679
E.E. Karst ¹ , S. C. Appelhans ² , D. J. Santos ³ y R. Melchiori ³	
EFEITO DE DIFERENTES DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE K NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E NOS TEORES DE K DO SOLO	685
Menegat, M.F. ^{1*} , G. Pesini ¹ , V.F. Costa ¹ , D.J. Eckert ¹	
APLICACIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIOTRANSFORMADOS SOBRE TRIGO EN UN AMBIENTE SEMIARIDO	686
Moisés, J. ^{1,2} , J.M. Martinez ^{1,2} , M.E. Duval ^{1,2} , F.M. Lopez ¹ , J.A. Galantini ³	
EVALUACIÓN DE FUENTES Y MOMENTOS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO EN SORGO GRANÍFERO	692
Molinari, S. ¹ , M.C. Ferrari ^{2,3,*} , J.A. Llovet ^{2,3} , L.A. Rivoltella ²	
ÍNDICE DE CARBONO Y RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO EN SUELOS BAJO DIFERENTES PASTURAS EN EL CHACO	699
Mónaco, I. P. ^{1*} , F.E. Céspedes Flores ^{1,2*} , J.A. Fernández ²	
ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO MÉDIO PARA ESTIMAR A CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DE ILEX PARAGUARIENSIS	700
Naibo, G. ^{1*} , G. Pesini ² , C. Chemin ² , D.L. Lucchesi ³ , J. Brilhante ⁴ , B. Lisboa ⁴ , L. Kayser ⁴ , J.M. Moura-Bueno ⁵ , T. Tiecher ⁶	
EVALUACIÓN DE EFLUENTE DE AGROINDUSTRIA DE MOLIENDA HÚMEDA DE MAÍZ COMO FERTILIZANTE	706
Nicolier, J.G. ¹ , M. Simonutti ^{1,2*} , D.E. Menapacce ¹ , M.E. Carrizo ¹ , M.J Masola ¹ & S. Imhoff ^{1,2}	
DISTRIBUCION ESPACIAL DE CULTIVOS EN UN GRADIENTE DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA UTIL	707
Nieto, M.V. ^{1*} , P. Baldassini ^{2,3} , R. Álvarez ^{1,4} , J.L. De Paepe ^{1,4}	



DINÁMICA DE NITRATOS Y N MINERALIZADO DEL SUELO A ESCALA DE SECUENCIAS DE CULTIVOS	708
Novelli, L.E. ^{1,2,3,*} , N.E. Maltese ^{1,2,3} , V.C. Gregorutti ^{1,2,3} , R.J.M. Melchiori ¹ , O.P. Caviglia ^{2,3}	
EFICIENCIA DE USO DEL N EN SECUENCIAS AGRÍCOLAS	709
Novelli, L.E. ^{1,2,3,*} , N.E. Maltese ^{1,2,3} , V.C. Gregorutti ^{1,2,3} , P.R. Ecclesia ¹ , S.C. Appelhans ^{1,2,3} , R.J.M. Melchiori ¹ , O.P. Caviglia ^{2,3}	
POTASIO EN CULTIVOS EXTENSIVOS DEL LITORAL ARGENTINO	710
Orcellet J. M. ^{1*} , C. Quintero ² , E. Figueroa ³ , M. F. González Sanjuan ⁴ , F.O. Garcia ⁵	
EFFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL UMBRAL DE SUFICIENCIA DE NITROGENO EN EL CULTIVO TRIGO	715
Orcellet J. M. ^{1*} , J.J. De Battista ¹ , M. Torre ² , N. Pelossi ³	
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN Y RENDIMIENTOS DE MAIZ: COMPARACIÓN ENTRE VANT Y OTRAS FUENTES	721
Oreiro, F.A. ¹ ; M.M. Zubillaga ^{2*} ; M.N. Pose ¹ ; M.E. Sanahuja ² ; R.I. Pueyo ¹	
EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y SU PASTOREO SOBRE LOS NIVELES DE N DE NITRATOS	726
Parra, B.J. ^{1*} , R. Marzari ^{1,2} , S. Perassi ¹ , F.S. Cabrera ¹ , M.D. Bongiovanni ^{1,2}	
RESPUESTA AL AGREGADO DE POTASIO Y ZINC EN TRIGO, SOJA Y MAÍZ EN ENTRE RÍOS	727
Pautasso, J.M. ^{1,2*} , P. A. Barbagelata ² , R.M. Melchiori ¹	
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN PASTURAS CONSOCIADAS	733
Pautasso, J.M. ^{1,2} ; P.A. Barbagelata ² , M. Giordano ² , Y. Peltzer ² , M. Cian y M. Lorenzón	
ANÁLISIS EXPLORATORIO DE PROPIEDADES BIOCONTROLADORAS Y PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL DE <i>PAENIBACILLUS POLYMYXA</i> INTA I-1	739
Piccinetti, C.F. ^{1,*} , D.H. Sauka ^{1,2}	
SELECCIÓN DE RIZOBIOS NODULANTES DE SOJA POR EFICIENCIA SIMBIÓTICA AISLADOS DE POTREROS PRODUCTIVOS DE ARGENTINA	740
Piccinetti, C.F. ^{1*} , Perticari, A. ²	
CALIBRACIÓN DE FÓSFORO OLSEN PARA MAIZ Y SOJA EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA-BOLIVIA	746
Reussi Calvo, N.I. ^{1,2*} , D. Cortez ³ , R. Trujillo ³ , A. Correndo ⁴ , W. Carciochi ^{1,2} , F.O. Garcia ^{1,5}	
NUTRICIÓN BALANCEADA PARA MAIZ Y SOJA EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA-BOLIVIA	751
Reussi Calvo, N.I. ^{1,2*} , D. Cortez ³ , R. Trujillo ³ , W. Carciochi ^{1,2} , F.O. Garcia ^{1,4}	
EVALUACIÓN DE UN DÍGERIDO PORCINO COMO FERTILIZANTE EN UN CULTIVO DE FRUTILLA BAJO INVERNACULO	757
Riera ¹ , N.; E. Rubio ² , P. Rizzo ³ , P. Bres ¹ , M. Karlanian ² , N. Ruiting ⁴ , Y. Long ⁴ , M. Beily ¹	



FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ SEMBRADO SOBRE DIFERENTES ANTECESORES	758
Robledo, G. E. ¹ , A. Sanzano ¹ , H. Rojas Quinteros ¹ , D. Gamboa ² , M. R. Devani ²	
PRODUCTIVIDAD DE LOS RECURSOS EN SECUENCIAS CON PREDOMINIO DE SOJA	764
Rodríguez, M.P. ^{1,2,*} , C. Crespo ^{1,2} , J.P. Martínez ¹ , H.R. Sainz Rozas ^{1,2} , W.D. Carciochi ^{1,2} , P.A. Barbieri ^{1,2}	
RENDIMIENTO, MATERIA SECA EN TUBÉRCULO Y EFICIENCIA DE USO DEL CALCIO DEL FERTILIZANTE EN PAPA	770
Rodríguez, S. ^{1*} , M. Kloster Erreguerrena ¹ , S.E. Silva ¹ , M.N. Cassino ¹ , N. Reussi Calvo ^{1,2} ; C.M. Giletto ¹	
ALTERNATIVAS DE MANEJO DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN CAÑAVERALES DE EDAD AVANZADA EN TUCUMÁN, ARGENTINA	776
Romero, J.I. ¹ ; E. Arroyo ¹ ; A. Peña Malavera ² ; H. Rojas Quinteros ¹ ; A. Sanzano ¹	
DIFERENCIAS EDÁFICAS Y FLORÍSTICAS EN DOS SITIOS CON DIFERENTE MANEJO EN UN SUELO HIDROHALOMÓRFICO	782
Rosa, M.J. ¹ , V.S. Marro ¹ , L.C. Bustos ¹ , T. Grosso ¹	
ANÁLISIS ACUMULADO DE APLICAR ESTRATEGIAS DE FERTILIZACION DE LARGO PLAZO EN CULTIVOS EXTENSIVOS	788
Rouillet, N. ¹ ; A. Grasso ¹ ; M. Diaz-Zorita ²	
EFFECTO DEL PH DEL SUSTRATO SOBRE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE CUATRO VARIEDADES ORNAMENTALES DE CALIBRACHOA	793
Rubio, E. ^{1*} , A. Bernardez ¹ , P.E. Leva ¹ , M.A. Karlanian ¹ , M. Di Filippo ¹	
FERTILIZACIÓN DE PETUNIA (<i>PETUNIA HYBRIDA</i>) Y CORAL (<i>SALVIA SPLENDENS</i>) CON DIGERIDO ANAERÓBICO PORCINO	794
Rubio, E. ^{1*} , M. E. Beily ² , P. E. Leva ¹ , M. A. Karlanian ¹ , P. Bres ² , N. Riera ²	
MODELO DE RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TRIGO	795
Parra, G. ^{1*} , M. Saks ^{2*} , H. Ramirez ² , D. Gómez ¹ , J. Urrutia ² , D. Regnicoli ¹ ; E. Cieri ¹ , J. Costanzi ¹ , G. Di Mauro ¹	
EL FÓSFORO COMO EVALUADOR DE SISTEMAS AGRONÓMICOS INTENSIVOS DE LARGO PLAZO PARA DIFERENTES ROTACIONES Y CULTIVOS DE SERVICIOS	799
Sagardoy L. ¹ , Boni Plaza, L. ^{1*} , Herrera Tobón A. ¹ , Semmartín M. ^{1,2} , Benedit B. ³ , Peper A. ³ y Cosentino D. ^{1,2}	
EVALUACIÓN DE UN ÍNDICE SATELITAL PARA ESTIMAR EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO A NIVEL REGIONAL	800
Schwint, E. ^{1*} , Dieguez, H.D. ^{2,3} , Staiano, L. ^{2,3} , Berhongaray, G. ⁴ , Baldassini, P. ^{2,3,5} , Paruelo, J. ^{2,3,5}	



CAPACIDAD FERTILIZANTE DE UN COMPOST PROVENIENTE DE CÁMARAS DE POLLO SOBRE UN CULTIVO DE FRUTILLA	801
Seimandi, G.M. ^{1*} , V. Ruiz ^{1,2} , J.G. Nicolier ² , S.C. Imhoff ^{1,2} , M.G. Derita ^{1,3}	
PRODUTIVIDADE DE MILHO COM USO DE FOSFATO NATURAL E CALCÁRIO APÓS DOIS ANOS DE IMPLANTAÇÃO DE PLANTIO DIRETO EM ARGISSOLO	802
Silva, J.J. ^{1*} , F.S. Carlos ² , F.C. Carmona ³ , R.J. Hammacher ⁴ , E.G.T. Souza ⁵ , A.P. Martins ⁶	
DIAGNÓSTICO DE ZINC EN PAPA: COMPARACIÓN DE PECÍOLO Y HOJA COMO MÉTODOS DE MONITOREO	806
Silva, S.E. ^{1*} , G. Carlón Guerra ¹ , C. Gugliotta ¹ , M.N. Cassino ¹ , S. Rodriguez ¹ , L. Esperón ¹ , S. Walter ² ; J.C. Lupani ³ ; C.M. Giletto ¹	
EVALUACIÓN DE NUEVO ABONO ORGÁNICO GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y EFLUENTE PORCINO	812
Simonutti, M. ^{1,2} , J.G. Nicolier ² , M. Aguilar ² , M.E. Carrizo ² , M.J. Masola ² , M.G. Derita ^{1,3} , G.M. Seimandi ^{1*} , S.C. Imhoff ^{1,2}	
CARACTERIZACIÓN DE TRES ENMIENDAS ORGÁNICAS GENERADAS A PARTIR DE MEZCLAS DE DESECHOS PECUARIOS Y VEGETALES	813
Simonutti, M. ^{1,2*} , J.G. Nicolier ² , G.M. Seimandi ¹ , S.C. Imhoff ^{1,2}	
RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ TEMPRANO EN UN HAPLUDOL TÍPICO DEL CHACO	814
Stahinger, N.I. ^{1*} , C.G. Ruggiero ² , M. Goujon ³ , D.A. Petelko ¹ , D.N. Poliszczuk ¹ , C.F. Landriel ¹ , D.A. Gisbert ¹ , G.R. Vallejos ¹ , H.C. Dalurzo ¹	
EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA AL SUELO EN CONDICIONES CONTROLADAS Y CAMPO	815
Takata, V. ^{1*} , G. Arrarte ¹ , A. del Pino ¹ , L. Rogel ¹	
EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BALANCEADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE FIBRA EN EL CULTIVO DE ALGODÓN	816
Tcach, N. ^{1*} , L. Klein ¹ , L. Verbeek ² , M. Saks ^{1*}	
MANEJO DE VICIA COMO CULTIVO DE COBERTURA Y SU EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO Y EL RENDIMIENTO EN GIRASOL	819
Tordó, A.L. ^{1,2*} , C. Crespo ^{1,2} , N. Wyngaard ¹ , H.R. Sainz Rozas ^{1,2} , W.D. Carciochi ^{1,2} , P.A. Barbieri ^{1,2}	
FACTORES DETERMINANTES DE LAS PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN EN MAÍZ	825
Toribio, M. ^{1*} , A. Correndo ⁴ , N.I. Reussi Calvo ^{2,3} ,	
SÍNTESIS ANÁLISIS SOBRE EL EFECTO DEL INHIBIDORES DE LA ACTIVIDAD UREASICA EN EL CULTIVO DE MAÍZ	830
Toribio M. ^{1*} , A. Correndo ⁴ , N.I. Reussi Calvo ^{2,3} ,	



APTITUD AGRONÓMICA DE LA ROCA FOSFÓRICA DE BAHIA INGLESA (CHILE) EN SUELOS ARGENTINOS	836
Torres Duggan, M. ¹ , M. Tysko ² , C. Quintero ³ , M. A. Zamero ³ y M. R. Befani ³	
FERTILIZACIÓN CON ROCA FOSFÓRICA DE BAHÍA INLGESA (CHILE) EN EL CULTRIVO DE SOJA EN LA PAMPA ONDULADA	842
TORRES DUGGAN, M. ¹ Y M. TYSKO ²	
PÉRDIDAS GASEOSAS DE NITRÓGENO SEGÚN FUENTE Y DOSIS DE FERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE MAÍZ	847
Tovar Hernández, S. ^{1*} , F. Salvagiotti ^{2,3} , W. Carciochi ^{1,2} , N. Lewczuck ^{1,2} , K. Hernandez ^{1,2} , M. Biassoni ^{2,3} , E. Kehoe ² , O. Avila ¹ , G. Garcia ^{1,2} , M. Toribio ⁴ , N. Wyngaard ^{1,2} , F. García ¹ , H. Sainz Rozas ^{1,2} , N. Reussi Calvo ^{1,2}	
RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE USO NITRÓGENO SEGÚN DOSIS Y FUENTE EN EL CULTIVO DE MAÍZ	853
Tovar Hernández, S. ^{1*} , F. Salvagiotti ³ , W. Carciochi ^{1,2} , N. Lewczuck ^{1,2} , K. Hernandez ^{1,2} , M. Biassoni ² , E. Kehoe ² , G. Garcia ^{1,2} , O. Avila ¹ , A. Lapaz ¹ , M. Toribio ⁴ , F. García ¹ , H. Sainz Rozas ^{1,3} , N. Reussi Calvo ^{1,2}	
RESIDUO AVIAR EN UNA SECUENCIA DE CULTIVOS: DOSIS, RENDIMIENTO Y EFECTOS EN EL SUELO	859
Tysko, M.B. ¹ , M.B. Rodriguez ² , F.H. Gutiérrez Boem ² .	
NUTRICIÓN BALANCEADA EN MAIZ: RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO	866
Vacca, S. ^{1,3*} , J. Di Matteos ^{1,3} , N Reussi Calvo ^{1,2}	
FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ PISINGALLO (ZEA MAYS L. VAR. EVERTA) EN EL SUDESTE BONAERENSE	871
Varela T ¹ , C. Crespo ¹ , D. Martinez ¹ , G. Lombardo ³ , M.P. Rodríguez ² , P.A. Barbieri ^{2,4}	
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CORRALES DE TAMBOS SOBRE LA CANTIDAD DE FÓSFORO DISPONIBLE	877
Walker, G.E. ² , J.G. Nicolier ² , M. Savino ³ , G. Benzi ³ , P. Ghiberto ^{1,2} , G. Berhongaray ^{1,2} , M. Simonutti ² , S. Imhoff ^{1,2}	
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS SEMILÍQUIDOS DE CERDOS SOBRE LA CANTIDAD DE FÓSFORO DISPONIBLE	878
Walker, G.E. ² , J.G. Nicolier ² , M. Savino ³ , G. Benzi ³ , P. Ghiberto ^{1,2} , G. Berhongaray ^{1,2} , A. M. Batista ² , S. Imhoff ^{1,2}	
CAMBIOS EN LA FERTILIDAD DEL SUELO ASOCIADOS A LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE Y LA TRANCISIÓN AGROECOLÓGICA	879
Wingeyer, A.B. ^{1,2*} , R.J. Crespo ^{1,3} , E.A. Gabioud ¹ , E. Behr ⁴ , M. Wilson ¹ , M.C. Sasal ¹ , M. Seehaus ¹ , M. Kahl ⁴ , N. Van Opstal ²	

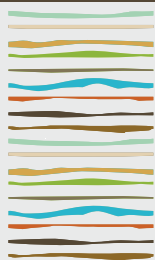


PÉRDIDAS DE NITRÓGENO DESDE SUELOS FERTILIZADOS CON UREA TRATADA CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACION	880
Wyngaard, N. ^{1,2*} , G. García ^{1,3} , C. Crespo ¹ , M. Toribio ⁴ , J.A. Romero ¹ , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} , W. Carciochi ^{1,2} , V. Aparicio ² , H.R. Sainz Rozas ^{1,2}	
DIAGNOSTICO DE FERTILIZACION FOSFORADA EN PASTURAS DE FESTUCA ALTA (<i>FESTUCA ARUNDINACEA SCHREB.</i>)	886
Wyngaard, N. ^{1,2*} , C. Crespo ^{1,2} , P.M. Errecart ² , P.L. Cicore ² , C.I. Borrajo ³ , F.E. Fernandez ⁴ , G.D. Berone ^{1,2} , N.I. Reussi Calvo ^{1,2} , H.R. Sainz Rozas ^{1,2} , M.A. Marino ¹	
QUALIDADE TECNOLÓGICA E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FONTES NITROGENADAS	892
Xavier, M.F.N. ^{1*} , R.A. Flores ² , R.T. do Carmo ¹ , N.P.R. Reges ¹ , M.L. Lima ³ e F.S.R. de Lima ¹	
CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E FISIOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FONTES NITROGENADAS	898
Xavier, M.F.N. ^{1*} , R.A. Flores ² , R.T. do Carmo ¹ , R.G. de Sousa ³ , M.L. Lima ⁴ e F.S.R. de Lima ¹	



Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal





VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESPUESTA DE CULTIVO DE MAÍZ A LA APLICACIÓN DE INSUMOS

A. Alesso^{1*}, N.R. Peralta², N.F. Martín³

¹ ICiAgro Litoral (UNL-CONICET);

² Asesor particular;

³ Dep. of Crop Sciences, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

* Kreder 2805, (3080), Esperanza, Prov. de Santa Fe, calesso@fca.unl.edu.ar

RESUMEN

Los datos de alta resolución espacial son cada vez más abundantes y menos costosos gracias a la adopción por parte de los agricultores de sensores de cultivo y suelo. Aunque existen numerosos estudios describiendo las relaciones sitio-específicas entre atributos de suelo y paisaje y rendimiento, pocos estudios han abordado la variabilidad espacial de la respuesta de los cultivos a la aplicación de insumos y su relación con dichos atributos. Las funciones de respuesta con coeficientes espacialmente variables permite cuantificar la variabilidad espacial de la respuesta de los cultivos dentro del lote a la aplicación de insumos. El objetivo fue detectar la variación espacial de la respuesta del rendimiento de maíz a la aplicación variable de N y densidad de siembra, y su relación con los atributos de suelo y terreno. Se utilizaron datos de ensayos a escala de lote provenientes del proyecto Data-Intensive Farm Management (DIFM) liderado por la Universidad de Illinois (USA). Datos de rendimiento y dosis de N y densidad de siembra fueron procesados usando el procedimiento de regresión geográficamente ponderada (GWR) para obtener funciones de respuesta con coeficientes espacialmente variables. Cada lote fue dividido en zonas de respuesta positiva, negativa o no respuesta en función de los coeficientes obtenidos. Datos de conductividad eléctrica aparente del suelo y atributos de terreno (elevación, pendiente, curvatura, índices topográficos) fueron alineados espacialmente a dichas zonas. La relación entre dichos atributos y el tipo de respuesta fue evaluada mediante métodos no paramétricos basados en árboles. La importancia relativa de los factores fue similar en ambos experimentos. El impacto más grande lo tuvo la variación entre años lo cual se reflejó en bajas tasa de concordancia entre ensayos consecutivos. Si bien esta metodología permite reconocer la variabilidad de respuesta dentro del lote, los resultados sugieren la dificultad para extrapolar el comportamiento entre campañas.

Palabras clave: respuesta sitio-específica, ensayos a campo, agricultura de precisión.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión (AP) se fundamenta en existencia de suficiente variación espacial de la respuesta de los cultivos a la aplicación de insumos controlables (i.e. semilla, fertilizantes, etc) (Pringle et al., 2003). Comúnmente esta premisa se da sentada y la relación o respuesta del rendimiento del cultivo a la aplicación de insumos se infiere a partir de la caracterización espacial de los factores que modulan el desarrollo del cultivo o bien extrapolando relaciones identificadas en otros ambientes o experimentos controlados (Nawar et al., 2017). Hoy en día la agricultura digital brinda la oportunidad de realizar experimentos a escala de lote para cuantificar la magnitud y variabilidad espacial de dicha respuesta dentro del lote (Alesso et al., 2021). Los datos de alta resolución espacial son cada vez más abundantes y menos costosos gracias al desarrollo de sensores de cultivo y suelo. No obstante, el análisis de dichos experimentos sigue siendo una etapa crítica que requiere de la aplicación de técnicas analíticas de cierta complejidad para obtener información que ayude a la toma de decisiones.



Recientemente se ha propuesto la aplicación de modelos de regresión geográficamente ponderados (GWR) (Fotheringham et al., 2002) que, mediante el ajuste local de los coeficientes, permiten modelar relaciones no estacionarias entre la variable respuesta (i.e. rendimiento) y los factores o covariables que la determinan (i.e. insumos) (Trevisan et al., 2020). Así, en vez obtener un modelo global para todo el área de estudio, se estiman modelos locales que permiten describir la variación espacial entre las variables de interés. Sin embargo, no existen estudios que aborden la relación entre estos patrones de respuesta y atributos de suelo y terreno que la modulan.

Los objetivos de este estudio fueron (1) detectar la variabilidad espacial intra lote de la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de N y densidad de siembra usando datos de ensayos a escala de lote y la técnica GWR; (2) evaluar la estabilidad espacial de la dirección de las respuestas a través de años consecutivos; y (3) caracterizar la variabilidad espacial de dicha respuesta mediante covariables de suelo y terreno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron datos de ensayos a escala de lote llevados a cabo entre 2016 y 2021 en el marco del proyecto DIFM liderado por la Universidad de Illinois (Bullock et al. 2019). Se seleccionaron los ensayos consecutivos realizados sobre maíz donde se evaluaron dosis de N y densidades de siembra, i.e. maíz 2016 y maíz 2018.

Los ensayos se condujeron mayormente sobre argiudoles del centro de Illinois utilizando diseños aleatorizados en tablero de ajedrez con réplicas abarcando la totalidad del lote (Tabla 1). Las dimensiones de las parcelas fueron de 18 a 81 m de longitud y entre 6 y 18 m de ancho. Las dimensiones fueron elegidas para permitir la transición entre dosis y ser compatibles con el ancho de la maquinaria. Los tratamientos consistieron en dosis de N (NR) y densidad de siembra (SR). En el primer caso la fuente más utilizada fue UAN con 4-6 dosis que variaron entre 25 a 300 kg N/ha. En el caso de SR, se ensayaron 4-6 densidades entre 50 y 100 mil semillas/ha.

Lote	Area (ha)	Año	Parcelas		Tratamientos NR		Tratamientos SR	
			largo	ancho	niveles	rango (kg/ha)	niveles	rango (1000 sem/ha)
F1	17.1	2016	81	12	4	156.9-224.2	4	66.72-96.37
F1		2018	82	6	6	156.9-224.2	5	66.72-88.96
F2	31.8	2016	80	12	4	156.9-224.2	4	66.72-96.37
F2		2018	80	6	6	204.3-334.8	5	66.72-96.37
F3	30.2	2017	18	6	7	104.2-171.5	4	66.72-96.37
F3		2019	61	12	6	25.8-205.1	6	61.78-106.26
F4	39.2	2019	85	12	7	112.1-246.6	7	49.42-98.84
F4		2021	85	12	5	112.1-275.7	5	49.42-98.84
F5	69.7	2017	75	18	4	128.3-195.6	4	76.6-96.37
F5		2019	64	18	6	75.7-243.8	6	59.31-103.78
F6	63.7	2016	82	12	4	179.3-246.6	4	69.19-98.84
F6		2018	76	12	5	179.3-252.2	5	66.72-91.43
F7	32.3	2017	67	18	N/D	N/D	N/D	N/D
F7		2019	64	18	6	11.2-173.7	6	59.31-98.84

Los tratamientos se aplicaron con equipos dotados con tecnología de aplicación variable y se registraron las dosis efectivamente aplicadas. Los datos de rendimiento se obtuvieron utilizando cosechadoras equipadas con sistema de mapeo de rendimiento. Para entender y explicar la variabilidad espacial de las respuestas se recolectaron datos de suelo y terreno. Se consultaron los mapas de suelo en semi-detalle del Servicio de



suelos (SSURGO). Previo a la siembra, se recolectaron datos de conductividad eléctrica de suelo aparente utilizando el sensor de inducción EM38 (Geonics Ltd., CA). Para cada lote se derivaron atributos de terreno a partir del modelo de elevación de terreno (DEM) obtenido de la misión Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Se calculó la pendiente (Horn, 1981) e índices topográficos de posición (TPI) y rugosidad (TRI) (Wilson et al. 2007).

Debido a que los datos se recolectaron en distintos soportes (raster, puntos, polígonos) y escalas, se realizó un procesamiento y remuestreo. Se tomó como base mapa de polígonos representando las unidades experimentales las cuales fueron divididas en 6-8 subunidades menores siendo la escala final de remuestreo. Los datos de rendimientos fueron filtrados para remover valores extremos globales y espaciales, considerando valores atípicos a aquellos a más de 3 rangos intercuartílicos respecto a los cuartiles 1 y 3 respectivamente. Finalmente, para cada combinación lote-año se obtuvo un mapa de polígonos donde cada unidad fue asociada con un dato promedio de rendimiento, dosis aplicada y valor de las covariables. Utilizando los datos de rendimiento y tratamientos se ajustaron modelos GWR (Fotheringham et al. 2002):

$$y_i(s_i) = \beta_0(s_i) + \beta_1(s_i)X_1 + \beta_2(s_i)X_2 + e_i \quad [2]$$

donde: y_i es el rendimiento en el sitio definido por las coordenadas x e y ; e son las dosis de nitrógeno (NR) y densidad de siembra (SR); β_1 y β_2 son los coeficientes de regresión asociados a los tratamientos en cada sitio; y e_i es el término de error que se asume. Los coeficientes se estimaron mediante mínimos cuadrados ponderados utilizando datos del vecindario definido según una matriz de pesos obtenida aplicando una función de densidad exponencial con ancho de banda adaptativo:

$$\hat{\beta}(s_i) = (X^T W(s_i) X)^{-1} W(s_i) y \quad [2]$$

donde: y representa el vector de datos de rendimiento, X una matriz de predictores, en este caso los tratamientos NR y SR, $\hat{\beta}$ representa el vector de coeficientes estimados para el sitio, y W una matriz $n \times n$ diagonal con los pesos para cada punto observado en relación a s_i . Debido al impacto del número de vecinos en las estimaciones, éste se obtuvo por validación cruzada.

Para delimitar zonas con distinto tipo de respuesta, los mapas de coeficientes relacionados a los tratamientos fueron clasificados según su dirección y significancia. De este modo se delimitaron zonas con coeficientes significativamente mayores a 0 (respuesta positiva), menores a 0 (respuesta negativa) y no distintos de 0 (respuesta nula). La consistencia de los mapas así clasificados en años consecutivos se evaluó mediante el coeficiente kappa de Cohen (Cohen, 1960).

Finalmente, los patrones de respuesta se relacionaron con los atributos de suelo y terreno ajustando un modelo no paramétrico basado en árboles (*random forests*) y análisis de importancia asociado (Breiman, 2001).

Todo el procesamiento y análisis de datos se realizó con el software estadístico R (R Core Team, 2022) y paquetes *ranger* (Wright y Ziegler, 2017), *sf* (Pebesma, 2018), *tidyverse* (Wickham, 2017), *tmap* (Tenekes, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla se resumen los resultados del análisis GWR realizado sobre los datos provenientes de los ensayos de respuesta a dosis variable de nitrógeno (NR) y densidad de siembra (SR). En general los modelos con coeficientes variables explicaron entre el 30 y 60% de variación de los rendimientos, dependiendo del año y el campo. En todos los casos, el modelo no estacionario superó al modelo global lo cual indica que la respuesta del cultivo a los insumos no es homogénea dentro del área de estudio y muestra evidencia a favor de la aplicación del concepto de AP. Los valores estimados para las pendientes para ambos insumos variaron considerablemente.



Tabla 1: Estadísticas de resumen y bondad de ajuste de los modelos GWR ajustados a los ensayos de respuesta a Nitrógeno (NR) y densidad de siembra (SR).

Lote	Año	NN	R2	AICc	AIC	NR (kg / kg N)		SR (kg / 1000 sem.)	
			gwr	gwr	global	Q1	Q3	Q1	Q3
F1	2016	18	0.59	15767	16525	5.8	13.7	-0.5	42.8
F1	2018	19	0.55	29858	31152	-2.4	15.6	-3.6	42.4
F2	2016	16	0.61	15223	15984	-0.3	13.0	-1.2	42.9
F2	2018	27	0.43	42425	43714	0.7	11.6	-4.0	58.4
F3	2017	19	0.42	28792	29305	32.4	45.4	-26.0	7.5
F3	2019	19	0.6	27233	28025	8.5	11.4	-12.7	-4.3
F4	2019	20	0.54	38236	39819	4.0	14.5	-19.1	-1.4
F4	2021	18	0.38	39910	40974	-1.5	3.4	-4.2	10.5
F5	2017	16	0.57	42441	44718	-0.8	3.7	-8.3	4.3
F5	2019	17	0.57	50573	52261	2.3	4.9	13.2	20.3
F6	2016	18	0.35	32124	32967	-0.3	3.3	-8.8	-0.7
F6	2018	18	0.53	25908	27079	0.3	5.0	5.4	21.3
F7	2017	19	0.3	8763	8856	3.2	9.3	31.2	43.7
F7	2019	21	0.54	26424	27219	7.8	23.8	17.4	34.7

NN = número de vecinos incluidos en el vecindario para el ajuste local; R2 = coeficiente de determinación promedio de los modelos locales; AIC = Akaike information criterion; NR y SR cuartiles expresados en kg de grano por kg de N aplicado y kg de grano por 1000 semillas, respectivamente.

En ambos casos, el modelo basado en árboles mostró un error de clasificación estimado fuera de la muestra de aproximadamente 20%. El análisis de importancia de las variables incluidas en el modelo fue consistente para ambos tratamientos (Figura 1). En primer lugar, la variación entre años fue el factor de mayor importancia (entre 40 y 50%) en el tipo de respuesta obtenido para cada sitio. Esto concuerda con los bajos coeficientes de concordancia observados para cada lote entre campañas consecutivas (Figura 2). Para ambos insumos es esperable una fuerte interacción con las condiciones climáticas de cada campaña, principalmente la provisión de agua durante el ciclo. En segundo lugar de importancia se encontró la heterogeneidad del suelo, caracterizada por las variaciones de conductividad eléctrica tanto superficial como en profundidad y el tipo de suelo. En tercer lugar, con menores niveles de importancia se encontraron los atributos de terreno, siendo la pendiente y elevación los de mayor importancia en este grupo.

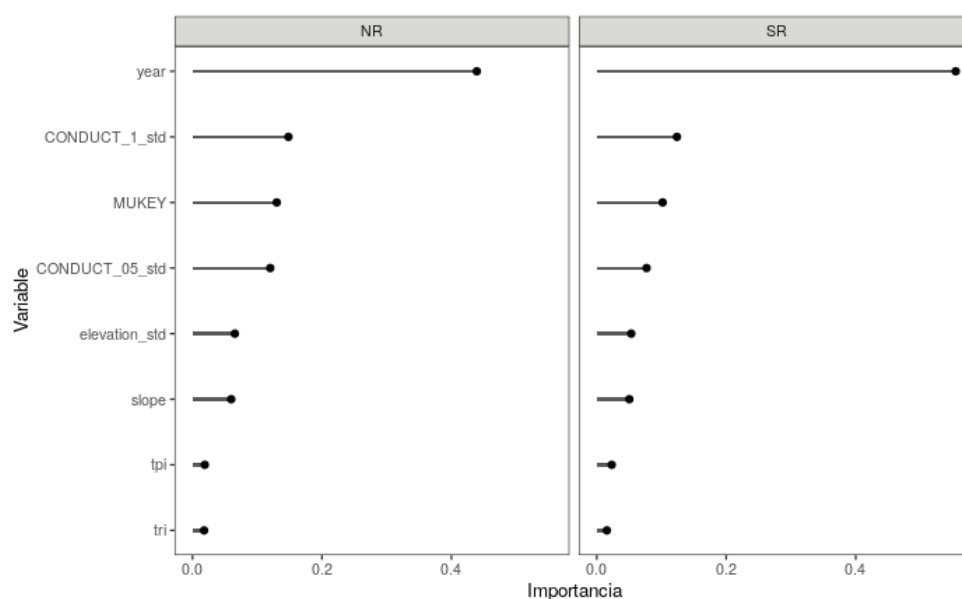


Figura 1: Estadísticas de resumen y bondad de ajuste de los modelos GWR ajustados a los ensayos de respuesta a Nitrógeno y densidad de siembra.

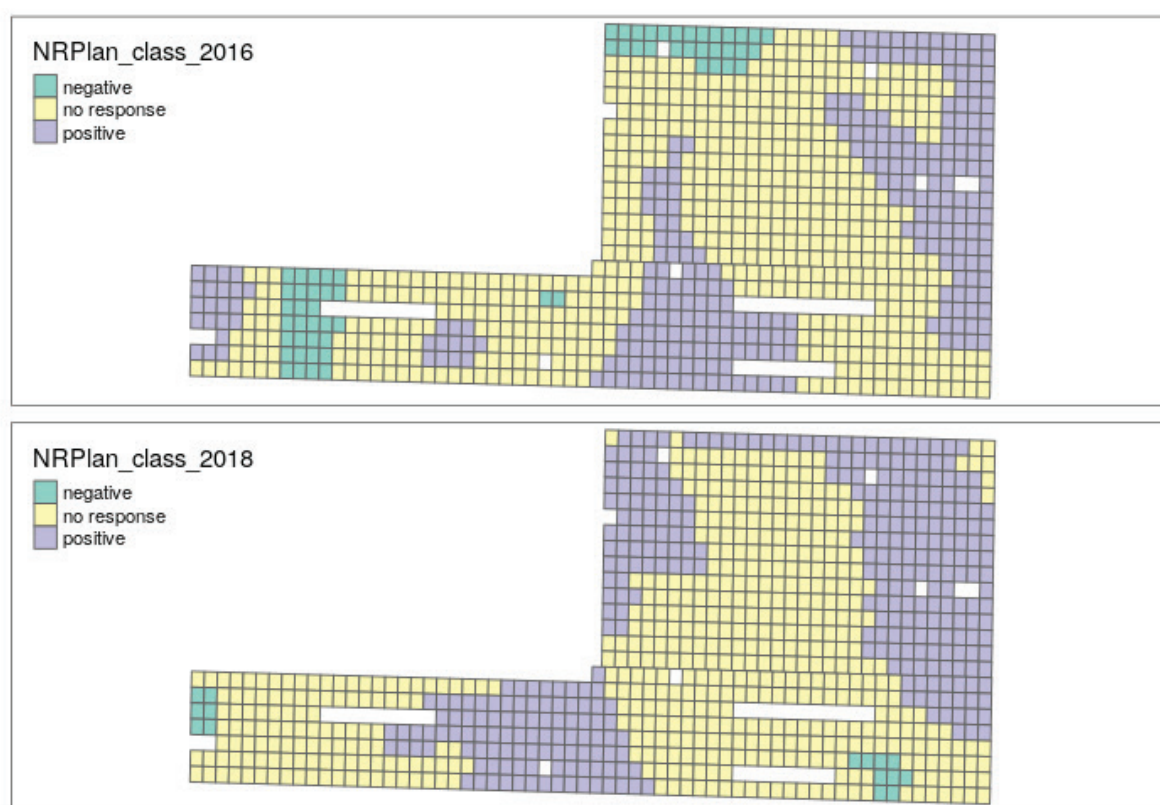


Figura 2: Ejemplo de consistencia entre las zonas de respuesta (negativa, sin respuesta y positiva) a NR entre dos campañas consecutivas (Lote 2) ($\kappa = 0.09$).

Por otro lado, en la mayoría de los campos predominaron las zonas de no respuesta donde los valores de pendiente estimados para NR y SR no difirieron estadísticamente de 0. Estas zonas representan el 50-60% de la superficie de los lotes. Si bien en algunos experimentos se incluyeron dosis extremas, en la mayoría de los casos las dosis ensayadas corresponden a un 20% en torno a la dosis utilizada por los productores. Esto podría explicar la incapacidad del modelo de regresión para detectar respuestas. No obstante, los patrones

espaciales de dichas zonas no fueron consistentes: zonas con respuesta positiva en años anteriores no manifestaron respuesta en la campaña siguiente y viceversa, e incluso se observaron zonas con respuesta invertida entre campañas.

CONCLUSIONES

Los resultados en estos ensayos indicaron el alto efecto de las condiciones ambientales en la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de N y variación de densidad de siembra. Esto se reflejó en bajas tasas de concordancia entre ensayos consecutivos. Si bien esta metodología permite reconocer la variabilidad de respuesta dentro del lote, la baja tasa de concordancia sugiere la dificultad para extrapolar el comportamiento entre campañas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el soporte de USDA-NRCS “Improving the Economic and Ecological Sustainability of US Crop Production through On-Farm Experimentation.” USDA-NRCS Conservation Innovation Grant, On-farm Trials program, Award Number NR213A7500013G021.

BIBLIOGRAFÍA

Breiman, L. 2001. Random forests. *Mach Learn*, 45:5-32.

Bullock, DS; M Boerngen; H Tao; B Maxwell; JD Luck; L Shiratsuchi; L Puntel & NF Martin. 2019. The Data-Intensive Farm Management Project: Changing Agronomic Research Through On-Farm Precision Experimentation. *Agronomy Journal* 111(6):2736-2746.

Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas.* 20:37–46.

Fotheringham, AS; C Brunsdon & M Charlton. 2002. Geographically weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships. Wiley. Chichester, England. 283 pp.

Horn, BKP. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE* 69(1):14-47.

Nawar, S; R Corstanje; G Halcro; D Mulla & AM Mouazen. 2017. Chapter Four - Delineation of Soil Management Zones for Variable-Rate Fertilization: A Review. Pp. 175-245. En: Sparks, DL (eds.). *Advances in Agronomy*. Vol. 143. Academic Press.

Pringle, MJ; AB McBratney; BM Whelan & JA Taylor. 2003. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data. *Agricultural Systems* 76(1):273-292.

R Core Team. 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing.

Tennekes, M. 2018. tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84(6), 1-39

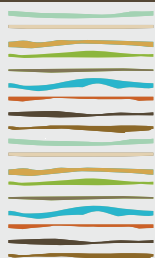
Trevisan, RG; DS Bullock & NF Martin. 2020. Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. *Precision Agric* 22, 342–363 .

Wilson, MFJ; B O'Connell; C Brown; JC Guinan & AJ Grehan. 2007. Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope. *Marine Geodesy* 30(1-2):3-35.

Wright, MN & A Ziegler. 2017. ranger : A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R. *J. Stat. Soft.* 77(1): 1–17.

Wickham H, et al. 2019. “Welcome to the tidyverse.” *Journal of Open Source Software*, 4 (43),1686.





EFFECTO ACUMULADO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA SOBRE DISTINTAS FRACCIONES DE FÓSFORO EN EL SUELO

Alvarez, M.L.^{1*}, C. Alvarez.², M. Saks³, N. Aliaga, N.¹, N. Gutiérrez¹, E. Noellemeyer¹

¹ Facultad de Agronomía, UNLPam, Ruta Nacional 35, km 334, Prov. de La Pampa;

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria;

³ Bunge Argentina S.A.

* lucilamalvarez@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

El P aportado a través de fertilizantes puede fijarse en el suelo, resultando en bajas eficiencias y poca respuesta en rendimiento, ya que las formas lábiles con el tiempo pueden volverse más estables, quedando poco disponibles para el cultivo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto acumulado de cinco años de fertilización fosforada a distintas dosis sobre fracciones lábiles (P- MIA y P- NaHCO₃) y no lábiles de P (P-HCl), el contenido de carbono orgánico y el rendimiento de trigo en la campaña 2020. El ensayo se llevó a cabo en un campo cercano a Eduardo Castex, La Pampa, realizándose tres tratamientos con distintas dosis de P utilizando fosfato monoamónico (MAP): Testigo (P0), 60 kg ha⁻¹ de MAP (P60) y 120 kg ha⁻¹ de MAP (P120). En los tratamientos fertilizados se observaron incrementos en los rendimientos, en carbono orgánico y en el fósforo extractable por Bray Kurtz N°1. Las tres fracciones de fósforo se incrementaron con la dosis de P, aumentando en mayor proporción P- MIA y P- NaHCO₃ respecto a P-HCl. El efecto acumulado de la fertilización mejoró la disponibilidad de fósforo y las condiciones que favorecen la misma a través del incremento en el carbono orgánico, lo cual contribuiría a mejorar la condición física del suelo.

Palabras clave: región semiárida, carbono orgánico, trigo (*Triticum aestivum* L.)

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna es altamente dependiente de entradas al sistema de fertilizante fosforado como insumo, para reponer el fósforo perdido del suelo por la cosecha de cultivos y mantener altos rendimientos. En los últimos años se ha dado una disminución en los niveles de P disponible (Sainz Rozas et al., 2019) debido a la intensificación agrícola, el aumento de rendimientos y en muchos casos el bajo nivel de reposición mediante fertilización (Slazak et al., 2014). grassland, and arable lands have been well established. Nevertheless, most of the reports compare soil properties under long-term sites. Thus, there exists little information on the effect of the conversion of silvopasture to arable or grassland use on soil P pools. The objective of the study was to determine the impact of converting silvopasture system (SP. Los compuestos solubles de P presentan alta reactividad y baja solubilidad. Especialmente en suelos ácidos, calcáreos y alcalinos la disponibilidad de P es limitante (Daroub et al., 2003). La fertilidad fosforada y la disponibilidad de P para las plantas puede verse reflejada en respuestas en la calidad y el rendimiento del cultivo, mejorando la absorción de otros nutrientes, y contribuyendo a la tolerancia a sequía (Rubio et al., 2012; Suñer and Galantini, 2012). Sin embargo, los resultados de varios estudios indicarían que parte de los aportes de P-fertilizante se han acumulado en los suelos (Renneson et al., 2015; Wang et al., 2015). DPS is used to evaluate the risk of P loss and surface water eutrophication. This study investigated DPS measurement and prediction in neutral loamy soils from Wallonia, Belgium. A total of 57 agricultural topsoil samples subject to diverse P management were evaluated. No satisfactory relationship could be found between PSC determined by a one-point short-term isotherm in the laboratory and the sum of aluminium and iron extracted by oxalate (Alox +Feox, sugiriendo una baja eficiencia en el uso de este fertilizante y poca respuesta en términos de rendimiento por parte de los cultivos (Roberts



and Johnston, 2015). Además, con el tiempo, incluso las formas más lábiles de P maduran a formas menos disponibles, especialmente en suelos que contienen altas proporciones de Ca (Jalali and Ranjbar, 2010), como pueden ser los suelos de la subregión de Planicie con tosca de la Región semiárida central. El manejo del suelo y la fuente de fertilización utilizada inciden sobre la partición del P en sus distintas fracciones (Zamuner et al., 2012), y afectan su disponibilidad. El fraccionamiento secuencial de Hedley constituye una herramienta útil para investigar la dinámica del P en agroecosistemas (Negassa and Leinweber, 2009; Yang and Post, 2011) the objectives of this review were to compile and systematically evaluate these data. The data generated over many years were grouped into temperate, and subtropical and tropical soils of different land use and duration of soil-management studies. In natural ecosystems, vegetation types and composition and percent of vegetation covers substantially affected all P fractions with pronounced impacts on the labile and moderately labile P. In short-term studies (≤ 10 y. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto acumulado de seis años de fertilización fosforada a distintas dosis sobre fracciones lábiles y no lábiles de P el contenido de carbono orgánico del suelo y el rendimiento de un cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras compuestas por cinco sub- muestras de 0 a 10 cm de suelo en un ensayo de fertilización fosforada con cinco años de efecto acumulado. En el mismo se realizaron tres tratamientos donde se aplicaron dosis de P como fosfato monoamónico (MAP) de 0 kg ha⁻¹ (P0), 60 kg ha⁻¹ de MAP (P60) y 120 kg ha⁻¹ de MAP (P120), con un diseño en franjas con dos repeticiones. En todos los tratamientos se aplicó 140 kg de N/ha + 26 kg de S/ha bajo solución de UAN + Tiosulfato de Amonio. La rotación de cultivos agrícolas fue maíz- soja- maíz-soja-trigo-trigo, aplicando los tratamientos mencionados en cada campaña de siembra. El ensayo se llevó adelante en un campo ubicado en cercanías a E. Castex, Provincia de La Pampa (36°02'22.0" S; 64°11'09.9" W). Se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) mediante la técnica de Walkley y Black, textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, se midió potenciométricamente el pH en una relación suelo: agua de 1:2,5 y P extractable mediante el método de Bray- Kurtz N°1. Por medio del método secuencial de Hedley se determinaron las siguientes fracciones de P: P extraído con membrana de intercambio aniónico (P-MIA), por agitación con membrana de intercambio aniónico durante 18 hs; P consistente con formas lábiles (P- NaHCO₃) mediante agitación por 18 hs con una solución de NaHCO₃ 0,5 M (pH: 8,5); y P consistente con formas ligadas a Ca (P- H-Cl) mediante agitación por 18 h con una solución de HCl 1M (Tiessen and Moir, 2006) "type": "chapter", "uris": ["http://www.mendeley.com/documents/?uuiid=-183fa99f-8e31-48b1-ab21-0e37360be4f1"], "mendeley": {"formattedCitation": "(Tiessen and Moir, 2006. Posteriormente se determinó la concentración de P de los extractos por la colorimetría de Murphy y Riley y lectura en espectrofotómetro. Se determinó el rendimiento en grano del cultivo de trigo en la campaña 2020, el peso de mil granos y el número de granos por hectárea. Se calculó la EUA (eficiencia en el uso del agua) mediante la siguiente fórmula: $EUA = \text{kg grano ha}^{-1} / \Delta H + PP$, donde ΔH es la diferencia entre humedad edáfica inicial y final y PP son las precipitaciones caídas durante el periodo del cultivo. Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013), y se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey, análisis de correlación mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Se utilizó el modelo lineal- plateau para relacionar el rendimiento con el P extractable por Bray- Kurtz N°1 y con las distintas fracciones de P.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo presentó una textura franco-arenosa con un contenido medio de 755 g kg⁻¹ de arena, 142 g kg⁻¹ de limo y 103 g kg⁻¹ de arcilla y el pH no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con una media de 6,9. Los valores de P extraído mediante el método de Bray- Kurtz N°1 se incrementaron significativamente ($p < 0,05$) con la dosis de fertilizante. El tratamiento P0 presentó un contenido de 6,4 mg kg⁻¹, 17,1 mg kg⁻¹ con la dosis de P60 y 68,4 mg kg⁻¹ con la dosis de P120. Con el incremento en la dosis de fertilizante se observó un aumento en las tres fracciones de P analizadas (Figura 1). El P-MIA en P0 fue de 3,13 mg kg⁻¹, 8,86 mg kg⁻¹ para el tratamiento P60 y 24,74 mg kg⁻¹ en el tratamiento P120. En cuanto al P-NaHCO₃ la media fue de 5,79 mg kg⁻¹ para P0, de 13,94 mg kg⁻¹ en el tratamiento P60 y de 25,96 mg kg⁻¹ para P120. Para el P-HCl se observó que la media en P0 fue de 186,75 mg kg⁻¹, para una dosis de 60 kg, la media fue de 207,92 mg kg⁻¹ y de 247,42 mg kg⁻¹ para el tratamiento de 120 kg de fosfato mono amónico. Este incremento se considera como tal, tomando como referencia los valores observados en el testigo sin aplicación de fertilizante. Sin



embargo, en el testigo se ha dado además una disminución del nivel de P en el suelo ya que los cultivos han extraído nutrientes que no han sido repuestos al suelo. Si bien con el incremento en la dosis de P todas las fracciones aumentaron, también se observó un incremento en la relación entre las fracciones de mayor disponibilidad y el P- HCl ($P\text{-MIA} + P\text{-NaHCO}_3$: P-HCl). En el tratamiento P0 esta relación fue de 4,8 aumentando significativamente ($p < 0,05$) a 11,0 y 20,5 en P60 y P120, respectivamente, indicando que las formas disponibles se incrementaron en mayor proporción que formas menos disponibles relacionadas al Ca (P-HCl). Otros autores también han observado incrementos en todas las fracciones de P y en general una mejora en la fertilidad fosforada en ensayos de larga duración, sobre todo en los estratos superficiales (Milić et al., 2019), hallando además que en aplicaciones conjuntas de fertilizante mineral con materia orgánica, la proporción de P-Ca acumulado en el suelo disminuye. Esto refleja la importancia de la materia orgánica en la dinámica del P y en la solubilidad de los compuestos más estables, lo cual coincide con varios estudios donde se confirma el efecto positivo de los ácidos orgánicos sobre la solubilidad y disponibilidad de P (Mihoub et al., 2017; Moradi et al., 2014; Taghipour y Jalali, 2012; von Wandruszka, 2006; Wang et al., 2015; Yang et al., 2019) citric and oxalic acid (at the rate of 1.0 mM kg⁻¹ soil. En este trabajo se observó un mayor contenido de CO en los tratamientos fertilizados, los cuales presentaron 17,0 g kg⁻¹ (P120) y 17,5 g kg⁻¹ (P60), mientras que en P0 el contenido de carbono orgánico fue de 15,0 g kg⁻¹ ($p < 0,10$). De esta manera podría inferirse que este incremento en CO, debido al mayor aporte de biomasa por los mayores rendimientos a lo largo de los años de duración del ensayo, también podría haber causado beneficios en cuanto a la disponibilidad de P y su relación con las formas más estables.

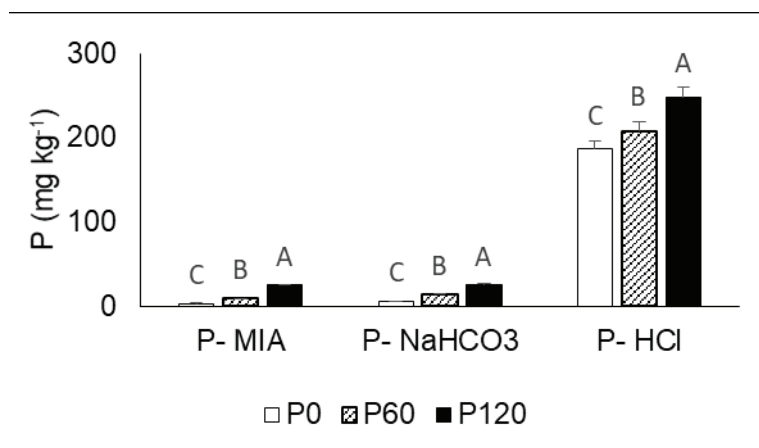


Figura 1. Contenido en mg kg⁻¹ de P- MIA, P- NaHCO₃ lábil, P- HCl en los tratamientos sin agregado de fertilizante (P0), con 60 kg ha⁻¹ de MAP (P60) y con 120 kg ha⁻¹ de MAP (P120). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

El rendimiento en grano de trigo presentó una respuesta significativa ($p < 0,05$) a la fertilización, con un incremento respecto a P0 de 124% en P60 y de 145% en P120, sin encontrarse diferencias significativas entre estas dosis. El número de granos siguió la misma tendencia, mientras que para el peso de mil granos sólo se diferenció entre P120 y P0. La EUA en los tratamientos fertilizados se incrementó significativamente respecto a P0, nuevamente sin encontrarse diferencias significativas entre las dos dosis (Tabla 1). Esto remarca la importancia de realizar un manejo correcto y sustentable de la fertilidad, sobre todo en regiones semiáridas donde la disponibilidad hídrica suele ser limitada. Por otro lado, se ajustó un modelo lineal- plateau para los rendimientos relativos y las concentraciones de P determinadas por el método Bray- Kurtz N°1 y las fracciones que representan formas de mayor disponibilidad como P- MIA y el P- NaHCO₃ (Figura 2). En los tres casos se hallaron buenos ajustes con este modelo obteniéndose valores de R² altos, sobre todo con el P solución, indicando que estos tres parámetros que se encuentran altamente correlacionados entre sí, pueden explicar la variabilidad en el rendimiento. Sucunza et al., (2018) under similar field conditions, the P critical values for soybean, maize and wheat; and ii observaron que después de 14 años de fertilización fosforada con balance positivo (tasa promedio anual de 37 kg ha⁻¹ de P) los niveles de P de los suelos excedían el valor crítico, el cual situaron en 19 mg kg⁻¹ de P Bray- Kurtz N° 1 para el cultivo de trigo. En el presente trabajo, con dosis más altas de P y menor tiempo de efecto acumulado se observó la misma tendencia, incluso el rendimiento máximo se alcanzó con un nivel de P similar al hallado por estos autores (20,4 mg kg⁻¹ de P Bray- Kurtz N°

1). Esto explica la respuesta en rendimiento en los tratamientos fertilizados respecto al testigo, y no entre las dos dosis de P- fertilizante, ya que en ambas se excede el nivel crítico de P y el rendimiento queda limitado por otros factores que no fueron estudiados en este trabajo.

Tabla 1. Rendimiento en grano de trigo (kg ha^{-1}) y eficiencia en el uso de agua (EUA) en los tratamientos sin agregado de P (P0), con 60 kg ha^{-1} de MAP (P60) y con 120 kg ha^{-1} de MAP (P120).

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	EUA ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
P0	1190 B	3,8 B
P60	2662 A	8,6 A
P120	2920 A	9,4 A

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

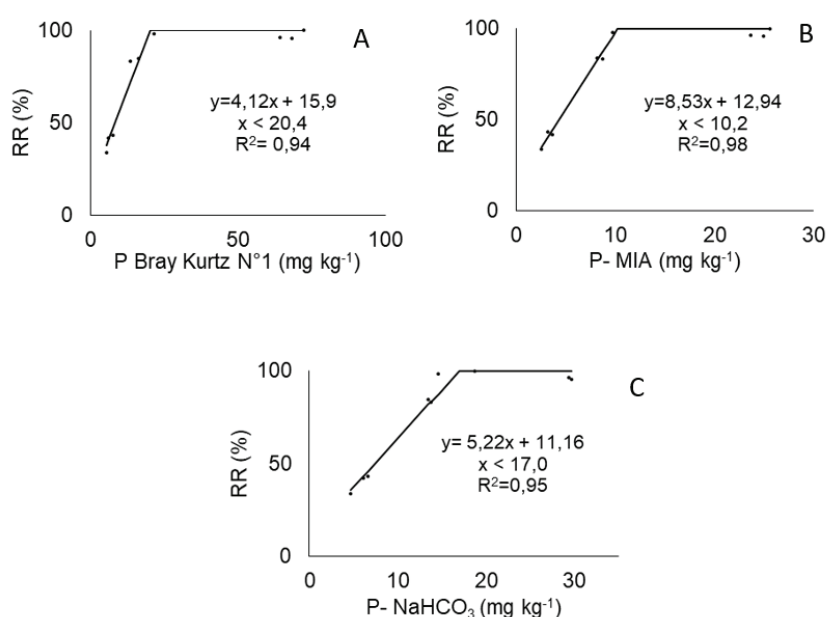


Figura 2. Modelo lineal- plateau para el rendimiento relativo (RR) en función de la concentración de P Bray Kurtz N°1 (A), P- MIA (B) y P- NaHCO_3 (C).

CONCLUSIONES

Mejorar la fertilidad fosforada del suelo traería beneficios no solamente en el rendimiento de los cultivos, sino también en el incremento de carbono orgánico, lo cual favorece además las condiciones para que el P aportado se encuentre disponible para las plantas. El aumento en carbono orgánico podría traer beneficios en cuanto a las condiciones físicas del suelo, así como también en la fertilidad biológica y química, logrando una mejora integral en la fertilidad del suelo.

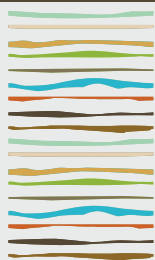
BIBLIOGRAFÍA

- Daroub, S.H.; A. Gerakis; J.T. Ritchie, J.T.; D.K. Friesen & J. Ryan. 2003. Development of a soil-plant phosphorus simulation model for calcareous and weathered tropical soils. *Agric. Syst.* 76, 1157–1181. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00082-3)
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C. Robledo. 2013. Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Univ. Nac. Córdoba, Argentina.
- Jalali, M. & F. Ranjbar. 2010. Aging effects on phosphorus transformation rate and fractionation in some calcareous soils. *Geoderma* 155, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.030>



- Mihoub, A.; M. Daddi Bouhoun; A. Naeem & M.L. Saker. 2017. Low-molecular weight organic acids improve plant availability of phosphorus in different textured calcareous soils. *Arch. Agron. Soil Sci.* 63, 1023–1034. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1249477>
- Milić, S.; J. Ninkov; T. Zeremski; D. Latković; S. Šeremešić; V. Radovanović & B. Žarković. 2019. Soil fertility and phosphorus fractions in a calcareous chernozem after a long-term field experiment. *Geoderma* 339, 9–19. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.12.017>
- Moradi, N.; M. Hassan; R. Sadaghiani & E. Sepehr. 2014. Effects of low-molecular-weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils. *Effects of low-molecular-weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils. Turk J Agric.* <https://doi.org/10.3906/tar-1106-38>
- Negassa, W. & P. Leinweber. 2009. How does the hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 305–325. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800223>
- Renneson, M.; C. Vandenberghe; J. Dufey; J.M. Marcoen; L. Bock & G. Colinet. 2015. Degree of phosphorus saturation in agricultural loamy soils with a near-neutral pH. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 33–41. <https://doi.org/10.1111/ejss.12207>
- Roberts, T.L. & A.E. Johnston. 2015. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Resour. Conserv. Recycl.* 105, 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.013>
- Rubio, G.; V. Faggioli; J.D. Scheiner & F.H. Gutiérrez-Boem. 2012. Rhizosphere phosphorus depletion by three crops differing in their phosphorus critical levels. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175, 810–871. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200307>
- Sainz Rozas, H.; H. Echeverría & H. Angelini. 2019. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. *Ria* 38, 33–39.
- Slazak, A.; D. Freese; E.S. Matos; S. Nii-Annang & R.F. Hüttl. 2014. Phosphorus pools in soil after land conversion from silvopasture to arable and grassland use. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 159–167. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200334>
- Sucunza, F.A.; F.H. Gutierrez Boem; F.O. Garcia; M. Boxler & G. Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron.* 96, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2018.03.004>
- Suñer, L.G. & J.A. Galantini. 2012. Fertilización fosforada en suelos cultivados con trigo de la Región Sudoeste pampeana. *Cienc. del suelo, Arg.* 30, 57–66.
- Taghipour, M. & M. Jalali. 2012. Effect of low-molecular-weight organic acids on kinetics release and fractionation of phosphorus in some calcareous soils of western Iran. *Environ. Monit. Assess.* 185. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2960-y>
- Tiessen, H. & J. Moir. 2006. Chapter 25 Characterization of Available P by Sequential Extraction, in: Carter, M., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science.
- Von Wandruszka, R., 2006. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. *Geochem. Trans.* 7, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-7-6>
- Wang, Y.; X. Chen; J.K. Whalen; Y. Cao; Z. Quan; C. Lu & Y. Shi. 2015. Kinetics of inorganic and organic phosphorus release influenced by low molecular weight organic acids in calcareous, neutral and acidic soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 555–566. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500047>
- Yang, X. & W.M. Post. 2011. Phosphorus transformations as a function of pedogenesis: A synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method. *Biogeosciences* 8, 2907–2916. <https://doi.org/10.5194/bg-8-2907-2011>
- Yang, X.; X. Chen & X. Yang. 2019. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil Tillage Res.* 187, 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2018.11.016>
- Zamuner, E.; L. Picone & A. Diez. 2012. Effect of long-term phosphorus fertilization on soil phosphorus fractions. *Span. J. Soil Sci.* 2, 50–61. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2012.V2.N2.03>





FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO, AZUFRE Y ZINC EN TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL

Alvarez, M.L.^{1*}, V. Quintana¹, T. Scarpello¹, A. Dillchneider^{1,2}

¹ Facultad de Agronomía, Ruta Nacional 35, km 334, (6300) Santa Rosa, Prov. De La Pampa;

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas;

* lucilamalvarez@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) constituye uno de los principales factores que limitan su producción en varias de las regiones trigueras argentinas. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) sobre la absorción de estos nutrientes y su impacto en el rendimiento de trigo y el contenido de proteína en grano. El ensayo se realizó en la E.E.A. INTA Anguil sobre un Paleustol petrocálcico, con cuatro tratamientos: T (Testigo), NP (100 kg N + 20 kg P), NPS (100 kg N + 20 kg P + 30 kg S), NPSZn (100 kg N + 20 kg P + 30 kg S + 1 kg Zn). NP y NPS presentaron un incremento significativo en rendimiento respecto al T de 55% y 40%, mientras que NPSZn produjo un incremento de 74%, alcanzando un rendimiento de 5197 kg ha⁻¹. La fertilización mejoró el contenido de proteína en grano en los tratamientos fertilizados respecto al T y si bien, no hubo diferencias entre las combinaciones de nutrientes, el contenido de proteína se mantuvo ante los incrementos significativos en rendimiento. La fertilización con NP y NPS mejoró la eficiencia en el uso del agua (EUA) respecto al T, mientras que la fertilización con NPSZn presentó los valores más altos de EUA y eficiencia en el uso de N (EUN) y P (EUP).

Palabras clave: proteína, eficiencia en el uso del nitrógeno, eficiencia en el uso del agua.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de nutrientes en forma balanceada y precisa es un requerimiento para el desarrollo sustentable de la agricultura, que produce alimentos con el propósito de alcanzar la seguridad alimentaria. La contribución relativa del manejo de los nutrientes representa una brecha de al menos el 30% de la producción alcanzada por los cultivos (Grasso and Díaz, 2020). El trigo, como principal cereal de invierno sembrado en la Argentina, presenta brechas de rendimiento del 41% respecto al potencial en secano (Aramburu Merlos et al., 2015). El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo constituye uno de los principales factores que limitan la producción de éste en varias de las regiones trigueras argentinas. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento del trigo, sin embargo, en las últimas décadas la intensificación de la agricultura sumado a la falta de reposición de azufre (S) por fertilizantes ha generado una disminución en la disponibilidad de S en los suelos y, por lo tanto, es cada vez más frecuente determinar respuesta en rendimiento frente al agregado de dicho nutriente (Carciochi et al., 2015). En la Región Pampeana, la disponibilidad de Zn en los suelos ha disminuido entre un 40-70% respecto de sus niveles iniciales (Sainz Rozas et al., 2019). En este contexto, algunos estudios muestran la respuesta en rendimiento al agregado de este micronutriente en cultivos como trigo (Salvagiotti et al., 2012). Además de los efectos sobre el rendimiento del trigo, el estado nutricional del cultivo también tiene efectos sobre su calidad panadera. En tal sentido, el N y el S son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de proteínas formadoras del gluten en los granos de trigo (Fuertes-mendizábal et al., 2010; Gooding,



2017). La mayoría de los estudios realizados sobre fertilización balanceada y que contemplan nutrientes como S y Zn, pertenecen a zonas subhúmedas (Barbieri et al., 2011; Landriscini J.A., 2010; Reussi Calvo et al., 2006). Por este motivo, resulta importante realizar estudios sobre el balance de la nutrición mineral de los cultivos en ambientes semiáridos, apuntando a mejorar tanto rendimiento como calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con N, P, S y Zn en trigo sobre la absorción de estos nutrientes y su impacto en el rendimiento de trigo y en el contenido de proteína en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un lote experimental de la E.E.A. INTA Anguil Guillermo Covas, ubicada en la Ruta Nacional N° 5 km 580 (36°35'46.29"S, 63°57'49.63"O), sobre un suelo Paleustol petrocálcico (1,20 m de profundidad), con una textura franco-arenosa y un contenido de materia orgánica (MO) de 18 g kg⁻¹. Se calculó el IMO (Índice de Materia Orgánica) propuesto por Quiroga et al. (2006), obteniendo un valor de 3. Los contenidos a la siembra de nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻), fósforo (P), azufre de sulfatos (S-SO₄²⁻) y zinc (Zn) se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Contenidos de arena, limo y arcilla, materia orgánica (MO), Nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻), Fósforo (P), Azufre (S-SO₄²⁻) y Zinc (Zn) a la siembra.

Profundidad	Arcilla	Limo	Arena	MO	N-NO ₃ ⁻	P	S-SO ₄ ²⁻	Zn
cm		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		
0-20	136	343	521	18	5,5	7,2	13,5	0,18
20-60	-	-	-	-	1,9	-	-	-

Previo a la siembra del cultivo de trigo se realizó un barbecho químico a base de Glifosato full 66.2 % (2000 cc), 2,4D 98 % (600 cc) y dicamba (200 cc) (06-05-2021). La fecha de siembra fue el 7 de junio de 2021 y la variedad utilizada fue Klein 100 años. Las parcelas fueron de 15 m x 5.6 m (28 surcos x 0.2 m) con una densidad objetivo de 240 plantas m⁻², lográndose 130 plantas m⁻². Los tratamientos realizados tuvieron cuatro repeticiones en un diseño en bloques completamente aleatorizado, y fueron los siguientes: T: sin fertilización, NP: 100 kg N + 20 kg P, NPS: 100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S, NPSZn: 100 kg N+ 20 kg P+ 30 kg S+ 1 kg Zn. Las formulaciones utilizadas fueron: UAN (32-0-0), fosfato diamónico (18-46-0), tiosulfato de amonio líquido (12-0-0-26) y sulfato de zinc líquido (8% Zn; densidad 1,24 g dm⁻³). Se tomaron muestras de biomasa aérea de dos surcos por metro lineal a floración para determinar la concentración de N, P, S y Zn en la biomasa (digestión con ácido nítrico y determinación de N empleando el método semi-micro Kjeldahl y de P, S y Zn con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)). La cosecha se realizó en forma manual en una superficie de dos surcos por tres metros lineales, determinándose el rendimiento en grano y el contenido de proteína en grano (espectroscopía de infrarrojo cercano, NIRS equipo FOSS DS-2500) y concentración de N en grano (%). Se calculó la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) como el producto entre la eficiencia de absorción y la eficiencia de conversión de N (Briat et al., 2020) von Liebig (1855; la eficiencia en el uso del fósforo (EUP) como el producto entre la eficiencia de absorción y la eficiencia de conversión de P; y la eficiencia en el uso del agua se calculó a partir del cociente entre el rendimiento y consumo de agua del cultivo (López y Arrúe, 1997). Este último obtenido a partir del agua útil a la siembra más las precipitaciones (ocurridas en el ciclo del cultivo) restando el agua útil al momento de la cosecha. Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017), y se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El bajo valor de IMO (3) que presentó este sitio refleja cierta degradación del suelo, la cual condiciona la productividad de los cultivos (Quiroga et al., 2006), reflejado por el bajo nivel de N-NO₃⁻ hallado a la siembra. Por otro lado, el nivel de P extractable también fue bajo (7,2 mg kg⁻¹), considerando que la bibliografía menciona valores umbrales para trigo de aproximadamente 20 mg kg⁻¹ de P extractable por Bray Kurtz N°1 (Sucunza et al., 2018) under similar field conditions, the P critical values for soybean, maize and wheat; and ii. Particu-



larmente la deficiencia de P en los suelos de la región ha sido estudiada por varios autores, hallándose en la mayoría de los casos respuesta a la fertilización fosforada (Sainz Rozas et al., 2019). La respuesta en rendimiento a la aplicación de N, P estuvo relacionada con los bajos niveles edáficos de estos nutrientes. De esta manera, se encontró un incremento en rendimiento respecto al T (2981 kg ha⁻¹) de un 55 % cuando se fertilizó con NP (4621 kg ha⁻¹) y de un 40% con NPS (4181 kg ha⁻¹), sin hallarse diferencias significativas entre estos dos (Figura 1). El contenido de S-SO₄²⁻ superó el valor umbral de 10 mg kg⁻¹ propuesto por Johnson y Fixen (1990), lo cual se vio reflejado en la ausencia de una respuesta significativa en rendimiento al agregado de S. Reussi Calvo et al., (2006), por ejemplo, hallaron respuestas en rendimiento sólo en algunos años y sitios en el sudoeste bonaerense. El tratamiento NPSZn tuvo un rendimiento significativamente superior a los demás (5197 kg ha⁻¹), con un incremento frente al T del 74 %, lo cual estuvo asociado a la baja disponibilidad edáfica de este nutriente (0,18 mg kg⁻¹), lo cual es cada vez más común de hallar en la región (Sainz Rozas et al., 2019).

El incremento de nutrientes por mejor balance en la nutrición también tuvo efectos positivos en la calidad de los granos. La fertilización mejoró significativamente ($p < 0,05$) el contenido de proteína del grano frente al T (10,2%), y, si bien el contenido de proteína no se incrementó significativamente con la combinación de nutrientes, mantuvo los valores frente a los aumentos significativos de rendimiento (NP: 12,1%, NPS: 11,8%; NPSZn: 11,5%). La mayor EUN lograda con el aporte de otros nutrientes (Tabla 2), genera depósitos de N en la planta que podrían distribuirse a un mayor número de granos y le proporciona cierta protección al efecto de dilución de proteína (Duncan et al., 2018; Grant et al., 1985) grain yield, farm profits, the environment and human nutrition. Extensive research has evaluated many innovative ways to improve the efficiency of fertilizer N recovery (N use efficiency; NUE).

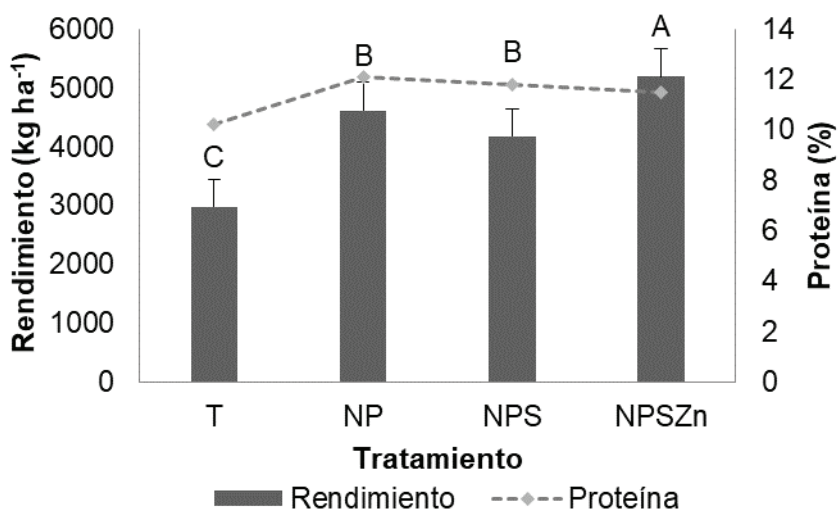


Figura 1. Rendimiento de trigo (kg ha⁻¹) y concentración de proteína (%) de los tratamientos T, NP, NPS y NPSZn. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para la variable rendimiento ($p < 0,05$). Barras indican error estándar.

El impacto de las combinaciones de N con otros nutrientes aplicados como P, S, Zn mejoraron la eficiencia con la que se utilizan los nutrientes y el aprovechamiento del agua del suelo debido a que hay evidencia de que la interacción con otros nutrientes favorece el crecimiento radicular, el crecimiento de las plantas y la absorción de N (Duncan et al., 2018) Weinheim. Balanced applications of nitrogen (N. Con el agregado de Zn tanto la EUN como la EUP se incrementaron un 37 % y la EUA fue un 15% superior respecto del tratamiento NP (Tabla 2), afirmando respuestas a estudios anteriores (Salvagiotti et al., 2012). En cambio, las mejoras en la EUN por el agregado de S son menos frecuentes y de menor magnitud (Colwell and Grove, 1976). En ambientes donde las precipitaciones son limitantes y la productividad del cultivo depende del agua que los suelos pueden almacenar, se buscan prácticas de manejo que permitan incrementar la eficiencia de utilización y aprovechamiento del agua disponible. La combinación de nutrientes por la fertilización tuvo efectos positivos en el uso de este recurso. Se ha demostrado que a medida que aumenta la dosis de N el

rendimiento aumenta y en conjunto aumenta la EUA, pero en detrimento de la EUN (Dillchneider et al., 2019; Gaggioli et al., 2014) y pocos autores han medido el efecto de la fertilización balanceada sobre el aumento en la productividad del agua.

Tabla 2. Eficiencia de absorción de N (EAbsN), eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN), eficiencia en el uso del fósforo (EUP) y eficiencia en el uso del agua (EUA).

Tratamiento	EAbsN Kg N kg N ⁻¹	EUN Kg grano kg N ⁻¹	EUP Kg grano kg P ⁻¹	EUA Kg ha ⁻¹ mm ⁻¹
T	-	-	-	6,7 C
NP	0,39 A	12,5 B	62,3 B	9,7 B
NPS	0,41 A	9,8 B	48,8 B	9,2 B
NPSZn	0,43 A	19,9 A	99,6 A	11,4 A

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

CONCLUSIONES

La nutrición balanceada con el aporte de macro, meso y micronutrientes trae beneficios en el rendimiento del cultivo de trigo, a partir de una mejor absorción y utilización de los nutrientes y del agua, siendo una estrategia interesante en ambientes semiáridos. Se destaca además la importancia de tener en cuenta posibles deficiencias de Zn en estos suelos, ya que el aporte de este como fertilizante produjo una respuesta sustancial en el rendimiento, incluso manteniendo el nivel del contenido de proteína en grano. Por último, sería importante seguir analizando el impacto de estas combinaciones de nutrientes sobre la calidad panadera del trigo.

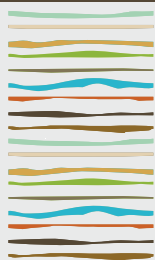
BIBLIOGRAFÍA

- Aramburu Merlos, F.; J.P. Monzon; J.L. Mercu; M. Taboada; F.H. Andrade; A.J. Hall; E. Jobbagy; K.G. Cassman; & P. Grassini. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *F. Crop. Res.* 184, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
- Barbieri, P.A.; H.E. Echeverría; H.R.S. Rozas; J.P. Martínez; J.L. Velasco & N.I.R. Calvo. 2011. Fertilización en trigo : ¿ es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce ? 9–16.
- Briat, J.F.; A. Gojon; C. Plassard; H. Rouached & G. Lemaire. 2020. Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. *Eur. J. Agron.* 116, 126069. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126069>
- Carciochi, W.; A. Guillermo; N. Reussi & H. Echeverría. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la Región Pampeana Argentina? 21–28.
- Colwell, J.D. & T.S. Grove. 1976. Assessments of potassium and sulphur fertilizer requirement of wheat in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C.W. Robledo. 2017. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dillchneider, A.; I. Frasier; D. Funaro; R. Fernández & A. Quiroga. 2019. Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región semiárida. *Semiárida Rev. la Fac. Agron. UNLPam* 29, 53–62. [https://doi.org/10.19137/semi-rida.2019\(01\).53-62](https://doi.org/10.19137/semi-rida.2019(01).53-62)
- Duncan, E.; C.A. O'Sullivan; M.M. Roper; J.S. Biggs & M.B. Peoples. 2018. Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertiliser use, grain yield and protein content of wheat: Review. *F. Crop. Res.* 226, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.010>
- Duncan, E.G.; C.A. O'Sullivan; M.M. Roper; J. Palta; K. Whisson & M.B. Peoples. 2018. Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 364–373. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700376>
- Fuertes-mendizábal, T.; A. Aizpurua; M.B. González-moro & J.M. Estavillo. 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *Eur. J. Agron.* 33, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.03.001>



- Gaggioli, C.; E. Noellemeyer & A. Quiroga. 2014. Productividad y eficiencia de uso de agua de cereales invernales en dos suelos contraste de la región semiárida pampeana. *Asoc. Argentina Cienc. del suelo* 2011–2012.
- Gooding, M. 2017. *The Effects of Growth Environment and Agronomy on Grain Quality*, Second Edi. ed, Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00018-8>
- Grant, C.A.; E.H. Stobbe & G.J. Racz. 1985. The effect of fall-applied N and P fertilizer and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero-tilled land in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 65, 621–628. <https://doi.org/10.4141/cjss85-068>
- Grasso, A. & M. Díaz. 2020. Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización. Fertilizar Asociación civil.
- Johnson, G.V. & P.E. Fixen. 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. *Soil Test. Plant Anal., SSSA Book Series*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c10>
- Landriscini M.R. & J.A. Galantini. 2010. Balance nutricional y productividad del trigo. *Fertilizar* 27–32.
- López, M.V. & J.L. Arrúe. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Tillage Res.* 44, 35–54. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00030-5)
- Quiroga, A.; D. Funaro; E. Noellemeyer & N. Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 90, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>
- Reussi Calvo, N.I.; H.E. Echeverría & H.S. Rozas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Handb. Environ. Chem. Vol. 5 Water Pollut.* 24, 77–87.
- Sainz Rozas, H.; M. Eyherabide; G. Larrea; M. 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 Simp. Fertil.*
- Salvagiotti, F.; J. Castellarín & F. Ferraguti. 2012. Respuesta a la inoculación ya la nutrición con fósforo y azufre en cultivo de arveja, en el sur de Santa Fe. *Para Mejor. la Prod. INTA EEA Oliveros* 47, 41–44.
- Sucunza, F.A.; F.H. Gutierrez Boem; F.O. Garcia; M. Boxler & G. Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron.* 96, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2018.03.004>





LA FERTILIZACIÓN AUMENTA EL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS PAMPEANOS PERO NO PERMITE MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Alvarez, R.^{1*}

^{1*} Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires.
Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina. ralvarez@agro.uba.ar

RESUMEN

La fertilización puede determinar aumentos del nivel de carbono orgánico de los suelos (COS). Sin embargo, como durante la fabricación, transporte y uso de los fertilizantes se emite CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, que se produzca mitigación del cambio climático depende del balance entre el carbono retenido en los suelos y las emisiones por fertilización. Se realizó un meta-análisis de los resultados de 27 experimentos pampeanos en los que se determinó cambios del COS por fertilización y se estimaron las emisiones debidas a la aplicación de fertilizantes. El stock de COS aumentó ca. 3% (P< 0.05) en el estrato superficial (generalmente 0-20 cm). En los experimentos en los que estaban bien definidas las dosis de nutrientes este incremento fue en promedio de 1 t COS ha⁻¹. La estimación de la emisión de CO₂eq en unidades de carbono equivalente fue de 2.1 t ha⁻¹. Aún asumiendo que el incremento relativo del COS medido en superficie también se produjera en las capas subsuperficiales del suelo, no se compensaría la emisión de GEI. En consecuencia, fertilizar los suelos pampeanos permite aumentar su nivel de COS pero no reducir el calentamiento global.

Palabras clave: cambio climático, carbono orgánico del suelo, fertilización.

INTRODUCCIÓN

Utilizar a los suelos cultivados como sumideros de carbono atmosférico para mitigar el calentamiento global es una alternativa ampliamente explorada en la actualidad (Lal, 2017; Paustian et al., 2016). La fertilización es una de las prácticas de manejo que puede llevar a aumentos del carbono orgánico del suelo (COS) (Chen et al., 2018; Han et al., 2016). Sin embargo, es necesario un análisis de ciclo de vida para determinar si realmente se produce secuestro de carbono al implementar una práctica agrícola porque las emisiones asociadas a ella pueden contrarrestar el aumento del COS e incrementar el calentamiento global (Schlesinger, Amundson, 2018). Mis objetivos fueron determinar si la fertilización produce aumentos del COS en la Región Pampeana y si esos aumentos pueden compensar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) asociadas al uso de fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica de datos de experimentos de campo en los que se evaluó cambios del COS en función de diferentes tratamientos de fertilización en la Región Pampeana. Como resultado se obtuvieron resultados de 27 experimentos (Figura 1) (lista de trabajos disponible a pedido). Cuando se reportaba el stock de COS se usó ese dato. Cuando estaba disponible la concentración de COS y la densidad aparente del suelo se calculó el stock de COS. En los casos en que solo se reportaba la concentración de COS la densidad aparente se estimó por el método de Post y Kwon (2000) para calcular el stock. Se logró extraer datos de 102 tratamientos de fertilización. La profundidad de muestreo fue 0-20 cm en la mayoría de los casos (en algunos experimentos se midió 0-15, 0-17 o 0-18 cm) y la duración de los experimentos varió entre 4 y 31 años

con una media de 14 años. La información climática de cada sitio experimental se obtuvo de la base CRU (CRU, 2022) y la textura de los suelos se reportaba en los trabajos o se extrajo de los mapas de suelo de INTA.

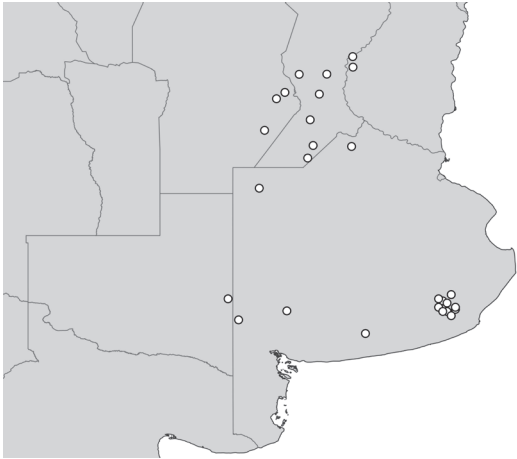


Figura 1. Ubicación de los experimentos. Algunos puntos se corrieron de su ubicación real para evitar superposiciones.

El análisis de los datos se realizó utilizando técnicas de meta-análisis en la forma indicada en Alvarez et al. (2017). Se ponderó los promedios de los estudios por repeticiones asumiendo que un modelo de efectos aleatorios describía adecuadamente el comportamiento de la variable COS entre experimentos. La variable respuesta (effect size) fue la relación de respuesta (response ratio = RR) que se expresó como porcentaje de cambio y se calculó el intervalo de confianza del 95%. Se tomó como control el testigo no fertilizado de cada experimento y como tratamiento a los diferentes tratamientos fertilizados. Como en muchos experimentos había varios tratamientos de fertilización y eso generó comparaciones múltiples (datos no independientes) se repitió el meta-análisis eliminando los datos no independientes. Esto redujo el set de comparaciones a 69. También se calculó la diferencia de stock de COS entre controles y tratamientos no fertilizados. Se utilizaron coeficientes de la bibliografía para estimar la emisión de GEI debidas a la fabricación, transporte y uso de fertilizantes que aportan nitrógeno (Brentrup et al. 2016, Chojnacka et al. 2019, Zhang et al. 2013), fósforo (Ledgard y Falconer, 2019, West y Marland, 2002, Wood y Cowie, 2004) y azufre (European Commission, 2009). Cuando se encontraron varios coeficientes para un mismo fertilizante se promediaron. También se promediaron emisiones de diferentes fertilizantes para estimar promedios por nutriente. Las emisiones de GEI en unidades CO₂ eq. se convirtieron a carbono equivalente (Ceq. = CO₂ eq. * 0.27).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fertilización determinó un incremento significativo del COS (Figura 2). La inclusión de datos no independientes en el análisis o su exclusión no afectó este resultado. El COS era aproximadamente 3% mayor en los tratamientos fertilizados que en los testigos sin fertilizate.

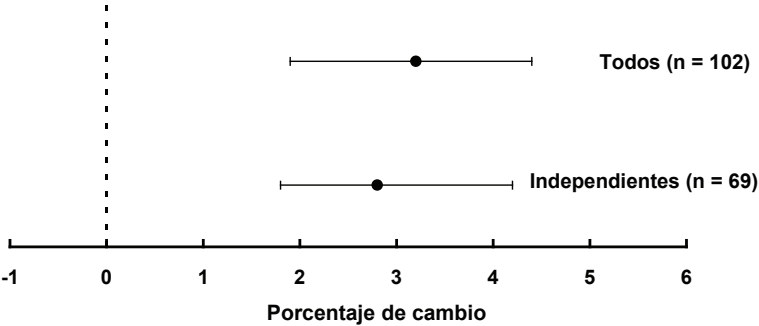


Figura 2. Porcentaje de cambio del COS por efecto fertilización. Cuando el intervalo de confianza no incluye el cero existe efecto significativo de la fertilización sobre el COS.

El efecto de la fertilización sobre el COS no pudo modelarse con el uso de variables de manejo o ambientales como la duración del experimento (tiempo bajo fertilización), el nivel de carbono del suelo, la textura o la precipitación del sitio (Figura 3).

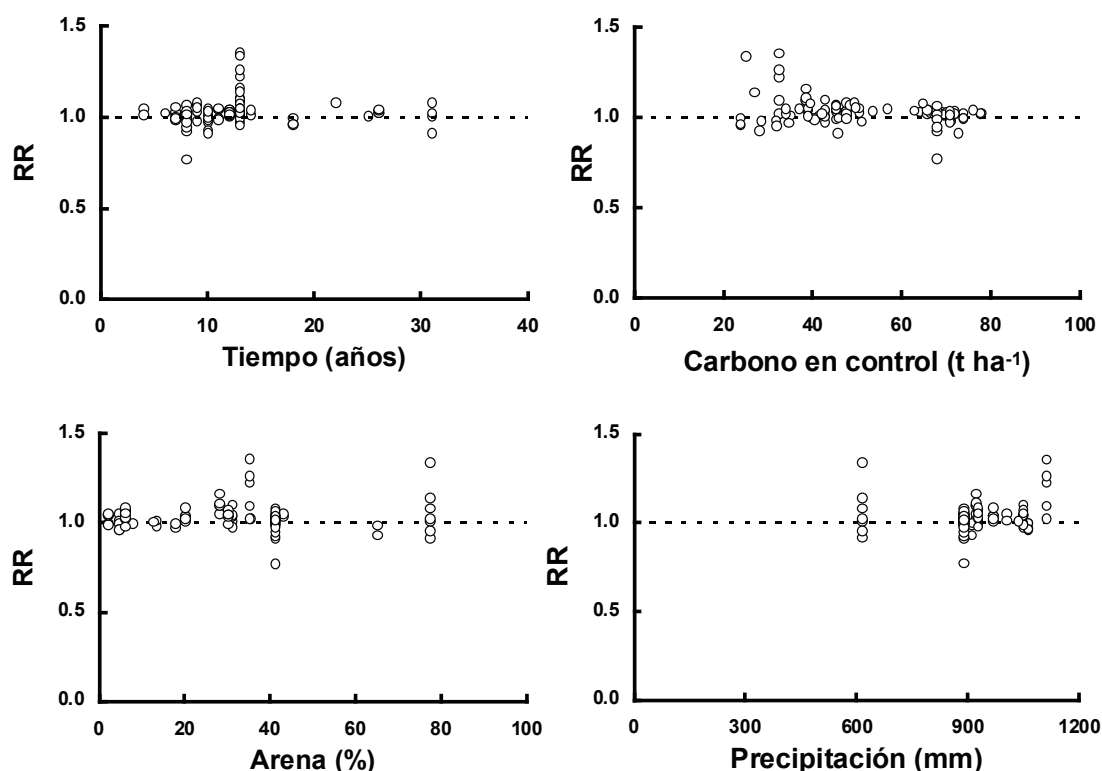


Figura 3. Relación entre el RR y algunas variables de manejo y ambientales del sitio experimental.

El impacto de la fertilización fue diferente en función de la combinación de nutrientes aplicada. El nitrógeno fue el nutriente con mayor efecto invernadero, siendo mucho menor el efecto del fósforo y menor aún el del azufre (Tabla 1). Esto se debió a una combinación del tamaño de la dosis y el efecto de cada unidad de nutriente aplicada como generador de GEI.

Tabla 1. Dosis medias de nutrientes aplicadas en los experimentos, coeficiente de emisión de GEI de los nutrientes (expresados en unidades de Ceq.) y emisión media calculada por nutriente.

Nutriente	n	Dosis media (kg nutriente ha ⁻¹)	Coef. emisión (t Ceq. t ⁻¹ nutriente)	Dosis acumulada (t nutriente ha ⁻¹)	Ceq. emitido (t ha ⁻¹)
Nitrógeno	54	78.5	2.60	1.03	2.68
Fósforo	32	26.8	0.41	0.27	0.11
Azufre	20	21.0	0.02	0.19	0.004

La integración de los resultados de los experimentos permitió estimar efectos promedio de la fertilización sobre el COS y la emisión de GEI (Figura 4). El aumento del COS debido a la fertilización no compensó la emisión de GEI debida a la fabricación, transporte y uso de los fertilizantes.

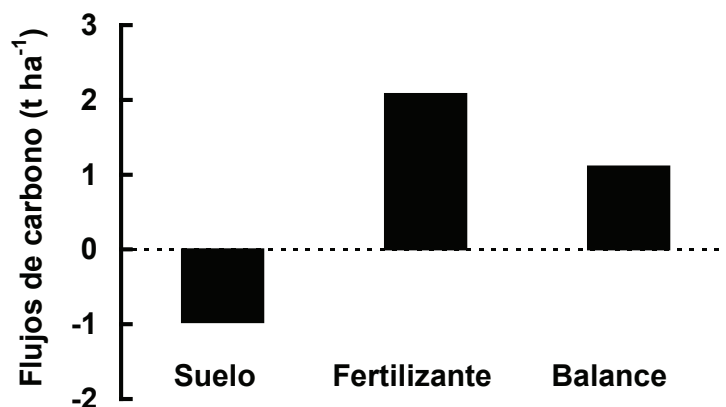


Figura 4. Flujos de carbono promedio. El flujo hacia el suelo representa el aumento medio del COS en la capa superficial del perfil, en casi todos los casos en el estrato 0-20 cm. El flujo del fertilizante representa la emisión de GEI hacia la atmósfera expresada en Ceq. El balance es la diferencia entre esos dos flujos.

Solo se midió en los experimentos los cambios del COS en la capa superficial del suelo. Es posible que existan efectos de la fertilización en las capas subsuperficiales. Un trabajo previo ha mostrado que en la Región Pampeana los efectos del uso sobre el COS son significativos hasta los 50 cm de profundidad (Berhongaray et al. 2013). Asumiendo que la fertilización produjera un aumento relativo del COS hasta 50 cm similar al observado en superficie, se puede estimar cuál sería el impacto total de la práctica sobre las reservas de COS edáficas. Usando el modelo de estratificación de Berhongaray et al. (2013) para los suelos locales se estimó que aunque el COS se incrementara en la capa 0-50 cm del suelo en la misma proporción que en la capa superficial, aún así no se compensarían los GEI emitidos por los fertilizantes (resultados no mostrados).

CONCLUSIONES

En la Región Pampeana la fertilización determina aumentos del COS en los suelos. Estos aumentos no compensan la emisión de GEI que genera la práctica por lo que la fertilización no es una opción para secuestrar carbono en los suelos de la región.

AGRADECIMIENTOS

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

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R., Steinbach, H.S., De Paepe J.L.: 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the Pampas: A meta-analysis. R. Alvarez, H. Steinbach, J De Paepe. Soil Till. Res. 170: 45-53.
- 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.
- Brentup, F., Hoxha, A., Christensen, B. 2016. Carbon footprint analysis of mineral fertilizer production in Europe and other world regions. Conference: The 10th International Conference on life Cycle Assessment of Food (LCA Food 2016), Dublin, Ireland.
- Chen H, Liab D, Feng W, Niud S, Plantee, A, Luof Y, Wangab, K. 2018. Different responses of soil organic carbon fractions to additions of nitrogen. European Journal of Soil Science. 69, 1098-1104.
- Chojnacka, K., Kowalski, Z., Kulcycka, J., Dmytryk, A., Gorecki, H., Ligas, B., Gramza, M. 2019. Carbon footprint of fertilizer technologies. J. Environm. Manag. 231, 962-967.
- CRU, 2022. Climate Research Unit. High-resolution gridded datasets. Available at <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (accessed 05/23/2021).
- European Commission. 2009. Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012. Sector report for the gypsum industry. https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/bm_study-lime_en.pdf (accessed 09/09/2022).
- Han P, Zhang W, Wang G, Sun W, Huang Y. 2016. Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: a global



meta-analysis. *Scientific Reports* 6:27199.

Lal, R. 2017. Digging deeper: a holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Glob. Change Biol.* 24, 3285-3301.

Ledgard, S., Falconer, S. 2019. Update of the carbon footprint of fertilizer used in New Zealand. Report for Fertiliser Association of New Zealand. RE450/2019/059.

Paustian, K. Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P. 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532, 49-57.

Post, W.M., Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Glob. Change Biol.* 6: 317-37.

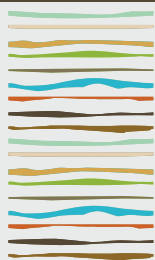
Schlesinger, W.H., Amundson, R. 2018. Managing for soil carbon sequestration: Let's get realistic. *Glob. Change Biol.* 25, 386-389.

West, T.O., Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agric. Ecosys. Environm.* 91, 217-232.

Wood, S., Cowie, A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for Fertilizer production. <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/yuan2/docs/wood.pdf>. (accessed 09/09/2022).

Zhang, W., Dou, Z., He, P., Ju, X., Powlson, D., Chadwick, D., Norse D., Lu, Y., Zhang, Y., Wu, L. Chen, X., Cassman, K.G., Zhang, F. 2013. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *PNAS* 110, 8375-8380.





APLICACIÓN DE RESIDUOS PECUARIOS COMO ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Amín, M.S.^{1,2,*}, Y. Chilano^{1,2}, M.A Becerra^{1,2,3}, A. Degioanni^{1,2}, N. Lucio¹, E. Maseda¹

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad Nacional de Río Cuarto;

²Instituto de investigaciones sociales, territoriales y educativas - ISTE (UNRC-CONICET);

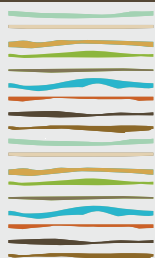
³Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba;

* Ruta Nacional 36, km 601, samin@ayv.unrc.edu.ar.

RESUMEN

La intensificación de la producción animal genera acumulación de residuos en pequeñas superficies de tierra. La cama de pollo y el residuo de feedlot son ricos en materia orgánica y en macronutrientes (N y P). Estos elementos también son potenciales contaminantes ambientales. En tal sentido la utilización de los residuos como enmiendas orgánicas, en un modelo de economía circular, permitiría su depuración al incorporarlos a producto cosechable, y por otro lado se remplazaría a los fertilizantes inorgánicos disminuyendo los costos de producción. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz a la aplicación de residuo de feedlot en el suelo sin agregado previo de enmienda orgánica y con aplicación anterior de cama de pollo. Se realizó un ensayo en la Universidad Nacional de Río Cuarto, sobre un suelo Haplustol típico, donde se aplicó e incorporó el equivalente a 18 tn ha⁻¹ de residuo de feedlot (0,8% N) a parcelas de 12 m² sin aplicación de enmienda previa y con una dosis equivalente a 30 tn ha⁻¹ de cama de pollo en el año 2017, con 4 repeticiones de los siguiente tratamientos en un diseño completo al azar: T (sin aplicación), CP (con aplicación anterior de cama de pollo), E (con aplicación de residuo de feedlot solamente) y E+CP (con aplicación de residuo de feedlot donde antes se aplicó CP). La aplicación del residuo fue el día 28/10/2021 y a los 11 días se sembró el cultivo con una densidad de 71500 pl ha⁻¹, realizando control mecánico de malezas. Se cosechó de forma manual el día 11/05/2022. Las mediciones fueron sobre el rendimiento del cultivo y en propiedades químicas y físico-químicas del suelo entre 0 y 20 cm de profundidad. Los resultados no evidenciaron efectos negativos en la germinación ni en el establecimiento de plántulas e indican una respuesta positiva del rendimiento del cultivo de maíz al agregado repetido de enmienda, con diferencias significativas entre los tratamientos T y E+CP (6079 kg ha⁻¹ vs. 9123 kg ha⁻¹ respectivamente de rendimiento medio), mientras que el resto de los tratamientos obtuvo valores intermedios. El contenido de P extractable del suelo al finalizar el ensayo mostró diferencias significativas entre los tratamientos CP (11,5 ppm) y E+CP (29,7 ppm), lo que requiere un mayor análisis dado que se inició el ensayo con contenidos de P con diferencias significativas entre los valores medios de 11 ppm en las parcelas sin aplicación (T y E) y 18 ppm donde se aplicó con anterioridad cama de pollo (CP y E+ CP). Los valores de MOS, pH y CE no mostraron diferencias significativas entre tratamientos al finalizar el ensayo. La diferencia en el rendimiento en esta experiencia representa un 50 % de aumento con la aplicación al suelo de residuos de feedlot con efecto residual de la cama de pollo aplicada años anteriores. Se debe seguir estudiando los efectos de residualidad de las enmiendas de origen animal sobre las propiedades del suelo y los cultivos.

Palabras clave: rendimiento, residuo de feedlot, cama de pollo



EVALUACIÓN DE FACTORES ASOCIADOS AL NIVEL DE FÓSFORO BRAY1 EN LOTES DE LA REGIÓN PAMPEANA

Antonietta, M.¹, J.R. Micheloud^{2,3}, G. Martini², M. Paolini², M.B. Alonso², J.J. Guiamet¹, E. Satorre^{2,4,*}

¹ Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Universidad Nacional de La Plata – CONICET;

² Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA);

³ Cátedra de Cerealicultura, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

⁴ Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA), Universidad de Buenos Aires – CONICET;

* satorre@agro.uba.ar

RESUMEN

En los cultivos extensivos de la Región Pampeana el uso de dosis reducidas de fósforo (P) determina balances negativos que reducen progresivamente el nivel disponible en el suelo. En esto, la soja es un protagonista principal debido a la importante superficie sembrada y a sus altos requerimientos de P. Utilizando una base de datos de manejo y rendimiento de soja en lotes de productores CREA (www.crea.org.ar) registrados entre 2017-2020 en el Oeste Arenoso (OAR), Oeste (OES) y Sudeste (SDE) de la Región Pampeana analizamos la variación en el P Bray1 del suelo y posibles factores asociados. Los menores niveles de P Bray1 se registraron en SDE (9,75 ppm) respecto de OES y OAR (11,4-11,6 ppm, respectivamente). Comparando localidades cercanas en OES, los suelos con mayores niveles de P Bray1 (+58%) correspondieron a cultivos con más del doble de dosis de P aplicado. El nivel de P Bray1 no varió según el cultivo antecesor en OES, mientras que en OAR y SDE fue un 25% mayor en lotes con antecesor maíz que en lotes con antecesor soja. Tampoco varió según el tipo de ambiente en el SDE mientras que en OES fue un 58% mayor en lomas arenosas comparado con ambientes de mayor potencial. En las 3 regiones analizadas el balance promedio de P fue positivo para trigo (4,3 Kg P ha⁻¹) y negativo para maíz (-4,1 Kg P ha⁻¹), girasol (-5,2 Kg P ha⁻¹) y especialmente, soja (-11,5 Kg P ha⁻¹). Estos resultados permiten estimar la importancia relativa según la región de algunos factores asociados a la reducción del nivel de P Bray1 en los suelos pampeanos.

Palabras clave: fósforo Bray1, soja, extracción.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, varios autores han estimado que las tasas de extracción de nutrientes por parte de los cultivos exceden las tasas de reposición a través de la fertilización. Para el caso del fósforo (P) se calcula que sólo se repone un 60% del P extraído por año (Cruzate y Casas, 2009), resultando en una caída progresiva del nivel de P del suelo que se refleja en los niveles de P disponible para los cultivos. En la Región Pampeana, los registros indican que el nivel de P extractable por el método de Bray N°1 ha disminuido entre 1980 y 2006 hasta alcanzar niveles próximos a los considerados críticos para la mayoría de los cultivos (Sainz-Rozas et al., 2012). En este contexto, la soja adquiere un protagonismo principal debido a la cantidad de hectáreas sembradas, sus altos requerimientos de P y sus bajos niveles de P crítico (alrededor de 14,3 ppm en molisoles, Sucunza et al., 2018) que desalientan la fertilización. En este trabajo, a partir de datos relevados en lotes productivos pertenecientes a productores miembros de la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) situados en diferentes zonas de la Región Pampeana, se analizan (i) las variaciones encontradas en los niveles de P Bray1; (ii) algunos factores que podrían explicar parte de la variabilidad observada y (iii) los balances netos de P en los principales cultivos de la región.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron resultados obtenidos por productores CREA (www.crea.org.ar) y almacenados en una base (AA-CREA – Datos Agrícolas Trazados; DAT) durante los años 2017-2020 en 3 regiones de la Región Pampeana: Oeste Arenoso (OAR), Sudeste (SDE) y Oeste (OES) (Fig. 1a). Para el OES, se contó además con información por subregiones (delimitadas por líneas punteadas en la Fig. 1a) y localidades.

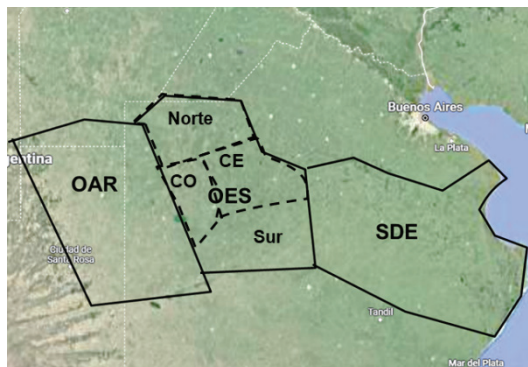


Fig. 1: Regiones analizadas en este estudio: Oeste Arenoso (OAR), Oeste (OES) y Sudeste (SDE) y subregiones dentro del Oeste delimitadas por líneas punteadas: Norte, Centro Este (CE), Centro Oeste (CO) y Sur.

La base de datos original incluyó sólo lotes de soja de 1° (n=587 para OAR, n=884 para OES, y n=334 para SDE), todos reportando valores de P Bray1 entre 0 y 20 cm de profundidad a la siembra del cultivo. El efecto del antecesor de soja se analizó incluyendo sólo cultivos de soja y maíz; otros antecesores no se incorporaron por presentar bajo número de casos (n). La clasificación del ambiente regional sólo se analizó en las regiones OES y SDE ya que no hubo reportes del tipo de ambiente para OAR. A fin de alcanzar un n aceptable, en OES se agruparon dentro de la misma categoría diferentes sub-ambientes; a saber: tapto (sub-ambientes con tapto a profundidad <60 cm); loma productiva (hapludoles típicos o énticos con acceso a napa); loma arenosa (>70% arena sin acceso a napa); bajo dulce (con acceso a napa e incluso anegamiento). Los cálculos de balances de P se realizaron sobre lotes en trigo, girasol, maíz y soja utilizando una base de datos más grande, con n= 4682 para OAR, n= 7777 para OES y n=5123 para SDE. El balance neto de P para cada cultivo se calculó como la diferencia entre los Kgs de P aportados por fertilización y la extracción estimada de P por el cultivo. La extracción se calculó sobre la base del rendimiento obtenido y la concentración de P estándar en grano según IPNI (García y Correndo, 2016) asumiendo valores de humedad de cosecha típicos de cada cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación regional en el P Bray1 y la dosis de fertilización con P en soja

El nivel de P Bray1 promedio fue menor en la región SDE (9,75 ppm) en comparación con OAR y OES (11,65-11,43 ppm; Fig. 2a). Estos valores de P en suelo se ubican por debajo de los umbrales críticos reportados para trigo (19 ppm), soja (14,3 ppm) y maíz (12,5 ppm) en molisoles (Sucunza et al., 2018). Los menores valores de P Bray1 registrados en el SDE coinciden con trabajos previos reportando una mayor retención de P en formas no disponibles en suelos del sudeste bonaerense asociada a la mayor presencia de Fe, Al y Ca formando complejos con P (Cabello et al., 2016; Sucunza et al., 2018).

En correspondencia con el menor nivel de P Bray1, en SDE se observó la máxima dosis promedio de P aplicada en soja (10,98 Kg P ha⁻¹) aunque también la máxima variabilidad en la dosis utilizada (Fig. 2b), indicando que aún existen amplias diferencias entre productores respecto a la adopción de esta práctica. Por otra parte, la dosis aplicada en OES fue un 40% mayor que en OAR a pesar de que ambas regiones presentaron similares valores de P Bray1 en suelos (Fig. 2b). En contraposición con nuestros resultados, sería esperable que en suelos de textura gruesa y menor nivel de materia orgánica, como los del OAR, haya un menor pool de P orgánico y por lo tanto menor capacidad de restablecer el pool de P disponible (e.g., Alvarez y Noellemeyer, 2022), favoreciendo las prácticas de fertilización. Estas observaciones ponen en evidencia la poca relación entre las prácticas de manejo y las características de los suelos, que pueden ser relevantes en el deterioro

del recurso.

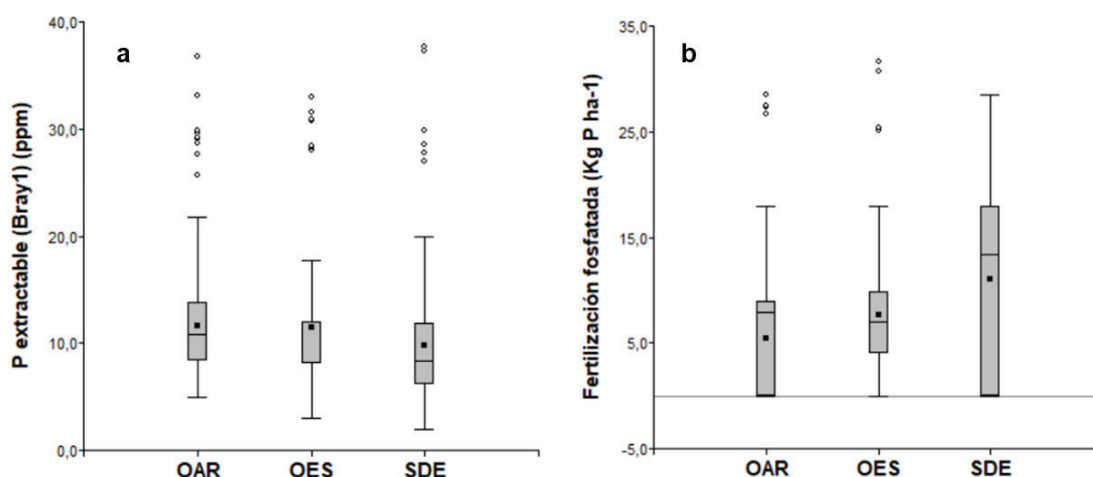


Fig. 2: Niveles de P Bray1 y dosis de fertilización fosfatada (kg P ha^{-1}) utilizada en el cultivo de soja en las 3 regiones analizadas durante 2017-20). Las cajas indican la distribución de datos (percentil 25, 50 y 75) y los promedios se muestran como puntos sobre las cajas ($n=587$ en OAR, $n=884$ en OES, $n=333$ en SDE). Las líneas por fuera de las barras indican el desvío estándar. Los valores extremos (círculos vacíos) no incluidos corresponden a aquellos que superan la media + 3 desvíos estándar.

Factores asociados al nivel de P Bray1

El nivel de P Bray1 en suelo puede variar por una multiplicidad de factores que interactúan entre sí. La información por localidad para el OES nos permitió analizar con mayor detalle la asociación entre el nivel de P y las prácticas de fertilización. Dentro de cada subregión, las localidades con mayor nivel de P Bray1 presentaron también mayor dosis de fertilización con P (Fig. 3). Por ejemplo, en Centro-Este de la zona OES, Magdala presentó niveles de P Bray1 58% mayores que Alvarino y, a su vez, más del doble de dosis de P aplicada. Estudios recientes de largo plazo muestran relaciones lineales entre el balance acumulado de P y el aumento en el nivel de P Bray1 si bien esto se acentúa en suelos ricos en P (Sucunza et al., 2018). En suelos pobres en P, el pool de P disponible tiende a restablecerse a través de otras fracciones y, por lo tanto, a variar menos como consecuencia de la extracción (Sucunza et al., 2018) de modo que el efecto relativo de la fertilización debe analizarse bajo estas consideraciones.

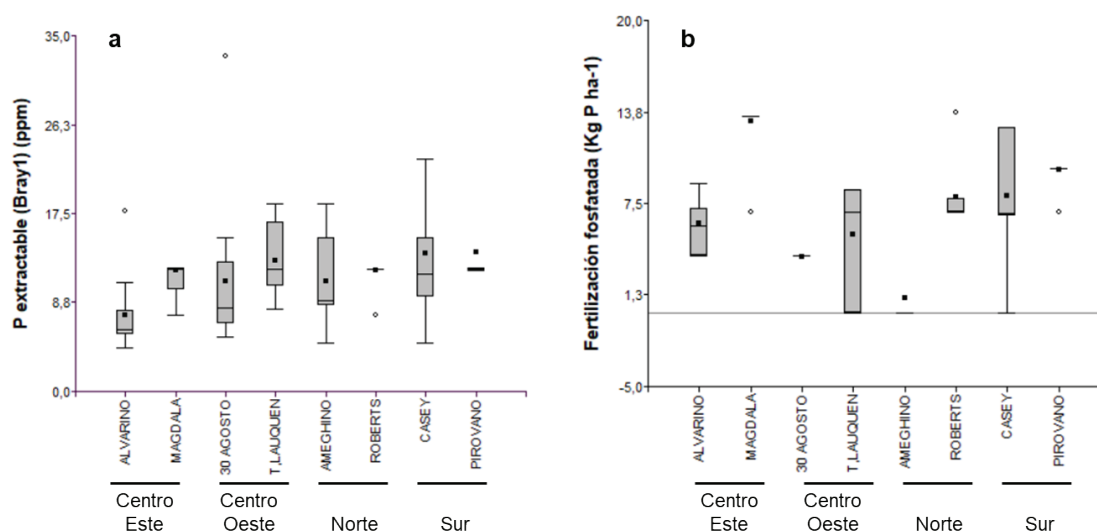


Fig. 3: Niveles de P Bray1 (Bray1) y dosis de fertilización fosfatada utilizada en el cultivo de soja en distintas localidades dentro de las 4 subregiones del Oeste (OES) a lo largo de 3 campañas (2017-20). Las cajas indican la distribución de datos (percentil 25, 50 y 75) y los promedios se muestran como puntos sobre las cajas. Las líneas por fuera de las barras indican el desvío estándar y los valores extremos no incluidos corresponden a aquellos que superan la media + 3 desvíos estándar. Para cada subregión se seleccionaron 2 localidades con similar número de casos: Alvarino $n=49$; Magdala $n=42$; 30 agosto $n=14$; Trenque Lauquen $n=18$; Ameghino $n=14$; Roberts $n=64$; Casey $n=58$; Pirovano $n=51$.

Respecto al cultivo antecesor, en OAR y SDE el nivel de P Bray1 fue en promedio 25% mayor con antecesor maíz que con antecesor soja mientras que para el OES el antecesor no modificó el nivel de P Bray1 (Fig. 4). En contraste con estos resultados, Rubio et al. (2012) reportaron que maíz presenta mayor agotamiento del P Bray1 que soja en ensayos conducidos a campo en Alberti (región OES). Aquel autor señala que no habría diferencias entre ambos cultivos en la capacidad de acidificación del suelo. Posiblemente, las discrepancias estén relacionadas a las diferencias en los niveles de fertilización con P en cada cultivo y el balance de P de soja y maíz, como se muestra en la Tabla 1.

Respecto al tipo de ambiente productivo de los lotes en cada región, detectamos variación significativa en la región OES pero no en el SDE (Fig. 5). En el OES el nivel de P Bray1 se correspondió negativamente con los rendimientos alcanzados, siendo menor en lomas productivas y bajos dulces (Fig. 5a), que alcanzaron los máximos rendimientos (datos no mostrados), con niveles intermedios para suelos tapto a profundidad <60 cm y máximos en lomas arenosas. En cambio, en SDE no se detectaron diferencias en el nivel de P Bray1 entre ambientes (Fig. 5b) mientras que los rendimientos fueron hasta un 30% mayores en ambientes de suelo franco comparado con ambientes planos de suelo somero (datos no mostrados). Esto podría estar relacionado a balances mucho menos negativos en el SDE (Tabla 1) donde el rendimiento no impactaría directamente sobre el nivel de P extractable.

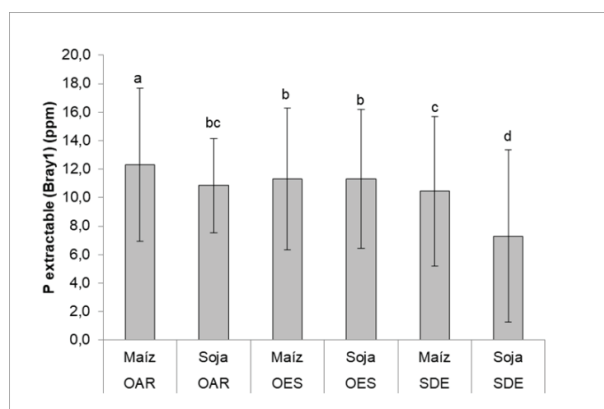


Fig. 4: Niveles de P Bray1 (Bray1) en cada una de las regiones analizadas según el cultivo antecesor a lo largo de 3 campañas (2017-20). Las líneas encima de las barras indican el desvío estándar y letras distintas indican diferencias mínimas significativas (LSD) al nivel de $P < 0,05$. El n varía para cada combinación de antecesor y región (OAR maíz= 302; OAR soja= 266; OES maíz= 562; OES soja= 244; SDE maíz= 265; SDE soja= 53).

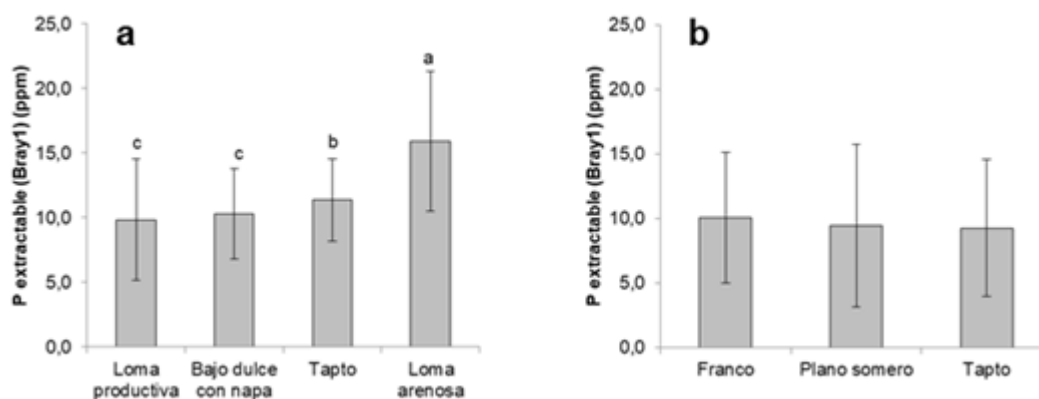


Fig. 5: Niveles de P Bray1 en dos de las regiones analizadas según la clasificación del ambiente productivo intra-regional a lo largo de 3 campañas (2017-20): OES (izq) y SDE (der). Las líneas encima de las barras indican el desvío estándar y letras distintas indican diferencias mínimas significativas (LSD) al nivel de $P < 0,05$. El n varía para cada combinación (en OES: loma n=347; bajo n=157; tapto n=142; loma arenosa n= 172; en SDE franco n=160; plano n= 46; tapto n=117).

Balances de P en distintos cultivos

En las 3 regiones analizadas el cultivo de soja presentó los balances de P más negativos (hasta -14 Kg P ha⁻¹ en OAR) y el cultivo de trigo fue el único que presentó balances positivos (Tabla 1).

Tabla 1: Dosis de P (Fert P), Extracción por el cultivo (Extr), Balance por campaña (Bal) en Kg P ha⁻¹ y número de casos (n) analizados durante 3 campañas (2017-20) en las 3 regiones estudiadas.

	OAR				OES				SDE			
	Fert P	Extr	Bal	N	Fert P	Extr	Bal	N	Fert P	Extr	Bal	N
Girasol	7,7	14,1	-6,4	560	10,1	15,1	-5,0	923	11,5	15,8	-4,3	813
Maíz	14,6	21,5	-6,9	1001	19,3	23,6	-4,2	1572	19,0	20,3	-1,3	1012
Soja	3,4	17,9	-14,5	2349	4,5	17,7	-13,3	4202	7,5	14,4	-6,9	2172
Trigo	19,0	13,8	5,2	512	17,3	15,3	2,0	637	21,6	15,9	5,7	914

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas en el nivel de P Bray1 dentro de la Región Pampeana. Si bien parte de estas diferencias pueden ser atribuibles al material parental (ej., en SDE), nuestro análisis sugiere efectos asociados a las prácticas de fertilización (entre localidades cercanas), al cultivo antecesor (siendo mayor con antecesor maíz) y al tipo de ambiente (siendo menor en ambientes de mayor potencial). Estos resultados destacan la importancia de (i) el cultivo de soja y la rotación en la determinación de la marcha del P del suelo y (ii) las dificultades de extrapolar resultados entre regiones diferentes ya que la importancia relativa de estos efectos varía según la región, no sólo por las características agroecológicas propias sino también por los patrones de manejo.

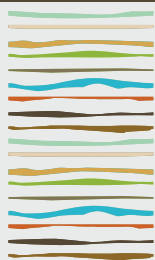
AGRADECIMIENTOS

Al movimiento CREA y al Proyecto DAT. Especial agradecimiento a la extensa red de productores y técnicos (miembros y asesores CREA) que contribuyen reportando los datos.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, L & E Noellemeyer. 2022. Landscape and topography effects on phosphorus fractions in Mollisols of the Argentinean Pampas. *Geoderma Regional*, 30: e00542.
- Cabello, MJ; FH Gutiérrez Boem; CE Quintero & G Rubio. 2016. Soil characteristics involved in phosphorus sorption in Mollisols. *Soil Sci. Soc. of America J.*, 80(6): 1585-1590.
- Cruzate, GA & R Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 44: 21-26.
- García, FO & A Correndo. 2016. Cálculo de requerimientos nutricionales. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes de cereales, oleaginosas, industriales, forrajeras y hortalizas. IPNI, Programa Latinoamérica Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.
- Rozas, HS; H Echeverría & H Angelini. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extra-Pampeana argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(1): 33-39.
- Rubio, G; V Faggioli; JD Scheiner & FH Gutiérrez-Boem. 2012. Rhizosphere phosphorus depletion by three crops differing in their phosphorus critical levels. *J. of Plant Nutrition and Soil Sc.*, 175(6): 810-871.
- Sucunza, FA; FHG Boem; FO García; M Boxler & G Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agr.* 96: 87-95.





CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS CAÑEROS DEL PEDEMONTES DE TUCUMÁN POR CAPACIDAD DE FERTILIDAD (FCC)

Arroyo E.A., Sanzano G.A., Rojas Quinteros H.C., Navarro Di Marco J.P. y Madrid F.R.¹

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres;
El Colmenar, Las Talitas (T4101). Prov. de Tucumán, earroyo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El sistema de Clasificación de Suelos por su Capacidad de Fertilidad (FCC por sus siglas en inglés) agrupa los suelos según el tipo de problemas que presentan para el manejo agronómico de sus propiedades químicas y físicas, enfatizando los parámetros cuantificables de la capa superficial. El objetivo de este trabajo fue generar una clasificación específica para los suelos cañeros del pedemonte que permitió identificar las principales limitantes edáficas y su recomendación de manejo agronómico. Se seleccionaron 115 sitios cultivados con caña de azúcar del pedemonte de Tucumán y en cada uno de ellos se determinó las siguientes propiedades químicas: pH actual, salinidad, calcáreo, materia orgánica, fósforo disponible, sodio intercambiable, potasio, calcio, magnesio y capacidad de intercambio de cationes. Además se cuantificó porcentaje de arena, limo y arcilla. También se tuvo en cuenta características del paisaje como relieve, pendiente (%), profundidad (cm) moteados y presencia de pedregosidad en el perfil de suelo. El sistema FCC consta de dos niveles categóricos: la primera categoría, tipo / tipo de substrato, describe la textura de la capa superior del suelo (0-30) y del subsuelo (30-60) y se expresa en letras mayúsculas (A: todo arenoso; AA: capa superior arenosa subyacente por un subsuelo arcilloso). El segundo nivel está constituido por los **modificadores** que son aquellos parámetros químicos o físicos que influyen de manera negativa en la fertilidad del suelo y están referidos a la capa arable. Los sitios estudiados se clasificaron en categoría Arenosos (A) y Francos (F), sin limitación en más del 40% de los sitios considerados Franco. Los suelos clasificados como arenosos la limitación principal fue el lavado de bases intercambiables y bajo contenido de materia orgánica. Las limitaciones relevadas para los suelos cañeros pedemontanos podrían ser superadas y/o mitigadas con manejos agronómicos de bajo costo para el productor.

Palabras clave: caña de azúcar, nutriente, limitante.

INTRODUCCION

Los parámetros medidos en la taxonomía de suelos se han seleccionado cuidadosamente como los necesarios para clasificarlos como cuerpos naturales. Estos sistemas de clasificación de suelos ignoran muchos atributos inherentes o dinámicos cruciales para la productividad de las plantas. El sistema de Clasificación de Suelos por Capacidad de Fertilidad (FCC por sus siglas en inglés) agrupa a los suelos según el tipo de problemas que presentan para el manejo agronómico de sus propiedades químicas y físicas, enfatizando los parámetros cuantificables de la capa superficial del suelo, así como las propiedades del subsuelo directamente relevantes para el crecimiento de las plantas (Sánchez *et al.*, 1982, Sánchez *et al.*, 2003). Este sistema es una clasificación de suelos basada en restricciones de fertilidad, cuantificadas a partir de modificadores de condición. Para caña de azúcar se tomarán aspectos de fertilidad que se incluirán como modificadores en relación a las recomendaciones de fertilización nitrogenada que se basan principalmente en el potencial de rendimiento del cañaveral por lote, el aporte de N del suelo medido por la materia orgánica. Pérez Zamora (1999), en ensayos locales estableció como criterio de interpretación la existencia de tres zonas bien defini-

das de abastecimiento fósforo disponible del suelo: bajo (menos de 13 ppm de P), medio (13 a 20 ppm de P) y alto (mayor a 20 ppm de P), asociados a una respuesta segura, respuesta probable y sin respuesta a la fertilización fosfatada, respectivamente. Con respecto a los cationes de cambio, valores críticos de potasio para caña de azúcar, en Colombia según Quinteros Durán (1995) son de <0.15 K intercambiable (cmol/kg). En Australia se reporta como crítico en suelo 1,5 cmolc/kg para Ca y 0,3 cmolc/kg para Mg según Kignston (2009). La caña de azúcar crece en una gran variedad de tipos de suelos, pero los más adecuados son los profundos, bien drenados, fértiles, no compactados libres de piedra (Rodríguez Delgado et al. 2013, Sanzano et al., 2015). Con respecto a la profundidad de suelo, con menos de 20 cm de profundidad efectiva se afecta el crecimiento radical y con menos de 40 cm la biomasa de la planta sobre el suelo y su productividad en azúcar se ve afectada; en cuanto a la pedregosidad del suelo por encima del 40% de grava se ve afectada la biomasa formada en la parte aérea de la planta (Contreras Muñoz et al., 2011). El objetivo de este trabajo es generar una clasificación específica para los suelos cañeros del pedemonte lo que permitirá identificar las principales limitantes edáficas y su recomendación de manejo agronómico. Se observó que más del 70% de los sitios estudiados se clasificaron en la categoría Francos. El 13% de los casos restantes son suelos que en su tipo presentan texturas medias y en el sustrato texturas con alto contenido de arena; y el 11% de suelos analizados presentan un fuerte dominio de las partículas de arena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se seleccionaron 115 sitios cultivados con caña de azúcar en la región agroecológica del pedemonte de Tucumán. Para cada uno de estos sitios se caracterizó las siguientes propiedades químicas: pH actual (agua 1:2,5), salinidad (conductividad eléctrica en extracto de saturación, dS/m), calcáreo (gasesimetría, $\text{CaCO}_3\%$), materia orgánica oxidable (Walkley-Black, %), fósforo disponible (Bray y Kurtz II, ppm), sodio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), potasio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), calcio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg), magnesio intercambiable (acetato de amonio a pH=7,0, Cmolc/kg) y capacidad de intercambio de cationes (acetato de sodio pH=8,2, Cmolc/kg). Además se cuantificó el porcentaje de arena (Tamiz 2mm a 50 μ , %), limo (hidrómetro de Bouyoucos, %) y arcilla (hidrómetro de Bouyoucos, %) para establecer la clase textural del suelo. También se tuvo en cuenta características del paisaje como relieve, pendiente (%), profundidad (cm) y presencia de pedregosidad en el perfil de suelo.

En cada sitio de muestreo se aplicó el método FCC para la clasificación de los suelos de acuerdo las características de la capa superficial (tipo) y subsuperficial (tipo de sustrato), lo que permitió la identificación de la principal limitante en cada sitio. Para la conformación de los grupos de suelos se aplicó la técnica de agrupación por conglomerados del programa Infostat.

El sistema FCC consta de dos niveles categóricos: la primera categoría, tipo / tipo de sustrato, describe la textura de la capa superior del suelo y del subsuelo y se expresa en letras mayúsculas (A: todo arenoso; AAr: capa superior arenosa subyacente por un subsuelo arcilloso, por ejemplo). Este nivel se determinó por la textura de la capa arable, o de los primeros 30 cm de profundidad. La denominación y rango son:

A: Arenosos (textura arenosa y arenosa franca); F: Francos $<35\%$ de arcilla (excluidos los arenosos y arenosos francos); Ar: Arcillosos $>35\%$ de arcilla y O: Orgánicos $>30\%$ de materia orgánica hasta los 50 cm o más. El tipo de sustrato se utiliza cuando existe un cambio textural significativo dentro de los primeros 50 cm de suelo. En este caso se utilizó cuando se detectó un cambio significativo en la textura del suelo entre los 30 a 60 cm de profundidad. Se expresó con las mismas letras que el tipo añadiendo la "R" en caso de que una roca o una capa dura se encuentren dentro de esa profundidad. Cuando se utiliza la letra O no se emplea el sustrato. A: subsuelo arenoso, textura como el tipo; F: subsuelo franco; textura como el tipo; Ar: subsuelo arcilloso, textura como el tipo; R: roca u otra capa dura que restringe el crecimiento de las raíces.

El segundo nivel está constituido por los **modificadores** que son aquellos parámetros químicos o físicos que influyen de manera negativa en la fertilidad del suelo y están referidos a la capa arable. El sistema consta de 17 modificadores definidos para delimitar las condiciones específicas del suelo que afectan el crecimiento de las plantas con límites cuantitativos, en este trabajo solo se utilizaron aquellos presentes en los suelos



de Tucumán. Para indicar la existencia de estos limitadores se emplean letras en minúsculas, a continuación algunos ejemplos: "g" exceso de agua; "d" aridez; "e" baja capacidad de intercambio de cationes; "a" aluminio en cantidades tóxicas; "h" acidez, "i" alta fijación de fósforo por hierro, "v" características vérticas; "k" deficiencias de potasio, "b" carbonatos libres; "s" salinidad, "n" sodio; " " para gravas o fragmentos gruesos; " " " muchas gravas y fragmentos gruesos; "%" pendiente. Los suelos se clasificaron de acuerdo a la presencia o no de la característica limitante. Algunos de estos modificadores se adaptaron con valores críticos específicos para el cultivo de caña de azúcar como ser m, p, k, % según la información de bibliografía local, regional y/o internacional.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos a partir del análisis de clúster resultó en un agrupamiento en 3 conjuntos bien marcados en la categoría de Tipo y Substrato, donde la totalidad de sitios analizados se clasificaron en la categoría Franco (F) y Arenoso (A). La categoría Arcillosa (Ar) no fue discriminada por el análisis de manera significativa, solo 1 sitio se registró en esta clase de acuerdo a los criterios del FCC.

El agrupamiento de clúster discriminó por textura de suelo el grupo franco (F) que posee dos subdivisiones, por un lado suelos francos y francos limosos en la capa superficial y substrato; por otro suelo con mayor contenido de material fino como ser arcilla. En el otro conjunto de sitios discriminado, se observó un predominio de arena (Figura1).

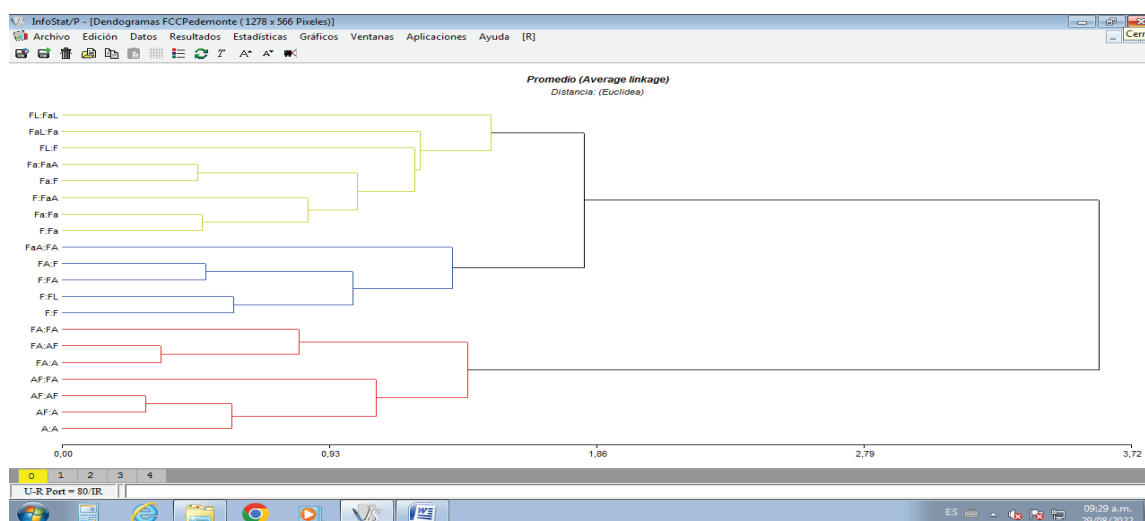


Figura 1 Dendrograma de clasificación particionado por textura de suelo.

Se observó en la Tabla 1 que más del 70% de los sitios estudiados se clasificaron en la categoría Franco. El 13% de los casos restantes son suelos que en su tipo presentan texturas medias y en el substrato texturas con alto contenido de arena; y el 11% de suelos analizados presentan un fuerte dominio de las partículas de arena. Solamente 1 sitio presentó contenido de arcilla suficiente (>35%) para ser clasificado como arcilloso por FCC. Esto coincide con lo reportado para esta zona por Fadda y Zuccardi 1985; Fogliata 1995 y Arroyo et al., 2018.

Tabla 1. Sitios, porcentajes y clasificación FCC.

Sitios	%	Clasificación FCC
84	73,0	F, Fe, Fg, F%, Fm, Fp y Fk
15	13,0	FA, FAe, FAg
13	11,3	Ae, Am
2	1,7	AF
1	0,9	FAr

En más del 40% de los sitios analizados en la categoría Franco no registró limitación para el cultivo de caña de azúcar, pero se evidenció un lavado de las bases de cambio, suelos con signos de hidromorfía a poca profundidad, y suelos donde la pendiente es una limitación a tener en cuenta, y en menor medida suelos con bajo contenido de materia orgánica, fósforo o potasio (Tabla 2).

Tabla 2. Partición de categoría F y clasificación FCC.

Tipo/Substrato	Sitios	%	Clasificación FCC
F	41	48,8	F
	18	21,4	Fe
	10	11,9	Fg
	6	7,1	F%
	4	4,8	Fm
	3	3,6	Fp
	2	2,4	Fk

Suelos que presentan un tipo franco y substrato arenoso (FA) se clasificaron en perfiles sin limitaciones para el cultivo de caña o con limitaciones también relacionadas al lavado de bases de cambio. Sanzano et al 2017 detectó para el pedemonte de Tucumán suelos ácidos, muy lavados, de texturas gruesas que podrían requerir especial atención para satisfacer los requerimientos nutritivos de Ca, Mg y K. Los sitios clasificados como arenosos (A) por FCC la limitación principal está dado por el lavado de bases intercambiables y bajo contenido de materia orgánica. Deficiencias de calcio y prácticas de encalados fueron indicadas por Hernández y Figueroa 2005, para áreas del pedemonte con suelos gruesos y alta pluviometría. Arroyo et al 2018 detectaron una desaturación de bases intercambiables en el área cañera pedemontana en más del 80% de la zona de estudio.

Para cada una de las limitaciones identificadas por el FCC se recomienda una práctica agronómica que permita superar y/o atenuar esta condición para la producción de caña de azúcar (Tabla3).



Tabla 3. Clasificación FCC, limitación y principales recomendaciones agronómicas.

Clasificación FCC	Limitación	Recomendación agronómica
F, FA, AF	Sin limitación	Mantener el residuo de cosecha en superficie (RAC).
Fe, FAe, Ae	Lavado de bases de cambio	Restitución de bases de cambio con la utilización de fertilizantes compuestos que contengan Ca, Mg y K.
Fg, FAg	Condiciones de anaerobiosis temporales	Sistematización para eliminación de excesos hídricos, limpieza de canales que activen el escurrimiento e incorporación de los residuos agrícola de cosecha (RAC).
Fm, Am,	Bajo contenido de materia orgánica	Mantenimiento del RAC en superficie. Incorporación de cachaza y/o vinaza en dosis recomendadas según reglamentación local.
F%	Pendiente	Sistematización de surcos y callejones que permitan disminuir el escurrimiento del agua y mantenimiento de cobertura en callejones y surcos para disminuir la velocidad del agua.
Fp	Bajo contenido de fósforo	Uso de fertilizantes fosforados en plantación, para construcción y reposición. Uso de cachaza en pre-plantación según recomendaciones locales.
Fk	Bajo contenido de potasio	Aplicación de fertilizantes potásicos en el esquema de fertilización. Uso de vinaza en dosis recomendadas según reglamentación local.
FAR	Contraste textural	Mantenimiento RAC en superficie.

CONCLUSIONES

Más del 40% de los sitios analizados de acuerdo a su aptitud de fertilidad no presentan limitaciones para el cultivo de caña de azúcar en la zona pedemontana.

Cerca del 25% de los sitios estudiados evidencian pérdida de bases de cambio, debido a texturas con predominancia de arena y alta pluviometría.

Solo se detectó la presencia de 1 sitio con altos contenidos de arcilla para ser considerado por el sistema FCC.

Las limitaciones indicadas por el FCC podrían ser superadas de manera sencilla mediante prácticas agronómicas de bajo costo que van desde mantener el RAC en superficie hasta la utilización de fertilizantes compuestos ricos en macronutrientes, práctica que actualmente no es de uso general por el productor cañero.

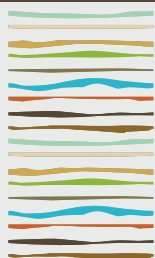
BIBLIOGRAFIA

- Arroyo E., N. Aranda, G.A. Sanzano, H. Rojas Quinteros y J. Navarro Di Marco 2018. Estado actual de saturación con bases en hapludoles del oeste del área agrícola de Tucumán. XXVI Congreso argentino de la ciencia del suelo. Tucumán, Argentina, pp 413-416.
- Arroyo, E.; N. Aranda y A. Sanzano. 2018. Reconocimiento de suelos productivos en el sur del departamento Monteros, provincia de Tucumán. Revista Avance Agroindustrial 39 (3).
- Contreras Muñoz, V.; N. Arzola Pina. 2011. Estudio de factores edáficos potencialmente limitantes del rendimiento de la caña de azúcar. II Congreso Nacional de la Caña de azúcar y sus derivados. 25 al 27 Mayo 2011.
- Fogliata, F. A. 1995. Factores edáficos limitantes del cultivo. En: Agronomía de la caña de azúcar. Ediciones El Graduado. Tucumán, Argentina. Vol. 2. (Tomo II): 698-713.
- Kingston, G; MC Anink K, B.M Clift, RN beattie. 2009. Potassium management for sugarcane on base saturated soils In northern new south wales. Proc Aust Soc Sugar Cane Technol. Vol. 31.
- León Ortiz, M.; Pérez Iglesias, H; Villegas Delgado, R. 2013. Nutrición y Fertilización. En: Ana María Muñoz Bachs. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar. Grupo azucarero Azcuba. Inst. de Invest. de la caña de azúcar.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris; A. Menéndez; R. Villegas y N. Dantur. 1999. Diagnóstico de las necesidades de fertilización nitrogenada



- de las cañas socas en Tucumán (Argentina). *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT)* 76 (1-2): 37-40.
- Quintero Durán, R. 1995. Fertilización y Nutrición. En: Cassalettdavila C, Torres Aguas, J y Echeverri, C.I.(eds). *El Cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia*. CENICAÑA.
- Rodríguez Delgado, I.; Pérez Iglesias H.; Arcía Porrúa, F.; Benítez Puig, Ledy. 2013. Manejo y conservación de suelos. En: Ana María Muñoz Bachs. *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar*. Grupo azucarero Azcuba. Inst. de Invest. de la caña de azúcar.
- Sánchez, P.A., Couto, W., Buol, S.W., 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. *Geoderma* 27, 283–309.
- Sánchez, P.A., PalmC.A; Boul S.W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114, 157-185.
- Sanzano, G.A, E. Arroyo, N. Aranda, H. Rojas Quinteros, F. Madrid y J. Di Marco. 2017. Muestreo intensivo para determinar la fertilidad del área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina. XIV Congreso Internacional sobre el azúcar y sus derivados. Cuba.
- Sanzano, A; N. Aranda; E. Arroyo; F. Sosa; J. Romero; C. Sotomayor; R. Correa; C. Hernández; M. Morandini; y H. Rojas Quinteros. 2015. Características y manejo de los suelos cañeros en Tucumán. Ed. Digonzelli, P. *Guía Técnica del cañero*. Tucumán-Argentina.
- Zuccardi, R.B y G. Fadda. 1985. Bosquejo agrologico de la provincia de Tucumán, Misc. 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia. UNT. Tucumán. Argentina.





EVALUACION DE DOSIS Y FUENTES DE FOSFORO Y AZUFRE EN MAÍZ, TRIGO Y SOJA EN LA REGION PAMPEANA CENTRAL DE ARGENTINA

Balza, M.E.^{1*}, M. Boxler², F. O. García^{2,3}

¹ OCP de Argentina;

² Asesor privado;

³ Consultor y FCA (UNMdP).

* Arias 3751 21º, (1430) CABA, balza.mauro@ocpgroup.ma

RESUMEN

El balance parcial de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) es deficitario para los principales cultivos anuales. La caída de la fertilidad natural de los suelos ha sido documentada para la región pampeana argentina. Mejoras en la oferta de los nutrientes y de dosis aplicadas permitirían alcanzar los rendimientos potenciales, impactando positivamente no solo en los niveles productivos, sino también en la fertilidad de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar dos alternativas de fuentes y dosis de P y S en los cultivos de maíz, trigo y soja. Para ello, durante las campañas agrícolas 2018/19 a 2021/22, se desarrollaron 16 ensayos en la región pampeana central. Se incluyeron dos niveles de dosis y dos fuentes de PS, una mezcla química y una física. Previo al momento de la siembra se tomaron muestras de suelos (0-20cm) para la determinación de las propiedades químicas. Al momento de cosecha se obtuvo el rendimiento en kg ha⁻¹ corregido por humedad. El análisis conjunto de los 6 ensayos de maíz indicó respuestas significativas a P (+5-8%) y PS (+11-12%). En trigo, el análisis conjunto mostró respuestas a P (+8-20%) y tendencias con PS (+21-23%). En soja 1ª y soja 2ª, las respuestas del análisis conjunto se observaron a P (+5-13%) y a PS (+14-20%). En soja y trigo, la dosis de P10 presentó menores respuestas que P20. La aplicación de PS en mezcla química obtuvo diferencias significativas respecto de la mezcla física en maíz y soja 1ª. La respuesta a P estuvo asociada a los bajos niveles de disponibilidad en suelo, con 14 sitios con valores por debajo de 15 ppm. La adición de S permitió explorar niveles productivos superiores si bien la mayoría de los sitios presentaron valores de S-SO⁻⁴ considerados como medios a altos. Los resultados muestran el impacto positivo de la nutrición balanceada y su contribución para disminuir la brecha de rendimientos.

Palabras clave: nutrición balanceada, dosis, fuentes.

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, el balance de nutrientes es deficitario para los principales macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) (García y González Sanjuan, 2016). Un balance negativo conlleva a la pérdida de la fertilidad natural de los suelos, por lo que la productividad de los cultivos puede verse limitada. Esta caída de la fertilidad ha sido documentada para diversos nutrientes e indicadores edáficos (Wingeyer et al., 2015; Sainz Rozas et al., 2019). En el caso de P, por ejemplo, los niveles de P Bray han disminuido en los últimos años, ubicando la mayor parte de los suelos agrícolas en rangos considerados entre medios y bajos. Si bien en las últimas campañas se ha incrementado el consumo de fertilizantes, recientemente la Bolsa de Cereales de Buenos Aires ha publicado que, considerando los principales cultivos extensivos de la región pampeana (trigo, soja, maíz, girasol, sorgo, cebada) en la campaña agrícola 2020/21, se repusieron vía fertilización el 70% del N, 75% del P y solo el 28% del S extraídos vía la cosecha de granos (RETAA, 2022). Considerando el balance parcial de nutrientes por cultivos, en el caso de soja se remueven del suelo, en promedio, 11 kg ha⁻¹ de P y 7 kg ha⁻¹ de S. El balance también es negativo para maíz en N (-35 kg ha⁻¹), P (-9 kg

ha⁻¹) y S (-9 kg ha⁻¹). Una nutrición balanceada y un aumento de las dosis aplicadas no solamente permitiría reducir esta brecha de nutrientes sino también alcanzar el 70-80% de los rendimientos potenciales (Aramburu Merlos et al., 2015; Monzón et al., 2022). La adopción de prácticas mejoradas de manejo de nutrientes ha sido documentada a través de números trabajos científicos y redes de ensayos en lotes de producción (Correndo et al., 2015; Ferraris et al., 2015; Gelso et al., 2019). Grasso et al. (2019) informaron incrementos en el rendimiento de soja del 30%, de maíz 36% y de trigo 46% en tratamientos de nutrición mejorada de alta producción respecto del testigo sin fertilizar. Por otra parte, otro de los principios del manejo responsable de nutrientes consiste en determinar la fuente correcta para asegurar una oferta balanceada de nutrientes. Dentro de los fertilizantes químicos, los productos compuestos evitan la segregación de partículas durante el transporte o la manipulación, asegurando una distribución uniforme en la zona de aplicación. El desarrollo de nuevas fórmulas químicas puede contribuir en la toma de decisiones para alcanzar ambos principios. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos alternativas de fuentes y dosis de P y S en los cultivos de soja, maíz, y trigo en la zona pampeana central.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22 se desarrollaron 16 ensayos en los cultivos de maíz, trigo, y soja 1ª y 2ª en la región pampeana central, norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba (Tabla 1).

Tabla 1. Ensayos de evaluación de fuentes PS en la región pampeana central. Campañas 2018/19 a 2021/22.

Campaña	Cultivo	Localidad	Fecha siembra	Fecha cosecha	P Bray I mg kg ⁻¹	S-SO ₄ mg kg ⁻¹	MO %	pH
18/19	Maíz	Diego de Alvear	14-Dic-18	02-Jul-19	11	10	3,3	5,9
18/19	Maíz	Viamonte	12-Dic-18	28-Jun-19	9	12	2,9	6,2
19/20	Maíz	Pergamino	07-Oct-19	16-May-20	6	11	2,7	5,7
19/20	Maíz	Diego de Alvear	26-Sep-19	21-Mar-20	13	9	1,9	5,7
19/20	Trigo	Alejo Ledesma	20-Jun-19	04-Dic-19	13	11	2,3	6,0
19/20	Soja 2ª		06-Dic-19	21-Abr-20				
20/21	Maíz	Marcos Juárez	19-Nov-20	29-Abr-21	27	14	2,2	5,8
20/21	Soja 1ª	Marcos Juárez	19-Nov-20	29-Abr-21	11	11	2,2	5,8
20/21	Soja 1ª	Diego de Alvear	02-Nov-20	02-Abr-21	10	5	1,8	5,7
21/22	Maíz	Marcos Juárez	23-Sep-21	24-Abr-22	15	11	2,5	-
21/22	Soja 1ª	Diego de Alvear	04-Nov-21	26-Abr-22	27	13	2,8	5,9



21/22	Soja 1ª	Marcos Juárez	29-Nov-21	28-Abr-22	11	11	2,5	5,9
21/22	Trigo	Diego de Alvear	24-Jun-21	14-Nov-21	7	16	1,9	-
21/22	Soja 2ª		16-Dic-21	28-Abr-22				
21/22	Trigo	Villa Elisa	18-Jun-21	11-Nov-21	6	16	3,2	-
21/22	Soja 2ª		22-Dic-21	26-Abr-22				

Los sitios seleccionados presentan una larga historia agrícola y manejo bajo el sistema de siembra directa. Previo a la instalación de los ensayos se realizó el muestreo de suelo (0-20cm) para la determinación de pH, fósforo extractable (Bray & Kurtz, 1945), materia orgánica (Walkey & Black, 1934), y S-SO₄ (Johnson, 1987) (Tabla 1).

El protocolo utilizado correspondió a la aplicación de tratamientos de P y PS en dos dosis de P y con tres fuentes de fertilizantes (Tabla 2). Las fuentes evaluadas incluyeron fosfato monoamónico, una mezcla física de fosfato monoamónico y yeso granulado, y una mezcla química experimental de composición NPS. En los cultivos de gramíneas, se aplicó una dosis de urea para equilibrar el aporte de N en todos los tratamientos y no limitar el abastecimiento de N para altos rendimientos. Los fertilizantes fueron aplicados en la línea de siembra para el caso de las fuentes de P y PS, mientras que el complemento con N como urea se aplicó en el entresurco. En el caso de la soja de 2ª, se registró el efecto residual de los tratamientos aplicados en el trigo ya que la misma fue sembrada sobre las mismas parcelas aplicadas en el cultivo antecesor. A madurez fisiológica se determinó el rendimiento en kg ha⁻¹, el cual fue corregido a humedad comercial.

Tabla 2. Tratamientos evaluados en los 16 ensayos.

	Fuente P	Fuente S	Nutrientes (kg ha ⁻¹)	
			P	S
Testigo	-	-	0	0
MAP10	Fosfato monoamónico (11% N, 22.5% P)	-	10	0
MAP20			20	0
MAPS10	Mezcla física de fosfato monoamónico (11% N, 22.5% P) y yeso granulado (19% S)	20	10	6
MAPS20			11	
NPS10	Mezcla química (12% N, 19% P, 10% S, grado equivalente 12-43-0-10S)	20	10	6
NPS20			11	

Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño en bloques con repeticiones al azar. Los resultados de rendimiento se analizaron por ensayo a través de análisis de varianza y separación de medias por la prueba de la diferencia mínima significativa. Para un análisis conjunto por cultivo, se realizó un análisis de varianza y separación de medias por la prueba de la diferencia mínima significativa, considerando cada ensayo como bloque.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 15 de los 16 ensayos se observaron diferencias significativas entre el tratamiento Testigo y los tratamien-



tos fertilizados. En los 6 ensayos de maíz, las respuestas a P, S y la mezcla química PS fueron significativas en 5, 2 y 3 sitios, respectivamente. En los 3 ensayos de trigo, se observaron respuestas significativas P y S y en uno de los sitios respuesta a PS mezcla química. Para soja 1ª, las respuestas en los 4 sitios fueron variables: 2 ensayos presentaron respuesta a P, 1 a S, y 3 a PS mezcla química. Finalmente, para los 3 ensayos de soja 2ª, las respuestas fueron a P en 2 sitios y a PS mezcla química en 2 sitios. El análisis conjunto de los 6 ensayos de maíz indica respuestas significativas a P (+5-8%) y PS (+11-12%) (Figura 1a). En trigo, el análisis conjunto indica respuestas a P (+8-20%) y tendencias con PS (+21-23%) (Figura 1b). En soja 1ª y soja 2ª, las respuestas del análisis conjunto se observan a P (+5-13%) y a PS (+14-20%). Las dosis de 10 y 20 kg ha⁻¹ de P no se diferenciaron en maíz, ya sea sin (tratamientos MAP) o con aplicación de S (tratamientos MAPS o NPS). En trigo, soja 1ª y soja 2ª, la dosis de P10 con MAP solo (MAP10) mostró menores rendimientos que MAP20, pero no se observaron diferencias entre dosis de P con aplicación de S (comparación de tratamientos MAPS10 vs MAPS20 o tratamientos NPS10 vs NPS20). La aplicación de PS con mezcla física o química resultó en respuestas similares en trigo, pero se observaron diferencias significativas a favor de la mezcla química en maíz y soja 1ª. En soja 2ª, se observó un mayor rendimiento con la mezcla química solo para tratamientos con P20 (comparación MAPS20 vs NPS20). Las respuestas a P se atribuyen a los bajos niveles de P Bray de los sitios evaluados, 14 de los 16 sitios presentaron niveles de 15 mg kg⁻¹ de P Bray o menores. La relación entre los rendimientos relativos de P (rendimiento Testigo/rendimiento tratamiento MAP10 o MAP20) muestra que las respuestas a P fueron superiores al 5% en 12 de esos 13 sitios coincidiendo con calibraciones de niveles de críticos de P Bray en la región (Sucunza et al., 2018) (Figura 2). Las respuestas a S fueron de menor frecuencia que a P, lo que se podría atribuir a los niveles medios a altos de S-SO₄ en varios de los sitios de ensayo (Tabla 1). Solamente 2 de los 16 sitios presentaron niveles de S-SO₄ menores a 10 mg kg⁻¹, un valor indicado como crítico para la región (García et al., 2010).

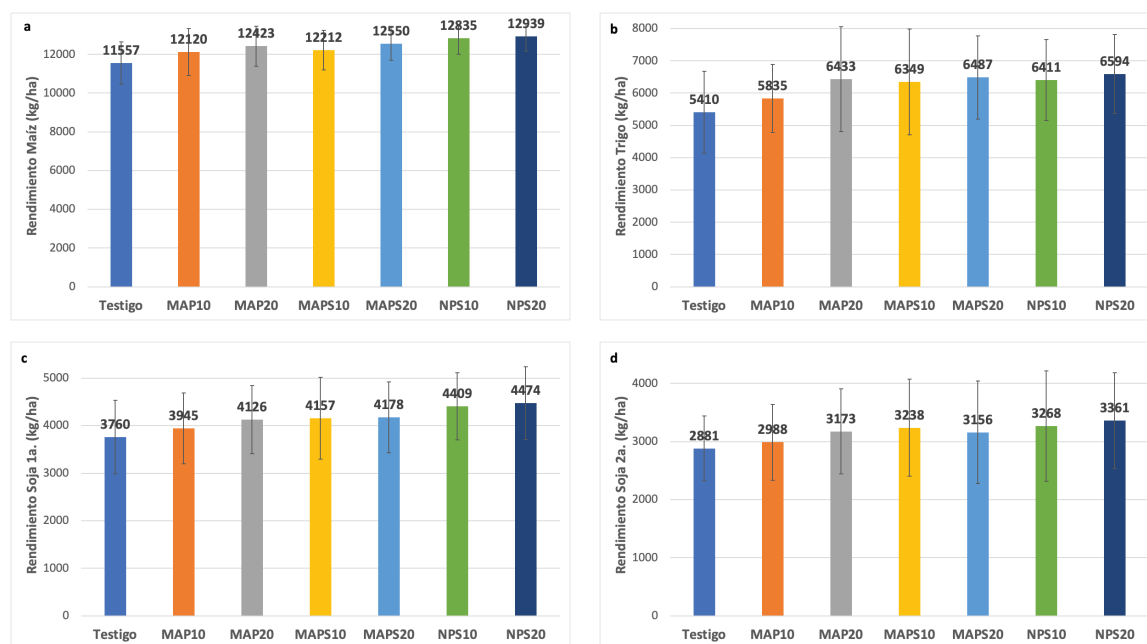


Figura 1. Rendimientos promedio por tratamiento de los 6 ensayos de maíz (a), 3 ensayos de trigo (b), 4 ensayos de soja 1ª (c) y 3 ensayos de soja 2ª (d). Campañas 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22. Las barras verticales indican el desvío estándar.

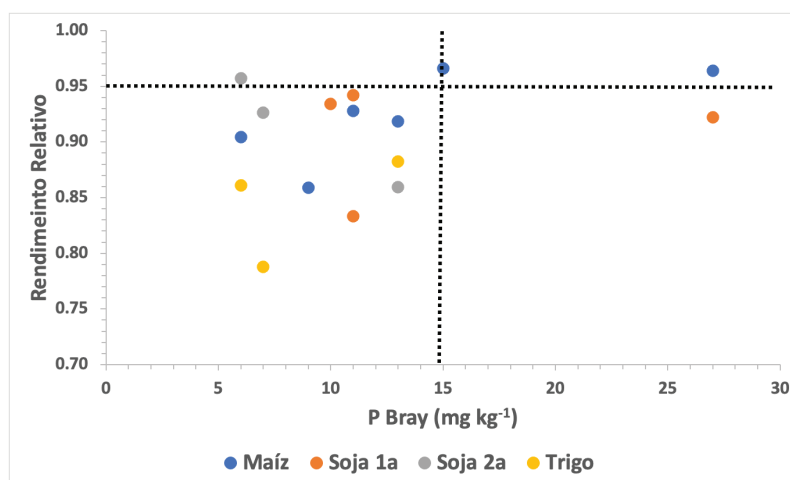


Figura 2. Rendimientos relativos de P (Rendimiento Testigo/Rendimiento MAP10 o MAP20) en función del nivel de P Bray par los 6 ensayos de maíz, 3 ensayos de trigo, 4 ensayos de soja 1ª y 3 ensayos de soja 2ª. Campañas 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22. La línea punteada vertical indica 15 mg kg⁻¹ de P Bray y la línea punteada horizontal el 95% de rendimiento relativo.

CONCLUSIONES

La nutrición balanceada de los cultivos con PS presentó un fuerte impacto en los rendimientos de maíz, soja y trigo en las cuatro campañas evaluadas permitiendo alcanzar altos niveles productivos. El incremento de rendimiento con aplicación de P se asoció a los bajos niveles de P Bray de los sitios evaluados en los cuatro cultivos, siendo particularmente notorio en el caso de trigo. A su vez, el agregado de S permitió explorar niveles superiores de rendimientos, lo que fue más destacado en el cultivo de soja 1ª y 2ª. Se observó una tendencia en favor de la mezcla química en relación a la mezcla física para las dosis PS utilizadas. Una mejora en la oferta nutricional, permite capturar una porción mayor del potencial productivo de los cultivos y reducir las brechas entre los rendimientos actuales y los alcanzables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a OCP de Argentina por la colaboración para la elaboración de esta investigación.

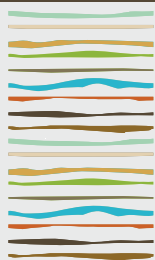
BIBLIOGRAFÍA

- Aramburu Merlos F., J.P. Monzón, J.L. Mercau, M. Taboada, F.H. Andrade, A.J. Hall, E. Jobbagy, K.G. Cassman y P. Grassini. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Res.* 184, 145-154.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Correndo A.A., M. Boxler, y F. O. García. 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 33(2):197-212.
- Ferraris, G. N., Toribio, M., Falcone, R., & Moriones, F. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, 19, 11-17.
- García, F.O.; M. Boxler, A. Berardo; I.A. Ciampitti; A. Correndo; N. Reussi Calvo; F. Bauschen; L. Firpo; J. Minteguiaga and R. Pozzi. 2010. La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009, IPNI-CREA-ASP. Segunda Edición. 63 p. [
- García F.O. y M. F. González Sanjuan. 2016. Consumo de fertilizantes en el mundo y en la Argentina. En R. S. Lavado (ed.). *Sustentabilidad de los agrosistemas y uso de fertilizantes*. Orientación Gráfica Editora-AACS-Fertilizar AC. Pp. 61-84. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-1922-18-5.
- Gelso P., F. Permingeat, R. Pozzi, S. Gallo, M. Salinas, N. Reussi Calvo y F. O. García. 2019. Red Nutrición Sur Santa Fe: 18 años de ensayos en lotes de producción. *Actas on-line Simposio Fertilidad 2019*. P. 312-313. Fertilizar AC. Monzón



- Grasso A. 2019. Brechas en la producción de secuencias de cultivos en la región pampeana según estrategias de fertilización. In Actas Simposio Fertilidad 2019. Fertilizar AC. Pp. 14-20. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2020/10/ActaSimposioFertilidad2019.pdf>
- Johnson, G.V. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. En: J.R. Brown, (ed.). Soil testing: sampling correlation, calibration, and interpretation. SSSA, Madison, WI. p. 89–96.
- Monzón J. P. 2022. De brechas de rendimiento a brechas de nutrientes: diagnóstico para Argentina. Presentación “Declaración de Buenos Aires sobre la Brecha de Nutrientes en Argentina”. 19 de abril, 2022. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Disponible en <https://www.bolsadecereales.com/post-33>
- RETAA. 2022. Balance de nutrientes 2021/22. Informe Mensual Nro. 54. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Disponible en <https://www.bolsadecereales.com/tecnologia-informes>
- Sainz-Rozas H. et al. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. In Actas Simposio Fertilidad 2019. Fertilizar AC. Pp.141-158. <https://fertilizar.org.ar/wpcontent/uploads/2020/10/ActaSimposioFertilidad2019.pdf>
- Sucunza, A. F., Gutiérrez Boem, F. H., García, F. O., Rubio, G., & Boxler, M. (2018). Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European Journal of Agronomy*, 96, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.004>
- Wingeyer A.B., T. J. C. Amado, M. Pérez-Bidegain, G. A. Studdert, C. H. Perdomo Varela, F. O. García, y D. L. Karlen. 2015. Soil Quality Impacts of Current South American Agricultural Practices. *Sustainability* 2015, 7, 2213-2242; doi:10.3390/su7022213.





UTILIZACIÓN DE PURÍN SÓLIDO DE TAMBO EN MAÍZ PARA SILO: PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y PROPIEDADES EDÁFICAS

Bannister W.¹, W.D. Carciochi^{1,2*}, L. Bassi^{1,2}, S. Vacca^{1,3}, M. Eyherabide¹, N. Wyngaard^{1,2}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}, H.R. Sainz Rozas^{1,2}

¹ Unidad Integrada Balcarce (FCA-INTA);

² CONICET;

³ KWS;

* Ruta 226, km 73.5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, waltercarciochi@hotmail.com

RESUMEN

La aplicación de purines de tambo puede incrementar el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) para silo e incluso afectar su calidad. Además, el uso de purines afecta propiedades edáficas, pudiendo ser dichos cambios deseables o no para el sistema de producción. El objetivo del trabajo es evaluar el uso de distintas dosis de purín sólido de tambo sobre la productividad y calidad del maíz para silo y analizar cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo. Se realizó un ensayo en condiciones de campo donde se evaluaron tres dosis de purín i) 0, ii) 8 y iii) 16 Mg ha⁻¹ aplicadas previo a la siembra del maíz. Cuando el grano de maíz se encontraba en 1/3 línea de leche se realizó la cosecha de planta entera de maíz y se determinó la acumulación de materia verde y seca, la concentración de almidón, proteína, fibra detergente ácida y neutra. Además, se realizó un muestreo de suelo para determinar distintas propiedades edáficas. La aplicación de purín sólido de tambo incrementó 24% la acumulación de materia verde y 31% la de materia seca, sin diferencias entre dosis de purín. Además, mejoró algunos parámetros de calidad del maíz para silo (proteína y almidón). La aplicación de purín aumentó 22% el nitrógeno mineralizable y 24% la respiración microbiana, aunque la dosis de 16 Mg ha⁻¹ también incrementó la conductividad eléctrica (de 79,4 a 150,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$) y el porcentaje de sodio intercambiable (de 3,9 a 8,4%). Así, utilizar una dosis media de purín (8 Mg ha⁻¹) permitiría optimizar la productividad y calidad del maíz para silo, impactando positivamente sobre la salud del suelo, sin generar efectos negativos de gran magnitud sobre el suelo y el ambiente.

Palabras clave: ciclado de nutrientes, efluente, enmienda.

INTRODUCCIÓN

De los nutrientes presentes en la ración ofrecida a los animales de tambo, sólo una pequeña fracción es absorbida, mientras que el resto es eliminado en las excretas (Herrero *et al.*, 2006). Así, los purines o efluentes de tambo son considerados una excelente fuente nutricional para los cultivos cuando se los aplica al suelo (Burón Alfano *et al.*, 2009). Además, el uso de purines como enmiendas permite el reciclaje de los nutrientes en el sistema productivo, generando un esquema de economía circular de nutrientes.

La aplicación de purines permite incrementar el rendimiento de los cultivos, incluido el maíz (*Zea mays* L.) (Amin *et al.*, 2014; Sosa *et al.*, 2014). Además, se ha reportado que, cuando se aplican purines al suelo, éstos generan modificaciones en la calidad de los recursos forrajeros, como aumentos en la concentración de nitrógeno (N) (Gambaudo *et al.*, 2014).



La aplicación de purines como enmiendas orgánicas puede generar cambios deseables sobre el suelo, como aumentos del contenido de materia orgánica (MO) y otros indicadores de la salud edáfica como el N mineralizado en anaerobiosis (Nan) y la actividad microbiana, determinada a partir de la respiración microbiana (C-CO₂) (Sosa *et al.*, 2014; Pegoraro *et al.*, 2016). Sin embargo, también se puede generar cambios desfavorables, como aumentos de pH, conductividad eléctrica (CE), sodicidad (Imhoff *et al.*, 2011), e incluso generar niveles de fósforo (P) extractable que superan los límites ambientales (Sosa *et al.*, 2014).

La información respecto al uso de purines de tambo en el sudeste bonaerense es escasa. Así, resulta necesario ajustar las dosis de purín para optimizar la producción sin generar prejuicios en el suelo y el ambiente. Por ello, el objetivo del trabajo es evaluar el uso de distintas dosis de purín sólido de tambo sobre la productividad y calidad del maíz para silo y analizar cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2021/22 se realizó un ensayo en condiciones de campo en un lote de tambo de la localidad de Balcarce (37° 33' 53.23" S; 58° 47' 14.41" O) sobre un Argiudol típico. Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones (tamaño de parcela 18 x 30 m), donde se evaluaron tres tratamientos: i) testigo (sin la aplicación de purín), ii) 8 Mg ha⁻¹ de purín y iii) 16 Mg ha⁻¹ de purín.

Previo a la aplicación del purín se realizó un muestreo de suelo por bloques. El suelo se caracterizó por tener un pH de 6,8; P-Bray de 45,6 mg kg⁻¹, MO de 58,9 g kg⁻¹, Nan de 100,5 mg kg⁻¹ y Zn-DTPA de 1,9 mg kg⁻¹ (0-20 cm). El contenido de N-NO₃⁻ (0-60 cm) fue de 19,6 kg N ha⁻¹.

La aplicación del purín se realizó el 23 de noviembre al voleo en superficie con una estercolera. El purín se obtuvo de pilas generadas a partir de barridos de la sala de espera y corrales de alimentación del tambo. Se colocaron bandejas en las parcelas para recolectar muestras del purín aplicado, las cuales fueron analizadas en laboratorio (Tabla 1). El 27 de noviembre se sembró maíz bajo sistema de siembra directa, con una densidad de 60.000 plantas ha⁻¹ y a una distancia entre surcos de 52 cm. El cultivo antecesor fue un verdeo de invierno de avena y se trabajó en condiciones de secano. No se aplicaron fertilizantes inorgánicos, y las malezas se controlaron con métodos químicos para que éstas no afecten el desarrollo del maíz.

Tabla 1. Características del purín de tambo y cantidad de nutrientes aplicados con las dosis de 8 y 16 Mg ha⁻¹ de purín.

Variable ¹	Concentración	Nutriente aplicado (kg ha ⁻¹)	
	en base seca	8 Mg ha ⁻¹	16 Mg ha ⁻¹
Sólidos (%)	47,1		
pH	8,7		
CE (mS cm ⁻¹)	2,5		
CO (g kg ⁻¹)	139,0	523,8	1973,5
N total (g kg ⁻¹)	12,3	46,3	92,7
N-NH ₄ ⁺ (g kg ⁻¹)	1,8	6,8	13,6
N-NO ₃ ⁻ (g kg ⁻¹)	0,02	0,1	0,2
P total (g kg ⁻¹)	4,6	17,3	34,7
S total (g kg ⁻¹)	2,4	9,0	18,1
K total (g kg ⁻¹)	15,8	59,5	119,1
Ca total (g kg ⁻¹)	20,7	78,0	156,0
Mg total (g kg ⁻¹)	8,7	32,8	65,6

El 2 de mayo, cuando el grano de maíz se encontraba en 1/3 línea de leche, se realizó la cosecha cortando 10 plantas por unidad experimental a una altura de 20 cm. Las muestras se pesaron en húmedo y luego se cortaron con una chipeadora mecánica. Se determinó la concentración de materia seca posterior al secado de una alícuota y se calculó la materia verde y seca acumulada en función a la densidad de plantas logradas. Sobre las muestras húmedas se determinó la concentración de almidón, fibra detergente ácida (FDA) y neu-



tra (FDN) empleando un equipo NIR previamente calibrado. A partir de muestra seca y molida se determinó la concentración de N mediante el método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982) y se calculó la concentración de proteína mediante un factor de 6,25.

A la cosecha del maíz se tomaron muestras de suelo en cada unidad experimental (0-20 y 20-60 cm). Sobre las mismas se determinó en 0-20 cm: pH y CE en relación 1:2,5 suelo:agua, P-Bray (Bray y Kurtz, 1945), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y sodio intercambiable (Brady, 1984), MO (Schulte & Hopkins, 1996), Nan (Keeney, 1982) y respiración microbiana (expresada como C-CO₂) (Franzluebbers *et al.*, 2000); y en 0-60 cm N inorgánico (N-NO₃⁻ más N-NH₄⁺) (Bremner & Keeney, 1966).

Para evaluar el efecto de las dosis de purín sobre cada una de las variables analizadas se realizaron análisis de la varianza mediante el software estadístico R. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test LSD de comparación de medias ($p < 0,1$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de maíz y calidad

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de maíz fueron de 484 mm, encontrándose por debajo de los registros históricos para la zona (601 mm). La aplicación de purín sólido de tambo incrementó en promedio de dosis 23,9% la acumulación de materia verde y 30,5% la de materia seca, sin observarse diferencias entre dosis de purín (Fig. 1a y b). La concentración de almidón solo se incrementó con la dosis de 16 Mg ha⁻¹ de purín, de 26,3 a 31,7% (Fig. 1c). Por su parte, la concentración de proteína aumentó conforme lo hizo la dosis de purín, siendo de 5,9% para el testigo, 7,5% para 8 Mg ha⁻¹ y 8,8% para 16 Mg ha⁻¹ (Fig. 1d). Finalmente, no se observó efecto del purín sobre la FDA ni FDN (Fig. 1e y f).

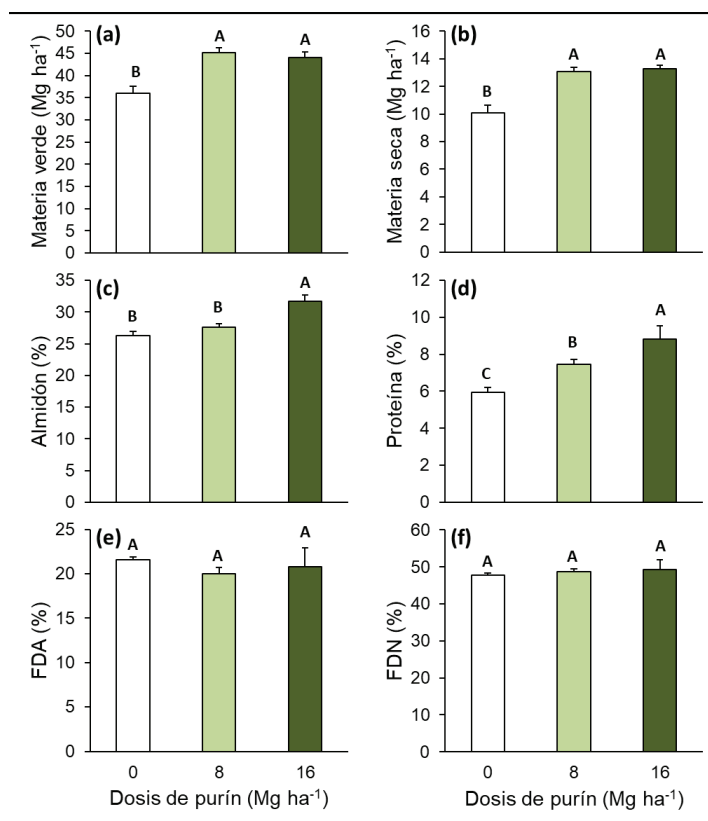


Figura 1. Acumulación de materia verde (a) y materia seca (b), y concentración de almidón (c), proteína (d), fibra detergente ácida (FDA) (e) y neutra (FDN) (f) en la biomasa aérea total de maíz para tres dosis de purín de tambo. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media.

Trabajos realizados en otras zonas de la región pampeana argentina, como Córdoba y Santa Fe, en suelos con menores contenidos de MO (2,4- 2,8%) que los del presente trabajo (5,9%), describen una respuesta creciente en materia seca acumulada de maíz y sorgo con la dosis de purín de tambo aplicado (Imhoff *et al.*, 2011; Gambaudo *et al.*, 2014), incluso con dosis de hasta 30 Mg ha⁻¹ (Sosa *et al.*, 2014). La menor respuesta que observamos a la aplicación de purín sobre la producción de materia seca podría explicarse por el mayor contenido de MO que puede generar un mayor aporte de nutrientes por mineralización. Además, es probable que, en el presente trabajo, la disponibilidad hídrica haya limitado la respuesta a la aplicación del purín, tal como reportaron Amin *et al.* (2014).

De los principales macronutrientes que suelen limitar el rendimiento de los cultivos en la zona bajo estudio, es poco probable que el P haya sido limitante, ya que el P-Bray (46 mg kg⁻¹) se encontró por encima del umbral de 14 mg kg⁻¹ para maíz (Sucunza *et al.*, 2018). Así, es probable que el bajo contenido de N-NO₃⁻ (0-60 cm) a la siembra (19,6 kg N ha⁻¹) sumado a una posible inmovilización de N por parte de los restos del verdeo de avena hayan generado deficiencia de N.

Pocos trabajos han evaluado el uso de purines sobre la calidad del maíz para silo. Sin embargo, Camarasa *et al.* (2017) observaron mejoras en la calidad (menor FDN y mayor digestibilidad) debido a la fertilización con N cuando la respuesta a N fue alta. Si bien en el presente trabajo no se dieron variaciones en la FDN y FDA, sí se observó incremento en la concentración de proteína y almidón.

Propiedades edáficas

La aplicación del purín no afectó el pH del suelo ($p > 0,1$) (Tabla 2). Sin embargo, la CE se incrementó con la dosis más elevada, desde 79,4 a 150,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$. La CIC del suelo aumentó 15,7% con la dosis más elevada de purín, mientras que, para la misma dosis, el PSI aumentó de 3,9 a 8,4%. Los purines contienen una elevada concentración de cationes básicos, entre ellos sodio, pudiendo generar aumentos de CE y PSI al ser aplicados al suelo (Imhoff *et al.*, 2011). Esto es un aspecto negativo, debido a las características dispersantes del sodio sobre las partículas del suelo, lo cual puede afectar diversas propiedades físicas. Sin embargo, es probable que ante abundantes precipitaciones se genere cierta lixiviación de sales, evitando incrementos de CE (Gambaudo *et al.*, 2014).

Tabla 2. Efecto de las dosis de purín sobre diferentes propiedades edáficas. Letras iguales entre dosis para cada variable indican diferencias no significativas según test LSD ($p < 0,1$).

Propiedad edáfica ¹	Dosis de purín (Mg ha ⁻¹)			p-valor
	0	8	16	
pH	6,4	6,6	6,9	0,492
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	79,4 b	99,3 b	150,9 a	0,086
P-Bray (mg kg ⁻¹)	38,0 b	73,1 a	81,0 a	0,003
N-inorgánico (kg ha ⁻¹)	43,8 b	54,3 ab	63,3 a	0,063
CIC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	21,9 b	22,3 b	25,3 a	0,001
PSI (%)	3,9 b	4,7 b	8,4 a	0,009
MO (g kg ⁻¹)	58,4	60,7	62,8	0,278
Nan (mg kg ⁻¹)	104,0 b	120,8 a	132,7 a	0,018
C-CO ₂ (mg kg ⁻¹)	248,8 b	280,7 ab	307,9 a	0,090

¹ pH, conductividad eléctrica (CE), P-Bray, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de sodio intercambiable (PSI), materia orgánica (MO), N mineralizado en anaerobiosis (Nan) y respiración microbiana (C-CO₂) se determinaron en 0-20 cm y N-inorgánico (N-NO₃⁻ más N-NH₄⁺) en 0-60 cm de profundidad.

La concentración de P-Bray aumentó, en promedio de las dosis, 103% respecto del testigo, sin observarse diferencias entre dosis, coincidiendo con lo observado por Sosa *et al.* (2014). Así, el P-Bray alcanzó niveles de 81 mg kg⁻¹, lo cual supera ampliamente el límite ambiental de 39 mg kg⁻¹ (Zamuner *et al.*, 2015), debido al elevado contenido inicial de P-Bray (Tabla 2). Además, la disponibilidad de N-inorgánico aumentó con la



dosis de purín desde 44 kg ha⁻¹ hasta 63 kg ha⁻¹ para la dosis más alta. Esto puede deberse a que parte del N no fue absorbido por el maíz, ya que su disponibilidad superó el requerimiento del cultivo. Así este exceso de N puede generar efectos negativos en el ambiente si ese N se pierde del sistema, por ejemplo, mediante lixiviación (Amin *et al.*, 2014).

El contenido de MO no se afectó significativamente con la aplicación de purín (Tabla 2). Sin embargo, se observó una tendencia a mayor MO con el aumento de la dosis de purín (de 58,4 a 62,8 g kg⁻¹), tal como reportaron Gambaudo *et al.* (2014) y Sosa *et al.* (2014). Los indicadores de la salud del suelo más sensibles a cambios en prácticas de manejo que la MO, como el Nan y la C-CO₂, sí mostraron aumentos significativos por la aplicación de purín. El Nan aumentó 21,9% por la aplicación del purín, sin generarse diferencias entre dosis; y la C-CO₂ se incrementó conforme lo hizo la dosis del purín, desde 249 mg kg⁻¹ para el testigo hasta 308 mg kg⁻¹ para la dosis de 16 Mg ha⁻¹. Estos es un aspecto relevante, ya que la mejora en la salud del suelo no solo repercutirá sobre la fertilidad actual, sino también la potencial, impactando positivamente sobre la productividad de los cultivos siguientes en la rotación.

Los resultados de este trabajo demuestran que la aplicación de purín sólido de tambo genera cambios en las propiedades del suelo, siendo algunos de ellos deseables, como mayor Nan y C-CO₂, aunque otros no lo son, como mayor CE y PSI. Así, surge la necesidad de monitorear en el mediano a largo plazo la evolución de propiedades edáficas ante la aplicación reiterada de purines de tambo.

CONCLUSIONES

La aplicación de purín sólido de tambo incrementó la producción y mejoró algunos parámetros de calidad del maíz para silo. Además, aumentó en el corto plazo variables edáficas que son indicadores de la salud del suelo, como el Nan y la C-CO₂. Sin embargo, el uso una alta dosis de purín también generó cambios indeseables sobre algunos parámetros químicos del suelo, como aumentos de la CE, del PSI y del P-Bray por encima de límites ambientales. Así, utilizar una dosis media de purín (8 Mg ha⁻¹) permitiría optimizar la productividad y calidad del maíz para silo, impactando positivamente sobre la salud del suelo, sin generar efectos negativos de gran magnitud sobre el suelo y el ambiente y colaborando a cerrar el ciclado de los nutrientes en el agroecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto INTA (2019-PE-E1-I011-001) y al establecimiento La Josefina por el financiamiento y colaboración en la ejecución del ensayo.

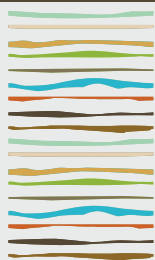
BIBLIOGRAFÍA

- Amin, MS; A Degioanni & E Bonadeo. 2014. Uso de efluentes de tambo en la producción de maíz. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. p. 1-5
- Brady, N.C. 1984. Soil colloids: their nature and practical significance. En: The nature and properties of Soils. Macmillan, New York. Pp 175-176
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59, 39-45.
- Bremner, J & D Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:577-582.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: AL Page (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. Agron. Monog. 9, Pp. 595-624. ASA and SSSA, Wisconsin, EEUU.
- Burón Alfano, V; G Questa; MA Herrero; AA Orlando; M Flore & V Charlón. 2009. Potencial de reutilización de los residuos provenientes de tambos comerciales para la fertilización de recursos forrajeros. In Vet 11(2): 85-92.
- Camarasa, J; H Carta; P Barletta & P. Richmond. 2017. Fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje en dos localidades del centro norte de la provincia de Buenos Aires. Congreso Argentino de Producción Animal
- Franzluebbers, AJ; RI Haney; CC 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.



- Gambaudo, S; S Imhoff; ME Carrizo; M Marzetti & S Racca. 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. *Cienc. del Suelo* 32(2): 197–208.
- Herrero, MA; SB Gil, GM Sardi; MC Flores; LI Carbó & AA Orlando. 2006. Transferencia de nutrientes del área de pastoreo a la de ordeño en tambos semiextensivos en Buenos Aires, Argentina. *Revista InVet*, 8(1):23-30.
- Imhoff, S; P Ghiberto; ME Carrizo; V Charlón; O Zen & S Gambaudo. 2011. Uso alternativo de efluentes de tambo para disminuir el impacto ambiental. En: V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente de REDIBEC y V Jornadas de la Asociación Argentino-Uruguaya de Economía Ecológica, Santa Fe.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In: Page, AL (ed) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties*. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 711-733.
- Pegoraro, VR; J Ortiz; M Briacchi; MB Conde & N Sosa. 2016. Propiedades microbiológicas y bioquímicas de un suelo argiudol típico con aplicaciones de efluente de tambo y urea. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. p. 155
- Schulte, EE & BG Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on- ignition. p.21-31. In F.R. Magdoff et al. (ed.) *Soli organic matter: Analysis and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI
- Sosa, N; M Alladio; F Pagnan & JM Orcellet. 2014. Evaluación de aplicación de residuos sólidos de tambo en cultivo de maíz. 2° Jorn. Nac. Gestión Residuos Evaluación: 1–14.
- Sucunza, FA; FH Gutierrez Boem; FO Garcia; M Boxler & G Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron.* 96(March): 87–95. doi: 10.1016/j.eja.2018.03.004.
- amuner, EC; J Lloveras & H Echeverría. 2015. Métodos agronómicos y ambientales de determinación de fósforo en argiudoles del sudeste bonaerense. *Cienc. del Suelo* 33(1): 55–63.





FORMAS DE AZUFRE EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON PROPIEDADES EDÁFICAS

Rocha, L. S.¹, M. G. Ferrando¹, M. M. Barbazán^{1*}

¹ Dpto de Suelos dy Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República;

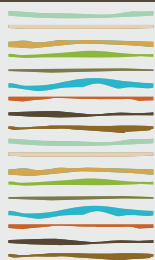
* Av. Garcón 780, Montevideo, Uruguay

*mbarbaz@fagro.edu.uy

RESUMEN

El azufre (S) es un elemento esencial para las plantas, el cual es absorbido desde el suelo como sulfatos (SO_4^{2-}). Los métodos analíticos que evalúan la capacidad del suelo de suministrar SO_4^{2-} extraen el SO_4^{2-} soluble, como los extractantes Cloruro de calcio o Fosfato de calcio. Este último, además, extrae el SO_4^{2-} adsorbido a la fase sólida. En Uruguay hay escasa información sobre las formas y contenidos de S en el suelo y no hay trabajos comparando métodos de extracción de SO_4^{2-} en el suelo, aunque los laboratorios comerciales ofrecen este dato analítico usando indistintamente estos extractantes. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron conocer y cuantificar formas de S en diferentes suelos de Uruguay y evaluar su relación con algunas propiedades edáficas. En 2018 y 2019 se tomaron muestras de suelos por horizonte y a distintos estratos (de 0-20, 20-40 y 40-60 cm), durante los meses de mayo y junio (en barbecho, previo a la siembra de un cultivo de invierno). En total se analizaron 198 muestras de 32 perfiles de suelos. En las muestras se determinó S total (ST) y SO_4^{2-} extraído con Cloruro de Ca y Fosfato de Ca. Además se analizó acidez y aluminio intercambiables, carbono orgánico del suelo (COS), cationes intercambiables, nitrato, nitrógeno total (NT), P Bray-1, pH y textura, estimando además, el tipo de arcilla y discriminando las muestras por material madre del suelo. En el total de muestras, los valores de ST variaron entre 21 y 345 mg kg^{-1} , con un promedio de 138 mg kg^{-1} , disminuyendo en profundidad. Las propiedades del suelo que mejor explicaron esta variación fueron los contenidos de COS, cationes intercambiables, NT y arena. Los dos extractantes se correlacionaron positivamente ($r = 0,66$), pero el Fosfato de Ca extrajo 15% más SO_4^{2-} que el Cloruro de Ca. En el estrato superficial (de 0 a 20 cm), la concentración promedio de SO_4^{2-} extraída con Cloruro de Ca fue 8 mg kg^{-1} (variando de 4 a 13 mg kg^{-1}), mientras que la de Fosfato de Ca fue 13 mg kg^{-1} (y varió entre 7 y 27 mg kg^{-1}). Estas variaciones de SO_4^{2-} se asociaron al COS, NT y al P Bray-1, mientras que a profundidades mayores se asoció al nivel de Mg intercambiable. En algunos suelos se observaron concentraciones mayores que en superficie a más de 60 cm de profundidad, las cuales se asociaron al material madre y a la presencia de concreciones de óxidos de Fe y/o carbonatos. En suelos desarrollados sobre Basamento Cristalino las concentraciones de SO_4^{2-} fueron más variables y la correlación entre extractantes fue también menor. La baja correlación entre extractantes y la mayor concentración de SO_4^{2-} extraída con Fosfato de Ca (de más del doble) que con Cloruro de Ca sugiere la presencia del proceso de adsorción de SO_4^{2-} en suelos con predominancia de arcillas 1:1.

Palabras clave: sulfato, extractantes, adsorción.



ANÁLISIS ESPACIAL DEL APORTE DE CARBONO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LA REGIÓN PAMPEANA

Barni, M.L.^{1*}, C. Alvarez², M.F. Varela³ y J.L. De Paepe¹⁴

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad De Agronomía - Universidad de Buenos Aires;

² INTA EEA Manfredi;

³ Universidad de La Pampa,

⁴ CONICET.

*Av. San Martín 4453. C1417DSE – Buenos Aires – Argentina. mbarni@agro.uba.ar

RESUMEN

Los aportes por cultivos de cobertura (CC) permiten aumentar el stock de carbono (C) de los suelos. En la Región Pampeana, sin embargo, se desconocen las variaciones espaciales en estos aportes. El objetivo de este trabajo fue cuantificar los aportes de C al suelo por parte de CC de gramíneas y leguminosas a lo largo de un gradiente de precipitación de la Región Pampeana (Seca; Húmeda; Moderadamente húmeda y Muy Húmeda) y su relación con la longitud del ciclo del CC. Se recopiló información bibliográfica sobre ensayos de campo con CC y se relevaron la especie implantada, la producción de biomasa del CC (kg MS ha⁻¹) al momento del secado, la longitud del ciclo y la ubicación geográfica de los ensayos. A partir de los datos de producción de biomasa se estimó el aporte de C de cada especie, considerando una proporción de C del 40-43% para los residuos de distintos cultivos y un 20% de C adicional proveniente de los aportes de raíces. A lo largo del gradiente espacial analizado se observó que las gramíneas produjeron mayor aporte de C que las leguminosas, independientemente de la subregión. Las leguminosas, sin embargo, no presentaron diferencias en el aporte de C para las subregiones analizadas. El incremento en la longitud del ciclo de los CC incrementó el aporte de C en el caso de las gramíneas, mientras que para las leguminosas no se observaron diferencias significativas en los aportes de C respecto de esta variable. Sería interesante, a futuro incluir en el análisis, variables de suelo, de clima, y de manejo para lograr una interpretación más completa de los aportes de C de los CC.

Palabras clave: residuos, gradiente de precipitación, gramíneas, leguminosas.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el cambio climático generó una mirada hacia los suelos como reservorio de C para mitigar los efectos del mismo. Los cultivos de cobertura (CC) son una alternativa de manejo estratégica (FAO e INRAE, 2021) para incrementar estos aportes de C en los suelos. La incorporación de CC en las rotaciones contribuye a la intensificación ecológica del agroecosistema y, en general, permite aumentar el stock de C de los suelos (Álvarez et al., 2017), incorporar nitrógeno en el caso de los CC de leguminosas (Crespo et al., 2021), entre otros beneficios (Rimsky-Korsakov et al., 2015). Los efectos de los CC sobre un ambiente en particular dependerán de las características del sitio donde se cultiven, así como también de las prácticas de manejo.

La Región Pampeana es el área de producción agrícola por excelencia del país. Presenta una gran variación en las características edafoclimáticas y, particularmente, comprende un gradiente de precipitación desde 600 mm anuales en el Oeste hasta 1200 mm en el Este (Hall et al., 1992). Este gradiente podría condicionar la duración del ciclo de los CC y su producción de biomasa, determinando diferencias en los aportes de carbo-



no al suelo que los CC representarían en las distintas subregiones. El objetivo de este trabajo fue cuantificar los aportes de C al suelo de CC de gramíneas y de leguminosas a lo largo de un gradiente de precipitación de la Región Pampeana y su relación con la longitud del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En base al régimen de precipitación (Aliaga et al., 2016) se subdividió a la Región Pampeana en a) Región Seca; b) Región Húmeda; c) Región Moderadamente húmeda; d) Región Muy Húmeda (Tabla 1; Figura 1).

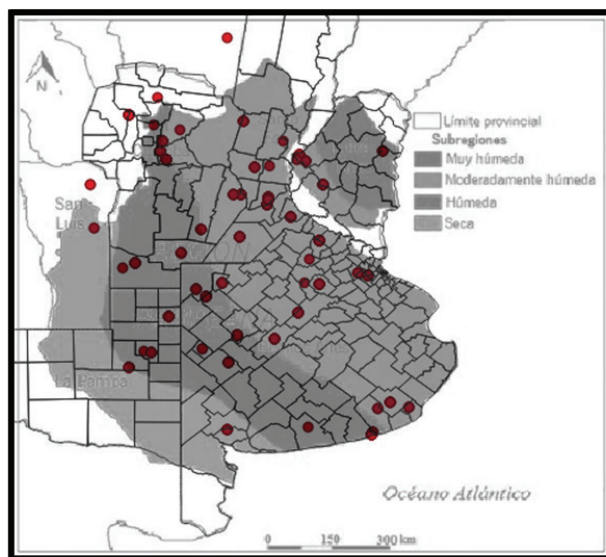


Figura 1: Ubicación de los ensayos relevados por subregión, adaptado de Aliaga et al., 2016.

Se recopiló información sobre ensayos a campo con CC de distintas fuentes bibliográficas que informaron la especie implantada, la producción de biomasa del CC (kg MS ha^{-1}) al momento del secado y la duración del ciclo del CC. Se incluyó la fecha de siembra y secado específica y cuando no se indicó explícitamente, se utilizó el día 15 del mes indicado. También se relevó la ubicación geográfica del cultivo con sus coordenadas, y en caso de no estar especificado, se utilizaron las coordenadas del centro del departamento o cerca de la localidad indicada donde se realizó el CC. En cuanto al manejo del CC se relevaron fecha de siembra, fecha de secado y se calculó la duración del ciclo. A partir de los datos de biomasa se estimó el aporte de C de cada especie, asumiendo que, para los residuos de soja, el 43% de la MS es C (Duval et al., 2017) mientras que para el resto de los cultivos consideró el 40% (Álvarez, 2012). En todos los casos se le adicionó un 20% del C proveniente del aporte de raíces (Álvarez, 2012).

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2018). Los aportes de C de los CC de gramíneas y leguminosas a lo largo de las cuatro subregiones fueron comparados usando ANOVA. Se chequearon los supuestos de ANOVA y en caso de ser necesario se transformó la variable aporte de C para cumplir con el supuesto de homogeneidad de varianzas. Por subregión se compararon los aportes de las dos especies, gramíneas y leguminosas, usando el test de Tukey, con p-valor de 0,05. Se analizó el efecto de la longitud del ciclo del CC sobre el aporte de C por cada especie de CC con un modelo de regresión lineal.

Tabla 1: Características de los experimentos agrupados por subregión. *Referencias disponibles a pedido.

Gramíneas			
Subregión (número de datos)	Especie	Longi- tud del ciclo	Referencias*
Seca (n: 14)	Centeno (<i>Secale Cereale</i> L.)	160 días	Kriger ,2021
	Avena (<i>Avena.sativa</i> L.)		Colazo et al., 2020
	Avena		Fernandez, et.al 2021
	Centeno		Cazorla et al.,2018
	Triticale (<i>X Triticosecale Wittmack</i>)		Piñeiro et al 2019
	Rye Grass (<i>Lolium Multiflorum</i>)		Alvarez et al 2012
	Trigo (<i>Triticum spp</i>)		Carfagno et al., 2013
Húmeda (n: 157)		162 días	Lardone et al.,2012
			Brambilla et al.,2012
			Madias et al., 2021
	Tricepiro (<i>X Triticosecale Witt- mack x X Agrotriticum Ciferri & Giacom</i>)		Riestra et al, 2020
			Barraco et al 2020
			Cuervo et al 2020
			Frasier et al 2016
Moderadamen- te Húmeda (n: 55)	Avena	164 días	Cuervo et al., 2020
	Trigo		Carciochi et al., 2020
	Centeno		Eiza et al., 2020
	Ryegrass		Frasier et al., 2018
	Triticale		Rillo et al., 2016
Muy húmeda (n: 8)	Centeno	115 días	Caviglia et al., 2013
			Madias et al., 2021
Leguminosas			
Seca (n: 1)	Vicia (<i>Vicia villosa</i>)	180 días	Kriger et al., 2021
	Vicia villosa		Lardone & Barraco, 2016
	Vicia (<i>Vicia sativa</i>)		Frasier et al., 2016
Húmeda (n: 50)	Trébol Subterráneo (<i>Trifolium subterraneum</i>)	165 días	Barraco et al., 2020
	T.persa (<i>Trifolium resupinatum</i>)		Cuervo et al., 2020
	Melilotus alba (<i>Melilotus albus</i>)		Cazorla et al., 2018
			Madias et al., 2021
			Duval et al.,2015
Moderadamen- te Húmeda (n: 58)	Vicia sativa	162 días	Frasier et al.,2018
	Trébol rojo (Trifolium pratense L.)		Imvinkelried et al., 2020
	Trébol subterráneo		Cuervo et al.,2020
	Trébol persa		Caviglia et al.,2013
			Madias et al., 2021
	Melilotus alba		Martin et al 2021



Muy Húmeda (n: 8)	Trébol persa Trébol alejandrino(<i>Trifolium alexandrinum</i> L.) Vicia villosa	160 días	Rodriguez et al., 2020
----------------------	--	----------	------------------------

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A lo largo del gradiente espacial se observó que el aporte de C hacia el suelo de las gramíneas fue mayor que el de las leguminosas (Figura 2). La diferencia en aporte de C entre gramíneas y leguminosas fue de 1.15 t MS ha⁻¹ (p= 0,0001) en la subregión húmeda, de 1,39 t MS ha⁻¹ (p= 0,0001) en la subregión moderadamente húmeda y de 1,16 t MS ha⁻¹ (p=0,0032) en la subregión muy húmeda (Figura 2). Trabajos previos también detectaron estas diferencias en el aporte de C entre especies (Baigorria et al. 2012; Fargioni et al. 2012). Para las gramíneas el aporte de C de las subregiones Húmeda, Moderadamente húmeda y Muy húmeda, **fueron las mayores y sin diferencias significativas** entre estas subregiones y únicamente en la subregión Seca el aporte fue menor (Figura 2A). En cuanto a las leguminosas, no se encontraron diferencias en el aporte de C para las subregiones analizadas (Figura 2B). Cabe aclarar que la subregión Seca para las especies de leguminosas se omitió del análisis ya que solo había información de un sitio. Previamente se detectaron mayores aportes de C de CC en suelos de textura gruesa de la Región Pampeana que en suelos de textura fina, sin distinción de especie (Álvarez et al., 2017).

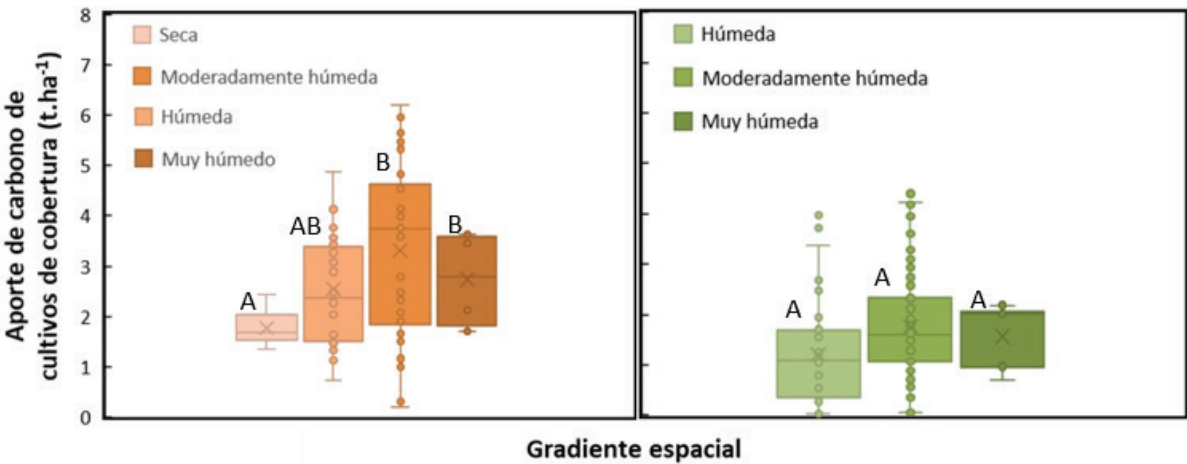


Figura 2: Aporte de C en T ha⁻¹ de las especies de A) gramíneas (n=329) y B) leguminosas (n=139) para las subregiones Seca, Húmeda, Moderadamente húmeda y Muy húmeda. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

El aumento de la duración del ciclo de los CC (días desde siembra a secado del CC) incrementó el aporte de C en los CC de gramíneas (Figura 3A), mientras que en las leguminosas no se observó relación significativa entre estas variables (Figura 3B). La duración del ciclo de CC de gramíneas fue parecida y mayor en las subregiones Seca, Húmeda y Moderadamente Húmeda, 167 días en promedio, y menor en la subregión Muy húmeda, con un valor promedio de 115 días (p=0,0002). Para leguminosas la duración del ciclo fue similar en las subregiones Húmeda y Moderadamente Húmeda con un valor promedio de 170 días, y menor en la subregión Muy húmeda, con un ciclo cuya duración fue de 127 días (p= 0,0002). Estos resultados coinciden con relevamientos que encontraron que el aporte de C aumenta con la longitud del ciclo del CC, aunque no diferenciaron entre especies de CC (Lardone et al., 2014; Capurro et al., 2010). Entonces si bien la longitud del ciclo varía según la subregión para ambas especies, en el caso de las leguminosas predominan ciclos más cortos que podrían afectar el aporte de C.

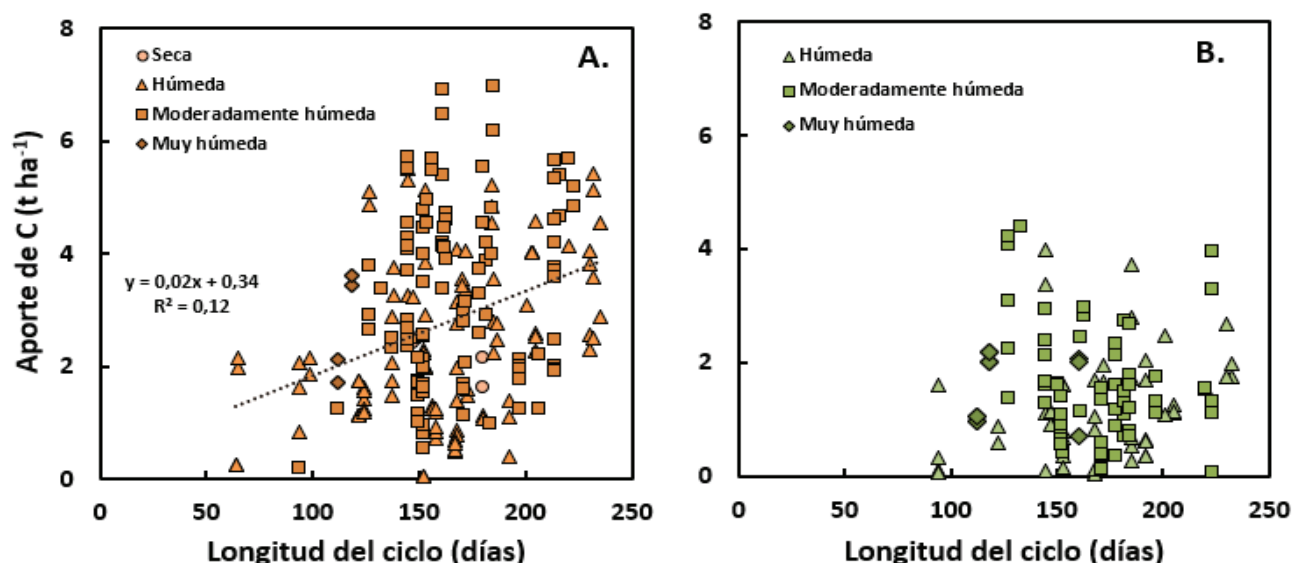


Figura 3: Aporte de C de A) gramíneas ($n=231$) y B) leguminosas ($n=119$) en función de la longitud del ciclo en días. Cada punto representa una unidad experimental, (○) Seca, (△) Húmeda, (□) Moderadamente húmeda, (◇) Muy húmeda. La línea punteada es la función lineal ajustada.

CONCLUSIONES

Existe una relación entre el aporte de C de CC de gramíneas y la subregión en la que se encuentran, con una tendencia a mayor aporte en las subregiones más húmedas y menor aporte hacia subregiones más secas. En leguminosas, el aporte de C fue independiente de la subregión en la que se sembró. En cuanto a la longitud del ciclo, se encontró para el caso de las gramíneas que una mayor cantidad de días de crecimiento incrementa el aporte de C al suelo. La longitud del ciclo no fue una variable incidente en el aporte de C por parte de CC de leguminosas. Sería interesante, a futuro incluir en los análisis variables de suelo, de clima, y de manejo para lograr una interpretación más completa de los aportes de C de los CC.

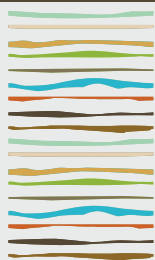
BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., & Bodrero, M. (2012). Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción. Ediciones INTA. La Pampa, Anguil.
- Aliaga, V.S., F.Ferrelli, E.D. Alberdi-Algañaraz, V.Y. Bohn, M.C. Piccolo (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la Región Pampeana, Argentina. Cuadernos de investigación geográfica nº42 pp.261-280
- 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 and Tillage Research*, 170, 53-65.
- Capurro, J., Surjack, J., Dickie, M. J., Andriani, J., & González, M. (2010). Cultivos de cobertura: evaluación de diferentes momentos de supresión del crecimiento. *Para mejorar la producción*, (45).
- Duval, M.E., Galantini, J.A., Capurro, J.E., Beltran, M.J., 2017. Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja. *Ciencias Agronomicas*. 29, 7-13.
- Baigorria, T., C.R. Cazorla, D. Santos Sbiscio, V. Pegoraro, and J. Ortiz. 2012. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. Informe de actualización técnica, no. 24. Estacion Experimental Agropecuaria Marcos Juárez.
- Crespo, C., Wyngaard, N., Rozas, H. S., Studdert, G., Barraco, M., Gudelj, V., ... & Barbieri, P. (2021). Effect of the intensification of cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. *Catena*, 200, 105145
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FAO e INRAE. 2021. Facilitando sistemas alimentarios sostenibles: Manual para innovadores. Roma. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca9917es>



- Fargioni, M., C. Vega, T. Baigorria, J. Pietrantonio, and C.R. Cazorla. 2012. Efecto de los cultivos de cobertura sobre la disponibilidad hídrica y nitrogenada a la siembra y el rendimiento de maíz. Informe de actualización técnica, no. 24. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez.
- Lardone, A., Barraco, M., Girón, P., Perez, M., Miranda, W., & Villegas, I. E. G. (2014). Efecto del antecesor y nivel de fertilización nitrogenada sobre cultivos de maíz en fecha de siembra temprana. *Memoria técnica*, 2015, 24-26.
- Hall, A.J., Rebella, C. M., Ghera, C. M., Culot, J., (1992). Field-Crop systems of the Pampas. In Elsevier, ed. *Ecosystems of the World*. pp. 413–450.
- Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C.R., Lavado, R.S., 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *J. Soil Water. Cons.* 70, 112A–118A.





EFFECTO DE CORTE DE BIOMASA DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA

Barolin, F.E.^{1*}, Ecclesia, R.P.²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER);

² INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná;

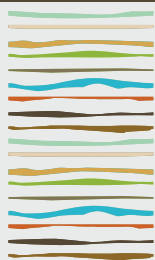
* Ruta Provincial 11, km 10,5, (3101), Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, facubarolin7@gmail.com

RESUMEN

La materia orgánica particulada (MOP) es una fracción sensible a los cambios generados por el manejo del suelo. Asimismo, la inclusión de cultivos de servicio (CS) en los sistemas agrícolas ha dado cuentas de mejoras en las propiedades del suelo, incluyendo a la materia orgánica, en parte, por el aporte de biomasa y la cobertura generada. En este sentido, cabe preguntarse si la remoción aérea de los CS podría afectar la formación de carbono (C). El objetivo de este trabajo fue evaluar si la remoción de la biomasa aérea impacta sobre la cantidad de raíces y sobre la formación de C en la materia orgánica particulada (Cn-MOP). El experimento se realizó en el periodo 2014-2020 sobre un suelo Argiudol ácuico de la serie Oro Verde en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Se evaluaron secuencias de CS con Soja (Raigras/Soja y Melilotus/Soja) y un testigo sin antecesor (Barbecho/Soja). A los CS se le realizó un tratamiento de corte, generándose dos subtratamientos: CS sin corte (CSsc) y con corte (CScc), dejando un remanente de 6 cm. La biomasa aérea del tratamiento con corte fue exportada, considerando solo el remanente como aporte aéreo al suelo. En la campaña 2014/2015 y 2015/2016 se realizó un muestreo de raíces de los CS, en los estratos 0-5 cm y 5-15 cm. Se consideró un índice de partición de la biomasa aérea para estimar los aportes radicales en los periodos siguientes. Se muestreó el suelo en el periodo Abril-Mayo en los años 2014, 2017 y 2020, en los estratos 0-5 cm y 5-15 cm. En laboratorio se estimó fracción MOP usando un tamiz de 53 μm . Sobre la MOP se analizó la abundancia de ^{13}C para estimar el Carbono nuevo (Cn). El aporte de biomasa aérea de los CS fue en promedio de 617 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 5297 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para Melilotus en los tratamientos de CScc y CSsc respectivamente, y de 1089 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 9329 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para Raigrás en dichos tratamientos. El aporte promedio anual de biomasa de soja considerando todos los tratamientos en el periodo 2014-2020 fue de 5573 kg ha^{-1} . No hubo diferencia en el aporte radical de los CS, considerando especie y efecto de corte, obteniendo en promedio 6142 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. En superficie, la formación de Cn-MOP tendió a ser menor en el monocultivo (diferencias de 1,07 tn ha^{-1} respecto a Raigrás/Soja; $p=0,07$). A diferencia de la secuencia, el corte tendió a afectar el Cn-MOP de 5-15 cm, aunque no significativamente ($p=0,06$). La formación Cn-MOP no se asoció con el aporte de biomasa aérea pero sí con la biomasa radical aportada por las raíces de las distintas secuencias ($R^2 = 0,53$; $p<0,05$). El efecto del corte no significó en una reducción importante de la formación de Cn-MOP, tampoco sobre la formación de raíces de los diferentes CS, por lo que sería viable plantear su aprovechamiento como forraje.

Palabras clave: Cultivo de cobertura, intensificación de la secuencia, aprovechamiento forrajero.





MANEJO DE LA SIEMBRA E INOCULACIÓN CON RIZOBIOS EN EL CULTIVO DE VICIA VILLOSA

Barraco, M.^{1*}, M.E. Gallace², M. Díaz-Zorita²

¹ EEA INTA General Villegas;

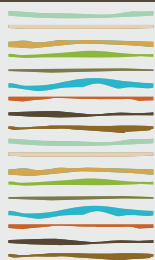
² Facultad de Agronomía UNLPam;

* San Martín 26, (B6230) General Villegas, Prov. de Buenos Aires, barraco.miriam@inta.gob.ar

RESUMEN

La vicia villosa es una especie con crecimiento otoño-inverno-primaveral que en simbiosis con rizobios específicos, incorpora nitrógeno del aire a través del proceso de fijación biológica. La siembra se realiza durante el otoño por lo que, para su inclusión en sistemas agrícolas con cultivos estivales, además de la siembra convencional luego de la cosecha del cultivo anterior es frecuente la siembra en superficie ("con avión", "al voleo"). Se reconoce con este manejo resultados variables en la eficiencia de implantación asociados a limitaciones en la humedad y exposición a desecación que limitan la instalación de las plántulas. El objetivo de este estudio fue cuantificar, en condiciones de campo, los efectos de la inoculación de semillas de vicia sobre la implantación y producción del cultivo según la ubicación de las semillas durante la siembra. El estudio se desarrolló en la EEA General Villegas. Se establecieron 2 tratamientos: i) método de siembra (en suelo y en superficie) y ii) tratamiento de inoculación (control, inoculado, inoculado + aditivo de protección bacteriana). Se determinó la cantidad de plantas emergidas hasta los 35 días desde la siembra (DDS) y a los 60 días se determinó biomasa seca de nódulos y aérea. A los 200 DDS se cuantificó la producción total de biomasa aérea. Se utilizó un diseño en bloques con parcelas divididas. Se lograron entre 30 y 96 plantas m⁻², con diferencias entre los sistemas de siembra tanto en la cantidad como en el momento de máxima implantación. Al ubicar las semillas en el suelo la máxima cantidad de plantas se alcanzó a los 15 DDS y fue de aproximadamente el doble que la lograda al colocar las semillas en superficie, mientras que la emergencia de las semillas incorporadas en el suelo y tratadas con inoculante +aditivo fue mayor que en el resto de los tratamientos sin mostrar diferencias en el máximo de plantas logradas. La nodulación varió entre 0,1 y 9,0 mg planta⁻¹ sin diferencias entre los sistemas de siembra. Los cultivos sin inoculación mostraron menor nodulación y fue mayor con inoculante + aditivo. La biomasa a los 60 DDS varió entre 3,4 y 347 kg de materia seca ha⁻¹. Con las semillas sobre la superficie del suelo la producción inicial de materia seca fue del 40 % de la lograda cuando las semillas se incorporaron en el suelo, mientras que al inocular se incrementó el crecimiento inicial en más del 50 % comparado con el control. Esta diferencia se atribuye tanto a la mayor cantidad de plantas logradas como a la rápida instalación de los cultivos con incorporación de las semillas en el suelo. A los 200 DDS la producción de materia seca varió entre 5095 y 8482 kg ha⁻¹ y mostró diferencias entre el sistema de siembra y entre los tratamientos de semilla. La incorporación de las semillas en el suelo produjo aproximadamente 900 kg ha⁻¹ (+15%) más de biomasa aérea que los en superficie. Entre tratamientos de semillas la inoculación mejoró un 7% la producción total de biomasa de vicia.

Palabras clave: cultivos de servicio, implantación, nitrógeno.



PROPIEDADES DEL DIGERIDO ANAERÓBICO DE ORUJO DE MANZANA COMO BIOFERTILIZANTE

Bartucci, S.L.^{1,2}, Young, B. J.³, Laos, F.¹

¹ Instituto de Investigación y Desarrollo para la Agricultura Familiar (IPAF) Región Patagonia, INTA;

² CONICET;

³ Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA), INTA

* Autovía 22 Circunvalación s/n. Barrio Colonia San Francisco (8316). Plottier, Prov. de Neuquén, sandrabartucci@gmail.com

RESUMEN

Los subproductos de la digestión anaeróbica, conocidos como digeridos, o digestatos, son mundialmente utilizados como biofertilizantes o enmiendas orgánicas, ya que son suspensiones que contienen todos los nutrientes del sustrato que lo originó (salvo una proporción de Carbono que se transformó en metano), pero en formas moleculares más accesibles para las plantas. Las propiedades fisicoquímicas de los digeridos varían ampliamente en función del sustrato que da origen a dicho digerido, es por ello que hay una amplia variabilidad en la composición de los digeridos, y es necesario estudiarlos en cada caso para valorizarlos agrónomicamente. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas y de fitotoxicidad de un digerido proveniente de un reactor semicontinuo escala doméstica alimentado con orujo de manzana únicamente. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas, parasitológicas y ecotoxicológicas en 4 especies de plantas. El digerido de orujo de manzana posee un bajo contenido de nitrógeno comparado con otros digeridos, no posee otras limitantes de elementos potencialmente tóxicos, y posee una alta conductividad eléctrica (CE). En relación a la germinación de las semillas, el digerido sin diluir inhibió la germinación de las 4 especies, como era de esperarse por la alta CE, pero a las diferentes concentraciones, los resultados fueron dependientes de la especie, mostrando el rabanito la mayor sensibilidad, con poder estimulante de la germinación en diluciones menores al 10% para lechuga, trigo y rye grass y estimulación de la elongación radicular a partir del 5% para Rabanito. Se concluye que el digerido no tiene un alto valor como biofertilizante en sí mismo, por el bajo contenido de macronutrientes, pero es un estimulador de la germinación a menores concentraciones, y puede utilizarse como enmienda orgánica, por su aporte de materia orgánica a los suelos.

Palabras clave: digerido, orujo de manzana, biofertilizante.

INTRODUCCIÓN

El orujo de manzana es el principal residuo agroindustrial del alto Valle de Río Negro y Neuquén, por la presencia de industrias jugueras y sidreras, produciéndose aproximadamente 100.000 Tn anuales del mismo (Bartucci et al., 2019). Actualmente, algunas empresas regalan este residuo a los productores de cerdo, otra empresa lo compostea, y el resto lo dispone como "abono" de frutales o en predios como disposición final, sin tratamiento alguno, constituyendo un importante pasivo ambiental. Estos residuos son factibles de tratarse anaeróbicamente (Zanovello et al., 2021) produciendo energía (biogás) y un digerido, que puede utilizarse para el ciclaje de nutrientes y aprovechamiento del agua mediante su aplicación al suelo.

Se conoce que los digeridos anaeróbicos estimulan la actividad biológica del suelo (Iocoli et al., 2015), aportan un gran número de nutrientes y mejoran las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, se conoce que los digeridos pueden presentar efectos negativos en los suelos, si no son controlados fisicoquímica y microbiológicamente (Nkoa, 2014) nitrate pollution and loss of soil carbon. Fertilization with organic matter such



as compost therefore represents an alternative for sustainable agriculture. Traditional organic amendments such as manures, composts and sewage sludge have been extensively studied in the past. However, applications of biogas digestates and their impacts on the environment and human health are still unexplored. Recent articles report the agricultural potential and conflicting results of digestate performances. As a consequence, the effectiveness of digestate as organic amendment and fertilizer is still under debate. Here we review the legislative, chemical, agronomic and environmental literature on anaerobic digestates. We found that digestates can be considered as organic amendments or organic fertilizers, when properly handled and managed. Indeed we further show that anaerobic digestates have a higher potential to harm the environment and human health than undigested animal manures and slurries. The main points are the following: (1. Es por ello que en el 2019 la Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable emitió la Resolución 19/2019 que establece los parámetros mínimos de calidad que debe cumplir un digerido, y las recomendaciones para garantizar una aplicación inocua para el medio ambiente y la salud humana.

Las propiedades fisicoquímicas, el contenido de nutrientes y de sustancias potencialmente tóxicas están determinados exclusivamente por los sustratos de alimentación del biodigestor del cual provienen. Se han reportado digeridos de orujo de manzana en otros países, pero en codigestión con otros sustratos (Byeon et al., 2020; Ryoo, 2020; Byeon et al., 2021), y no como único sustrato. Es por ello, que el objetivo de este trabajo fue analizar un digerido de orujo de manzana como monosustrato para evaluar su potencial uso como enmienda orgánica, y poder incluir a este subproducto como factor económico ponderante en los estudios de prefactibilidad económica de los proyectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El digerido estudiado

El digerido evaluado se obtuvo de un biodigestor semicontinuo Homebiogás®, de 600 L de volumen líquido de trabajo. El mismo fue alimentado con orujo de manzana exclusivamente y diluido con el propio digerido del proceso, en condiciones psicrófilas por un período de 104 días y una Carga Orgánica Volumétrica de 0,975 kg SV/m³*d (TRH 67 días). El digerido se recirculaba para favorecer la mezcla y sostener la capacidad buffer. Para mayores detalles sobre el proceso, ver Zanovello et al., 2021. El orujo de manzana fue provisto por la juguera Patagonia Beverages.

Se recolectó el digerido de los días 76-82 (1 semana) y se almacenó en bidón de 20 L a temperatura ambiente (aprox 20°C) hasta su análisis. En la muestra se analizaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, parasitológicos y ecotoxicológicos.

Técnicas analíticas

El pH, Conductividad Eléctrica (CE), Potencial Redox (ORP), Nitrógeno Total (NT), Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV) y Coliformes fecales se realizaron según APHA 23rd Ed (Baird & Bridgewater, 2017) métodos 4500-H+, 2510, 2580, 4500-N C, 2540-B, 2540-E y 9221-E respectivamente.

La cuantificación de los metales (Ca, Mg, K, Na, Zn, Mn, Fe) se realizó mediante digestión en HNO₃ en microondas según TMECC 04.12-A y determinación por espectrometría de absorción atómica según TMECC 04.13-B.

La relación de absorción de sodio (RAS) se calculó según la siguiente ecuación: $AS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$

El recuento de huevos de *Ascaris lumbricoides* se realizó por microscopía según EPA/625/R-92/013 (United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2003).

Se realizó un bioensayo de toxicidad aguda sobre semillas de lechuga (*Lactuca sativa* variedad Romana Blanca), rye grass (*Lolium perenne*/estanzuela), rabanito (*Raphanus sativus*) y trigo (*Triticum aestivum*). Se evaluó la inhibición de la germinación y la elongación radicular en 6 concentraciones por triplicado para cada especie: 100% (sin diluir), 10%, 5%, 1%, 0,1% y 0% (control con agua destilada). Para ello, se colocaron 13 semillas sobre papel absorbente y se agregaron 4 ml de cada concentración en placas de Petri plástica de 90 mm x 15 mm. Se incubaron por 5 días en oscuridad a temperatura ambiente (20°C ± 3°C). Se determinó



como criterio de validez del bioensayo un porcentaje de germinación mayor a 80% en el tratamiento control.

Se determinó el porcentaje de germinación (PG), la germinación relativa (GR), el crecimiento radicular relativo (CRR) y el índice de germinación (IG) según las siguientes ecuaciones:

$$PG(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ semillas germinadas (prom. 3 réplicas)} * 100\%}{N^{\circ} \text{ de semillas sembradas (prom. 3 réplicas)}}$$

$$GR(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en la muestra (prom. 3 réplicas)} * 100\%}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el control (prom. 3 réplicas)}}$$

$$CRR = \frac{\text{Long. Raíces en la muestra (prom. 3 réplicas)}}{\text{Long. Raíces en el control (prom. 3 réplicas)}}$$

$$IG(\%) = \frac{GR \text{ (prom. 3 réplicas)} * 100\%}{CRR \text{ (prom. 3 réplicas)}}$$

Para determinar los índices de fitotoxicidad $CRR_{0,8}$ y $IG_{80\%}$ correspondientes a la concentración en la que se obtendría un CRR igual a 0,8 y un IG igual a 80% respectivamente, se graficaron y obtuvieron las ecuaciones de la recta del CRR e IG en función de la concentración.

Se consideraron los siguientes puntos de corte para considerar si una sustancia tiene un efecto estimulador, inhibidor o neutro sobre la elongación radicular (Young et al., 2012):

$CRR > 1,2$: Tiene un efecto estimulador de la elongación radicular

$0,8 < CRR < 1,2$: No tiene efectos significativos sobre la elongación radicular

$0 < CRR < 0,8$: Tiene un efecto inhibidor sobre la elongación radicular

En términos del IG, el punto de corte seleccionado para determinar si una sustancia es inhibidora de la germinación o no, fue de 80% (Young et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico, microbiológico y parasitológico

Las características fisicoquímicas, microbiológicas y parasitológicas se muestran en la tabla 1. Se observa que ninguno de los parámetros analizados está fuera de lo establecido por la Resolución SGAYDS#SGP 19/2019 (Secretaría de gobierno y desarrollo sustentable, 2019). A pesar de ello, se puede observar que el digerido contiene una elevada CE y RAS, lo que implica altos riesgos de sodificación del suelo con efectos negativos sobre la infiltración. Tiene un pH levemente alcalino. Tiene una muy baja concentración de Nitrógeno, lo que es de esperarse debido a la baja concentración de Nitrógeno en el sustrato (0,3%(Bartucci et al., 2019)).

En relación a los análisis microbiológicos y parasitológicos, no se supera el límite de coliformes fecales, y no se detectaron huevos de *Áscaris lumbricoides*. Esto es esperable dado que el sustrato no presenta riesgos de contener estos patógenos, pero podrían encontrarse debido a que el biodigestor fue inoculado inicialmente con estiércol porcino, y se debe garantizar la inocuidad del mismo.



Parámetro	Promedio (CV%)	Valor límite según Resolución SGAYDS#SGP 19/2019
pH	8,06	6,5-8,5
CE	14,78 mS/cm	declarar
ORP	-418 mV	(1)
NT	0,0015 % BH	declarar
ST	2,38 % BH (0,18)	(1)
SV (Materia orgánica)	40,89 % BS (1,21) = 0,97 % BH (1,39) = 9,74 g/Kg (1,39)	> 40% BS
Ca	25537 ppm BS	(1)
Mg	7951 ppm BS	(1)
K	106378 ppm BS	declarar
Na	79544 ppm BS	declarar
Zn	161 (8,0) ppm BS	300 ppm BS
Mn	107 ppm BS	(1)
Fe	2333 ppm BS	(1)
Ácidos Grasos Volátiles	1182,1 mg AcH/L = 0,13 g DQO/g MO	< 0,43 g DQO/g MO
RAS	94,8	(1)
Coliformes fecales	17 NMP/100 ml	< 100000 NMP/100 g BH
Ascaris lumbricoides	< 1 (menor al límite de cuantificación)	1 huevo viable/litro de digerido

Tabla 1: características fisicoquímicas y microbiológicas del digerido. BH: Base húmeda (muestra fresca); BS: Base seca. ⁽¹⁾Parámetro sin valor límite declarado en la norma técnica.

Efectos sobre la germinación y elongación radicular

Los 4 ensayos cumplieron con el criterio de validez, siendo el PG de las semillas: 100%, 87,2%, 93,3% y 86,7% para Lechuga, Rye grass, Rabanito y Trigo respectivamente.

Los efectos inhibitorios observados fueron dependientes de la concentración del digerido, tal como se detallan los valores de CRR y de IG en la tabla 2. Para la lechuga, el rye grass y el trigo, se observaron efectos inhibitorios sobre la elongación radicular y la germinación al 100%, pero no a las demás concentraciones ensayadas. El rabanito presentó una mayor sensibilidad, presentando un efecto inhibitorio de la elongación radicular incluso al 10%, pero ya al 5% se observó un efecto estimulador de la elongación radicular.

En bajas concentraciones, los valores de IG indicaron un efecto estimulador en las 4 especies, siendo menores al 10% en lechuga, trigo y rye grass, y menores al 5% en rabanito. En particular, los mayores valores de CRR e IG fueron observados en la concentración de 1% en todas las especies. Se podría inferir que el efecto inhibitorio se va perdiendo a concentraciones bajas de digerido por una reducción en la concentración de la salinidad (Young et al., 2012) y la materia orgánica (Young et al. 2012; Young et al. 2016; Bres et al. 2018 which may inhibit the anaerobic process. The aim of this work was to evaluate the performance of anaerobic digestion of PM co-digested with fruit and vegetable waste. Two semi-continuous bench scale (19L; Carvalho Neves et al. 2020).



Concentración de digerido (%)	CRR				IG (%)			
	Lechuga	Rye grass	Ra-bani-to	Trigo	Lechuga	Rye grass	Ra-bani-to	Trigo
100	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,07	1,02	0,78	1,03	107,4	104,9	42	83,1
5	1,2	1,13	2,13	1,05	119,9	126,2	198	97,1
1	1,57	1,41	2,16	1,19	157,4	140,6	231,8	110,2
0.1	1,19	0,99	1,71	1,16	115,6	104,7	165	111,6

Tabla 2. Valores de CRR e IG de las 4 especies estudiadas en función de la concentración. Se presentan en rojo los valores inhibitorios, en amarillo los que no presentan ningún efecto, y en verde los efectos estimulantes.

Los valores de los índices de fitotoxicidad $CRR_{0,8}$ y de $IG_{80\%}$ se muestran en la tabla 3. El rabanito fue la especie que presentó mayor sensibilidad, seguido del trigo, el rye grass y la lechuga. Estos valores indican que para evitar un efecto inhibitorio ya sea en la germinación como en la elongación radicular, debería diluirse el digerido hasta una concentración de 9%, 18%, 31% y 35% según se utilice en el cultivo de rabanito, trigo, rye grass o lechuga respectivamente.

Especie	$CRR_{0,8}$	$IG_{80\%}$
Trigo	28,86	17,95
Rabanito	9,94	8,78
Rye grass	31,10	35,95
Lechuga	34,90	34,90

Tabla 3. Índices de fitotoxicidad $CRR_{0,8}$ y de $IG_{80\%}$ calculados según Young, 2016.

CONCLUSIONES

El digerido de orujo de manzana puede utilizarse diluido como enmienda orgánica, ya que se demostró sus propiedades como estimulante de la elongación radicular y de la germinación a bajas concentraciones. El efecto inhibitorio sobre la germinación y/o elongación radicular es dependiente de la concentración de digerido en todas las especies, siendo el rabanito el más sensible con una $IG_{80\%}$ de 9%. Los efectos inhibitorios pueden atribuirse a la elevada salinidad del mismo. Esta enmienda no aporta grandes cantidades de Nitrógeno, lo que era esperable, dado el bajo contenido de nitrógeno del sustrato, pero sí aporta materia orgánica y sustancias promotoras de la elongación radicular.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con financiamiento del proyecto disciplinario INTA 2019-PD-E2-I518-002 "Estudio del impacto ambiental, gestión y tratamiento de residuos y efluentes sobre sistemas agropecuarios y agroindustriales para su valorización agronómica". Se agradece al Laboratorio de Servicios Agrarios y Forestales por su colaboración en la capacitación de la metodología empleada.

BIBLIOGRAFÍA

Baird, R., & Bridgewater, L. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd edition. Washington, D.C. American Public Health Association.

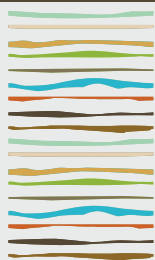
Bartucci, S. L., Beily, M. E., Bres, P. A., Gatti, M. N., & Laos, F. (2019). Caracterización de orujos de manzana de jugueras y sidreras del Alto Valle de Río Negro y Neuquén para su valorización energética. IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental Florencio Varela, Argentina. 2 Al 5 de Diciembre de 2019, 388–393.

Bres, P. A., Beily, M. E., Young, B. J., Gasulla, J., Butti, M., Crespo, D. C., Komilis, D. (2018). Performance of semi-continuous anaerobic



- co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: A bench scale study. *Waste Management*, 82, 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.041>
- Byeon, J., Lee, H., Ryoo, J., & Hwang, S. (2020). Changes in Chemical Properties and Effect on Germination of Radish Seed from Aeration of Co-digestate Fertilizers. *Korean Journal Crop Sciences*, 65(4), 508–517.
- Byeon, J., Lee, H., Ryoo, J., & Hwang, S. (2021). Effect of Different Liquid Manure Anaerobic Digestates on the Growth and Yield of Rice and the Optimum Application Concentration. *Korean Journal Crop Sciences*, 66(1), 97–104.
- Carvalho Neves, L., Beber de Souza, J., de Souza Vidal, C. M., Herbert, L. T., de Souza, K. V., Geronazzo Martins, K., & Young, B. J. (2020). Phytotoxicity indexes and removal of color, COD, phenols and ISA from pulp and paper mill wastewater post-treated by UV/H₂O₂ and photo-Fenton. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202(June), 110939. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110939>
- Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z>
- Ryoo, J. (2020). Effect of pH Adjustment by Adding Sulphuric Acid on Chemical Properties in Aerobic Liquefying Process of Co-Digestate of Swine Manure and Apple Pomace. *Journal of the Korea Organic Resources Association*, 28(3), 5–14.
- Secretaría_de_gobierno_y_desarrollo_sustentable. (2019). *Resolución SGAYDS#SGP 19/2019: Uso del digerido*.
- United States Environmental ProtectionAgency (USEPA). (2003). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. EPA/625/R-92/013.
- Young, B. J., Riera, N. I., Beily, M. E., Bres, P. A., Crespo, D. C., & Ronco, A. E. (2012). Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76(1), 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.019>
- Young, B. J., Rizzo, P. F., Riera, N. I., Torre, V. Della, López, V. A., Molina, C. D., Sánchez, A. (2016). Development of phytotoxicity indexes and their correlation with ecotoxicological, stability and physicochemical parameters during passive composting of poultry manure. *Waste Management*, 54, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.001>
- Zanovello, L., Bartucci, S. L., Cesano, M., & Martínez, I. (2021). Evaluación del proceso de digestión anaeróbica a escala piloto con orujo de manzana como único sustrato. 6° *Simposio Argentino de Procesos Biotecnológicos*, Posadas, 4 Al 6 de Agosto 2021. Pag 142-143.





INDICADORES DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO PARA CEREALES DE INVIERNO

Bassi L.^{1*}, G. V. García^{2,3}, N.I. Reussi Calvo², C. Crespo^{2,3}, W. Carciochi^{2,3}, I. Queirolo², H. R. Sainz Rozas^{2,3}, N. Wyngaard^{2,3}.

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 nitrógeno mineralizado (N_{min}) es una de las principales fuentes de nitrógeno (N) para la nutrición de los cultivos, por ello la estimación del N_{min} es de importancia para llevar adelante un manejo racional y eficiente de la fertilización nitrogenada. Si bien, en el sudeste bonaerense, el N mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}) es frecuentemente utilizado como estimador del potencial de mineralización, presenta la desventaja metodológica de que su determinación requiere una incubación de 7 días. Existen dos metodologías que podrían ser superadoras: la extracción con cloruro de potasio caliente (N_{KCl}) y el *flush* de dióxido de carbono (N_{CO2}). El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento de N_{KCl} y N_{CO2} como estimadores del N_{min} para cereales de invierno y compararlos con N_{AN} . Durante 2016 y 2018 se realizaron ensayos de respuesta a la fertilización nitrogenada de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el sudeste bonaerense. Sobre las muestras de suelo tomadas a la siembra de dichos cultivos se determinó N_{CO2} , N_{KCl} , N_{AN} . En madurez fisiológica se determinó el rendimiento en grano a 14% de humedad (RG), respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada (Rta), biomasa área total (BAT), proteína en grano (P_g) y N en planta entera (NTP). A partir de los datos, los principales resultados fueron que: i) los indicadores (N_{CO2} , N_{KCl} , N_{AN}) no se correlacionaron entre sí, ii) las variaciones de RG, Rta, BAT, P_g y NTP no fueron explicados por ningún indicador evaluado en la campaña 2016 (año seco), iii) las variaciones de BAT y NTP fueron explicados por N_{CO2} en la campaña 2018 (año húmedo). Se concluye que el N_{CO2} podría ser utilizado como indicador de mineralización de N en los cultivos de trigo y cebada, aunque deberá ser evaluado en un rango más amplio de condiciones edafoclimáticas.

Palabras clave: nitrógeno, fertilidad, trigo.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el macronutriente que más limita la producción agrícola a nivel mundial (Havlin *et al.*, 2005), especialmente en los cultivos de cereales (Luce *et al.*, 2011). La disponibilidad de N como nitrato (NO_3^-) a la siembra suele ser utilizada como indicador de disponibilidad de N desde el suelo (Magdoff *et al.*, 1984; Sainz Rozas *et al.*, 2008), aunque esta estrategia no contempla el N mineralizado (N_{min}) durante el ciclo de cultivo (García & Reussi Calvo, 2014). Numerosos indicadores de N_{min} han sido evaluados (Schomberg *et al.*, 2009; Wyngaard *et al.*, 2018), siendo uno de ellos el N mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}) basado en una incubación anaeróbica corta (*i.e.* 7 días) (Keeney, 1982). El N_{AN} se relaciona estrechamente con el N_{min} (Schomberg *et al.*, 2009) y el rendimiento en grano en cultivos no fertilizados (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Reussi Calvo *et al.*, 2013, 2018; Queirolo, 2018). Sin embargo, el plazo de incubación prolongado del N_{AN} promueve el desarrollo de técnicas más rápidas pero que mantengan la capacidad predictiva del N_{AN} . Una metodología química para estimar el potencial de mineralización es la extracción con cloruro de potasio (KCl) caliente (N_{KCl}), cuya determinación requiere 1 día (Gianello & Bremner, 1986). Algunos trabajos han descripto que N_{KCl} posee una alta capacidad predictiva del N_{min} (Schomberg *et al.*, 2009), mientras que otros trabajos han

obtenido resultados poco satisfactorios al evaluar el N_{KCl} como estimador del N_{min} (Sharifi *et al.*, 2007). Recientemente, otra metodología, el *flush* de dióxido de carbono (N_{CO_2}) (Franzluebbers *et al.*, 2000), ha cobrado renovado interés. La misma se basa en el re-humedecimiento e incubación durante 3 días de una muestra de suelo. El N_{CO_2} fue relacionado con el contenido de N en planta (Franzluebbers & Pershing, 2018) y con la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.) (Franzluebbers, 2018). Sin embargo, se desconoce la capacidad predictiva del N_{CO_2} para predecir variables fisiológicas en otros cultivos como el trigo (*Triticum aestivum* L.) y la cebada (*Hordeum vulgare* L.). El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de N_{CO_2} y N_{KCl} como indicadores de la capacidad del suelo de proveer N a los cultivos de trigo y cebada, y comparar su capacidad predictiva con N_{AN} .

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

Se tomaron muestras de suelos de ensayos de respuesta a la fertilización nitrogenada realizados a campo descritos por García (2021) y Quierolo (2018). Dichas muestras provienen de 16 lotes de producción agrícola en el sudeste bonaerense destinados a la siembra de trigo y cebada (ocho en el año 2016 y ocho en 2018). Los sitios correspondieron a Molisoles de textura superficial franca, franco-arcillosa y franco-arcillo-arenosa, con contenidos de carbono orgánico total de entre 28,1 y 47,0 g kg⁻¹. En cada sitio se marcaron dos parcelas de 400 m², donde a una de las parcelas se le aplicó la dosis de N utilizada por el productor agropecuario (entre 55 y 155 kg N ha⁻¹), mientras que la parcela aledaña no fue fertilizada. Otros nutrientes no fueron limitantes. Para más información sobre el diseño experimental y las condiciones edafoclimáticas de los ensayos consultar García (2021) y Quierolo (2018).

Muestreo de planta, suelo y determinaciones analíticas

En cada unidad experimental se tomaron muestras de suelo de 0-5 y 5-20 cm de profundidad, con un muestreador tubular, compuestas por 15 y 5 submuestras respectivamente, donde se determinó N_{AN} (Keeney, 1982), N_{CO_2} (Franzluebbers *et al.*, 2000) y N_{KCl} (Gianello & Bremner, 1986). El N_{CO_2} consiste en la cuantificación de la emisión de dióxido de carbono (CO₂) emitido desde una muestra de suelo rehumedecida durante 3 días de incubación, mientras que N_{KCl} se basa en la cuantificación del N-NH₄⁺ producido durante una incubación de la muestra de suelo con KCl durante 4 horas a 100°C. Por otro lado, se muestreo en 0-60 cm de profundidad con un muestreador tubular para determinar el contenido de N-NO₃⁻ (Keeney & Nelson, 1982).

En estado de madurez fisiológica de los cultivos se tomaron tres muestras por parcela, correspondientes a 9 metros lineales, de la parte aérea de la planta, las cuales fueron secadas y procesadas adecuadamente. Con ello, se obtuvo el rendimiento en grano con 14% de humedad (RG), biomasa aérea total (BAT), respuesta a la fertilización nitrogenada (Rta), y N total en material vegetal (*i.e.* grano y tallo más hoja) (NTP) (Bremner & Mulvaney, 1982). El análisis de resultados no fue discriminado entre trigo y cebada, debido a que ambos poseen una estructura de canopeo y una eficiencia de uso de N similar (Cossani *et al.* 2009, 2012),

Análisis estadístico

Para cada variable (excepto N-NO₃⁻) se calcularon los valores correspondientes al estrato de 0-20 cm utilizando mediante el promedio de los valores obtenidos en 0-5 y 5-20 cm ponderados por su espesor. Se llevaron a cabo análisis de correlación entre variables y se ajustaron modelos de regresión lineal entre las variables predictivas (N_{CO_2} , N_{KCl} y N_{AN}) y las variables de cultivo (RG, Rta, BAT, P_g y NTP) utilizando el programa en el RStudio Team (2015) ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de N_{AN} reportados en este trabajo (38,29 a 88,26 mg kg⁻¹, Tabla 1) estuvieron contemplados dentro del rango descrito por Reussi Calvo *et al.* (2011) (25 a 115 mg kg⁻¹) para el sudeste bonaerense y por Shoombert *et al.* (2009) para un amplio rango de suelos (5 a 88 mg kg⁻¹). En cuanto al N_{CO_2} , los valores observados (157,73 a 333,7 mg kg⁻¹, Tabla 1) se encontraron dentro del rango reportado por Franzluebbers *et al.* (2000) (30 a 500 mg kg⁻¹) y Schoombert *et al.* (2009) (28 a 339 mg kg⁻¹). Por otro lado, los valores de N_{KCl} (18,9 a 46,98 mg kg⁻¹, Tabla 1) fueron semejantes a los reportados por Martínez *et al.* (2015) (6,5 a 50 mg kg⁻¹)



el sudoeste bonaerense, y por Schoomberg *et al.* (2009) (2,9 a 35 mg kg⁻¹).

Tabla 1. Valores máximos, mínimos y promedios para el flush de dióxido de carbono (N_{CO_2}), cloruro de potasio caliente (N_{KCl}) y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}) en 0-20 cm, y de nitrógeno como nitrato ($N-NO_3^-$) en 0-60 cm de los sitios de 2016 y 2018.

Año	Medida descriptiva	$N-NO_3^-$ (mg kg ⁻¹)	N_{CO_2} (mg kg ⁻¹)	N_{KCl} (mg kg ⁻¹)	N_{AN} (mg kg ⁻¹)
2016	Mínimo	4,28	210,93	30,97	38,29
	Máximo	9,69	333,70	44,63	88,26
	Promedio	6,13	281,01	39,50	63,77
2018	Mínimo	4,28	157,73	18,90	38,29
	Máximo	23,06	333,70	46,98	73,40
	Promedio	9,33	219,93	37,55	57,18

Se pudo observar que no hubo relación entre N_{AN} con N_{KCl} (Tabla 2), contrariamente a lo reportado por Schoomberg *et al.* (2009), quien sugiere que ambas variables se encuentran correlacionadas fuertemente ($r=0,91$). Asimismo, no hubo correlación entre N_{AN} y N_{CO_2} (Tabla 2), lo cual no se condice con lo informado por Bassi *et al.* (2021), que reportaron una fuerte relación lineal y positiva ($r = 0,90$) y por Schoomberg *et al.* (2009) ($r=0,91$). Por último, la correlación entre N_{CO_2} y N_{KCl} (Tabla 2) no concuerda con lo reportado por la bibliografía, dado que Schoomberg *et al.* (2009) informó un coeficiente de correlación de Pearson entre ambas variables de 0,88. Las diferencias entre los coeficientes de correlación reportados en la bibliografía y los resultados de este trabajo podrían explicarse por el acotado rango de condiciones edafoclimáticas analizadas, en contraste a aquellas analizadas en otros trabajos (Schoomberg *et al.*, 2009; Bassi *et al.* 2021).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson para las variables flush de dióxido de carbono (N_{CO_2}), cloruro de potasio caliente (N_{KCl}) y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}) determinadas en 0-20 cm.

Variable	N_{AN}	N_{CO_2}	N_{KCl}
N_{AN}	1	ns	ns
N_{CO_2}	0,216	1	ns
N_{KCl}	0,495	0,083	1

ns indica diferencias no significativas ($P>0,05$).

Para las variables asociadas con el rendimiento en grano y N en tejidos de trigo y cebada (Tabla 3) se observaron, en general, mayores valores para el año 2018. Esto se debe a que en la campaña 2016 las precipitaciones no cubrieron la demanda hídrica de los cultivos (García, 2021) afectando el desarrollo de los cultivos (Carpaneto & Lanzavecchia, 2016) y, por ende, las variables evaluadas. En cambio, en la campaña 2018, la oferta hídrica superó la demanda en los 8 ensayos planteados, pudiendo ser considerada una campaña sin limitantes hídricas (García, 2021). Al asociar los valores de N_{CO_2} , N_{KCl} y N_{AN} en la profundidad de 0-20 cm, con las variables productivas de trigo y cebada estudiadas (RG, Rta, BAT, P_g y NTP) se observó que los modelos de regresión lineal simple no fueron significativos en la campaña 2016 (Tabla 4). En cambio, en la campaña 2018, se observó que el N_{CO_2} de 0-20 cm se asoció con la BAT y NTP de los tratamientos sin N (Tabla 4 y Figura 1).

Tabla 3. Media de rendimiento en grano a 14% de humedad (RG), respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada (Rta), biomasa área total (BAT), proteína en grano (P_G), nitrógeno en planta entera (NTP) para los cultivos de trigo y cebada para los años 2016 y 2018.

Año	2016		2018	
Cultivo	Cebada	Trigo	Cebada	Trigo
RG (kg ha ⁻¹)	4436,7	4597,9	5024,9	5138,4
Rta (kg ha ⁻¹)	1386,7	644,9	1706,7	1122,3
BAT (kg ha ⁻¹)	8674,5	11493,4	8761,9	12248,3
P_G (%)	8,33	10,13	9,59	10,52
NTP (kg ha ⁻¹)	68,83	99,54	73,27	112,26

Ha sido reportado que, mediante modelos de regresión lineal simple, el N_{AN} explica entre un 51 y 41% de la variación del RG para el cultivo de trigo (Reussi Calvo *et al.*, 2013, 2018). Sin embargo, existen discrepancias sobre la capacidad del N_{AN} para explicar el RG del cultivo. Domínguez *et al.* (2006) reportaron una estrecha asociación entre ambas variables, mientras que Sainz Rozas *et al.* (2008) informaron una débil asociación entre dichas variables. Aunque no existe información para trigo y cebada, en otros cultivos como el maíz (*Zea mays* L.) ha sido reportada una asociación estrecha entre N_{CO2} y NTP ($r=0,78$, $P<0,001$) en un amplio rango de suelos en ambientes húmedos para el cultivo de maíz (Franzluebbers & Pershing, 2018).

Tabla 4. Valores P de los modelos de regresión lineal simple para los indicadores [nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (N_{AN}); Flush de CO_2 (N_{CO2}) y KCl caliente (N_{KCl})] en función de las diferentes variables fenológicas medidas en trigo y cebada [rendimiento en base húmeda 14% en kg ha⁻¹ (RG); respuesta en rendimiento en kg ha⁻¹ (Rta); biomasa aérea total en kg ha⁻¹ (BAT); proteína en grano en % (P_G) y nitrógeno total en planta en kg ha⁻¹ (NTP)] para los años 2016 y 2018. NS: corresponde a modelos lineal simple no significativos ($P<0,05$).

Año	2016			2018		
Indicadores	N_{AN}	N_{CO2}	N_{KCl}	N_{AN}	N_{CO2}	N_{KCl}
Variables	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
RG	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Rta	NS	NS	NS	NS	NS	NS
BAT	NS	NS	NS	NS	0.014	NS
P_G	NS	NS	NS	NS	NS	NS
NTP	NS	NS	NS	NS	0.04	NS



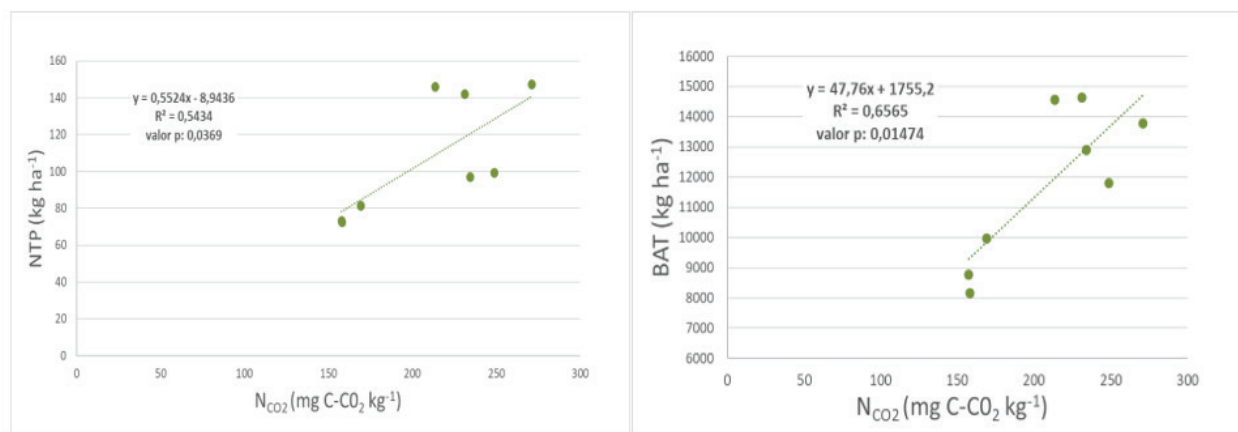


Figura 1. Regresión lineal de las variables fisiológicas [biomasa aérea total (BAT) y nitrógeno total en planta (NTP)] en función del flush de dióxido de carbono (N_{CO_2}) para el año 2018.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo sugieren que el N_{CO_2} podría ser utilizado como indicador de mineralización de N para los cultivos de trigo y cebada. Sin embargo, debido al marcado efecto del ambiente sobre dicha capacidad predictiva, surge la necesidad de evaluar el desempeño de N_{CO_2} como indicador de la disponibilidad de N para los cultivos en un mayor rango de condiciones edafoclimáticas.

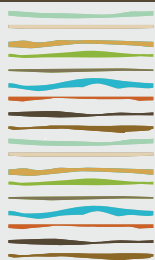
BIBLIOGRAFIA

- Bassi, L.; S. Tourn; N Wyngaard; GV García; C Crespo; W Carciochi; AA Pizzuto; C Rivero; HR Sainz Rozas & GA Studdert. 2021. "Flush de CO₂ como indicador de salud edáfica" en Actas del XI Congreso sobre el UMS. Diciembre de 2021.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: AL Page (ed). Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. Agron. Monog. 9. Pp. 595-624.
- Carpaneto, B & L Lanzavecchia. 2016. Informe agropecuario mensual. INTA Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina. RIAN N°122. 12 p.
- Cossani, CM; GA Slafer & R Savin. 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. Field Crops Res. 112(2-3):205-213.
- Cossani, CM; GA Slafer & R Savin. 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. Field Crops Res. 128:109-118.
- Domínguez, G.F., G.A. Studdert, M.V. Cozzoli, and N.V. Diovisalvi. 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. In: Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina. 19-22 Sept. 2006. Asoc. Argentina Ciencia Suelo Publ., Salta-Jujuy, Argentina. p. 144.
- Franzluebbers, AJ. 2018. Soil-test biological activity with the flush of CO₂: III. Corn yield responses to applied nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 82:708-721.
- 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.
- Franzluebbers, A. J. & MR Pershing. 2018. Soil-test biological activity with the flush of CO₂: II. Greenhouse growth bioassay from soils in corn production. Soil Sci. Soc. Am. J., 82(3), 696-707.
- García, FO & NI Reussi Calvo. 2014. Trigo. En: HE Echeverría & FO García (eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2a ed. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Pp. 401-434.
- García, GV. 2021. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis como indicador del estado de salud edáfica en suelos del sudeste bonaerense. Tesis Doctorado. Balcarce, Argentina: Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires: 151 pp.
- Gianello, C & JM Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17:195-214.



- Havlin, J; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- 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.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Agron. Monogr. 9. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Coc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 643-698.
- Luce, MS; JK Whalen; N Ziadi & BJ Zebarth. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. Adv. Agron. 112:55-102.
- Magdoff, FR; D Ross & J Amadon. 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:1301-1304.
- Martínez, J. M., J Galantini, ME Duval & FM López. 2015. Indicadores de mineralización de nitrógeno en el sudoeste bonaerense: relación con las fracciones orgánicas del suelo. Ciencias Agronómicas, Año 15: 49-57.
- Queirolo, I. 2018. Manejo del nitrógeno para incrementar la eficiencia de uso y la calidad en cebada cervecera. Tesis de Maestría, Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. 62 pp.
- Reussi Calvo, NI; H Echeverría; H Sainz Rozas; A Berardo & N Diovisalvi. 2011. Nitrógeno incubado en anaerobiosis: ¿Herramienta complementaria para el diagnóstico de nitrógeno en trigo? En: Simposio Fertilidad. Rosario, Argentina. IPNI Publ. Pp. 207-210.
- 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.
- Reussi Calvo, NI; N Wyngaard; J Orcellet; HR Sainz Rozas & HE Echeverría. 2018. Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 82(2):502-508.
- RStudio Team. 2015. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA. Retrieved from <http://www.rstudio.com/>
- Sainz Rozas, H; PA Calviño; HE Echeverría; PA Barbieri & M Redolatti. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. Agron. J. 100:1020-1025.
- Schomberg, HH; S Wietholter; TS Griffin; DW Reeves; ML Cabrera; DS Fisher; DM Endale; JM Novak; KS Blkom; RL Raper; NR Kitchen; MA Locke; KN Potter; RC Schwartz; CC Truman & DD Tyler. 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 73:1575-1586.
- Sharifi, M, BJ Zebarth, DL Burton, CA Grant & JM Cooper. 2007. Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 71(4), 1233-1239.
- 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.





FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO, FÓSFORO E POTÁSSIO: EFEITOS NA ACIDEZ DO SOLO

Souza Bastiani, K.E.¹, E. N. Meoti¹, A. G. Scolari¹, M. Collet¹, J. Fink²

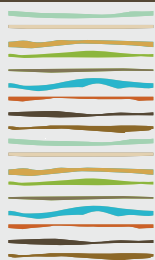
¹Estudante, Instituto Federal do Paraná (*Campus* Palmas),
Avenida Bento Munhoz da Rocha Neto, S/N, Palmas-PR, 85555-000, kayneduardo@gmail.com;

²Professor, Instituto Federal do Paraná (Campus Palmas),
Avenida Bento Munhoz da Rocha Neto, S/N, Palmas-PR, 85555-000, jesse.fink@ifpr.edu.br.

RESUMO

A fertilidade dos solos é essencial para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas e depende dos níveis adequados de nutrientes, como fósforo (P) e potássio (K), e da acidez do solo. O manejo do calcário influencia na redução da acidez do solo, uma vez que sua incorporação garante maior solubilização do calcário, assim como favorece o uso eficiente de fertilizantes. O objetivo do estudo foi verificar se a acidez do solo em diferentes profundidades é modificada por estratégias de aplicação de calcário associado a formas de aplicações de P e K. O experimento foi realizado em Palmas, Paraná, Brasil, sobre um Latossolo que estava sob campo nativo. Três formas de manejo do calcário (controle, incorporado e superfície) e três formas de formas de aplicação da adubação (correção + manutenção) com P e K (controle, linha e superfície) foram testadas em esquema fatorial, em triplicata. Seis meses após a aplicação dos tratamentos, amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 e 30-40 cm de profundidade. O pH_{H2O} e o índice SMP foram determinados. Através do índice SMP a acidez potencial do solo (H+Al) foi estimada. Os resultados foram submetidos à análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Houve efeito da interação da profundidade e da forma de aplicação do calcário para os valores de pH e H+Al. Quando incorporado, o calcário propiciou aumento do pH até os 15 cm, mas na camada superficial os valores de pH foram maiores quando o manejo foi superficial. Ainda, a incorporação do calcário garantiu redução do H+Al até os 30 cm, enquanto que o manejo superficial teve seus efeitos restringidos aos primeiros 15 cm. Devido à baixa solubilidade do calcário e a condição de acidez inicial do solo, o manejo superficial limitou seus efeitos aos primeiros centímetros, enquanto que a incorporação aumentou a solubilidade do calcário e proporcionou redução da acidez a uma profundidade maior. A interação entre a forma de aplicação do P e K e a profundidade avaliada influenciaram os valores de pH e H+Al. A aplicação de P e K na linha aumentou o pH até os 10 cm e reduziu a H+Al até os 15 cm. A acidez potencial apresentou efeito da interação entre manejo do calcário e a forma de aplicação do P e K. Quando o calcário é aplicado em superfície, a aplicação de P e K na linha é mais eficiente em reduzir o H+Al. Porém, a incorporação reduziu o H+Al independentemente da forma de aplicação de P e K. O aumento da concentração de ânions fosfatos na solução do solo influencia na dessorção específica dos ânions hidroxila pelo fenômeno de troca de ligantes, favorecendo a adsorção de P nos sítios hidroxiláveis dos óxidos de ferro, reduzindo a acidez. Apesar do maior custo operacional, a incorporação do calcário propicia efeitos em uma maior camada de solo. A aplicação de P e K na linha de cultivo parece influenciar na acidez devido a um efeito químico na superfície dos óxidos.

Palavras chave: Adubação fosfatada. Adubação potássica. Correção do solo.



VARIACION DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE ARGENTINA

Berhongaray, G.^{1*}, A. Alesso¹, J.M. Orcellet², L. Burzaco³

¹ICiAgro Litoral (UNL-CONICET);

²INTA;

³Consultor independiente.

* Kreder 2805, Esperanza, Prov. de Santa Fe, bgonzalo@agro.uba.ar

RESUMEN

Cuantificar la variabilidad espacial de la materia orgánica (MO) del suelo es uno de los temas más importante para el diseño de protocolos de muestreo. El objetivo de este trabajo fue determinar la variación de la MO en distintos ambientes de clima y suelo y encontrar patrones de variación de las propiedades del suelo en distintas zonas agrícolas del país. Se muestrearon 11 lotes de diferentes zonas productivas distribuidos en una transecta N-S cubriendo distintos tipos de suelos y climas. A partir de un muestreo en grilla se determinó el contenido de MO y arena y se obtuvieron los datos climáticos. Para cada lote se estimaron la media y el coeficiente de variación de las variables y se determinó el número de muestras según una fórmula clásica derivada de intervalo de confianza para medias de poblaciones normales y un método de bootstrapping. Se realizaron análisis de correlación para evaluar si existieron asociaciones entre la variabilidad a escala de lote de MO y las condiciones edafoclimáticas. No se encontraron correlaciones entre los parámetros de variabilidad de la MO y las variables edafoclimáticas. Se concluyó que la falta de un patrón aparente de variación en el número de muestras a tomar para distintas zonas del país implica que deben adaptarse número de muestras en función de la variación de la MO en cada lote.

Palabras clave: materia orgánica del suelo, muestreo, número de muestras

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) de los suelos puede utilizarse como sumidero del carbono atmosférico y mitigar el calentamiento global. El análisis del suelo es la herramienta para determinar el nivel de MO de un suelo. Sin embargo, la estimación de la cantidad de MO en el suelo es altamente dependiente del método utilizado para tomar las muestras de suelo. Cuantificar la variabilidad espacial de la materia orgánica del suelo es uno de los temas más importante para el diseño de protocolos de muestreo.

Los métodos más comunes para el muestreo de suelo consisten en tomar muestras en algunos puntos aleatorios cubriendo áreas representativas del campo y luego combinarlas para proporcionar una muestra compuesta del campo o por estratos para el análisis en el laboratorio. La suposición es que cada muestra representa localmente un área relativamente uniforme y que la muestra compuesta proporciona una estimación razonable del promedio de la población en el campo.

La pregunta sobre cuál es el número de muestras requeridos para obtener estimaciones confiables a escala del campo es clave para diseñar recomendaciones de muestreo. La teoría de muestreo clásica brinda un método que relaciona las necesidades de muestreo con la variabilidad del atributo, el nivel de confianza requerido para la estimación y la exactitud deseada o margen de error. Dicho enfoque asume que las variables de suelo siguen una distribución normal y las muestras son independientes lo cual comúnmente no se cumple en variables de suelo. Mediante la técnica de remuestreo o bootstrapping es posible aproximar



la distribución de muestreo sin supuestos sobre la variable objetivo (Alesso et al. 2017). Un trabajo en la pampa ondulada, simulando muestreos sin reposición, muestra el número de muestras óptimo para materia orgánica y otras variables de suelo en dichas condiciones edafoclimáticas (Alvarez et al. 2008). Sin embargo, no está claro si esos resultados son extrapolables a otras zonas agrícolas de Argentina. Por otro lado, dicho enfoque solamente considera un conjunto reducido de alternativas de muestras. El objetivo de este trabajo fue determinar la variación de la materia en distintos ambientes de clima y suelo y estudiar su relación con variables edafoclimáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizó una base de datos de muestreos de suelos en grilla realizados en las campañas 2018/19 y 2019/20 en lotes agrícolas. En total se muestrearon 11 lotes de diferentes zonas productivas distribuidos en una transecta N-S cubriendo distintos tipos de suelos y climas (Figura 1). En cada lote se marcaron puntos georeferenciados en forma de grilla y se tomaron 10 piques alrededor del punto para obtener suficiente muestra para el análisis, las muestras fueron tomadas con un barreno de fertilidad a 0-20 cm, y se obtuvo una muestra compuesta por hectárea. El número de muestras varió según el tamaño del lote entre 39 y 340 puntos. En cada muestra individual se determinaron variables químicas y físicas del suelo, para este trabajo sólo se consideraron materia orgánica y arena. Se obtuvieron los datos climáticos a partir del software LocClim de FAO (FAO 2006). A partir de las coordenadas geográficas de cada sitio muestreado se obtuvieron las siguientes características ambientales: elevación promedio, temperatura media anual, precipitación media y evapotranspiración media utilizando el método de interpolación espacial inverso a la distancia (IDW).

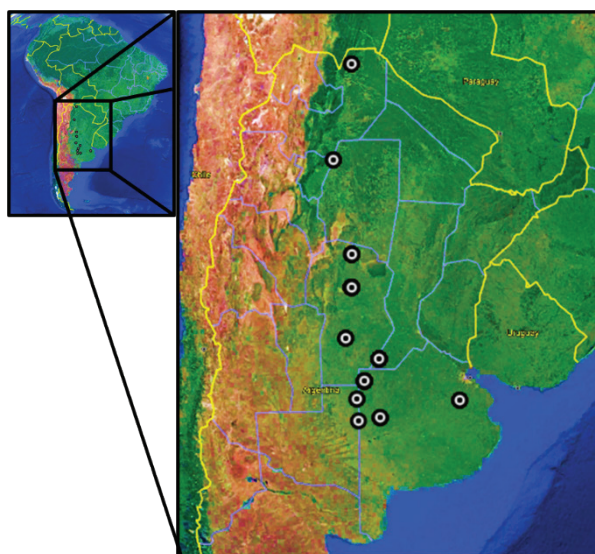


Figura 1. Distribución geográfica de los lotes agrícolas muestreados.

Para cada lote se estimaron la media y el coeficiente de variación (CV). Para la determinación del número de muestras se aplicó la fórmula clásica derivada de intervalo de confianza para medias de poblaciones normales.

donde: $t_{\alpha/2, n-1}$ es el cuantil de la distribución t de student un nivel de probabilidad de 90% y n-1 grados de libertad, CV es el coeficiente de variación del atributo de suelo estimado a partir de set de datos completo para el lote en estudio y d es el nivel de error porcentual en torno al promedio.

Asimismo, se diseñó una rutina bootstrap para estimar la probabilidad de cobertura de los promedios estimados a partir de muestras de tamaño creciente respecto al promedio general del lote estimado con el set de datos completo. Así, para cada tamaño de muestra n entre 2 y el número máximo de muestras disponible, se generaron 1000 muestras con reposición y se calculó el promedio. Luego, se estimó la proporción de las

1000 medias bootstrap que cayeron dentro del intervalo $\bar{y} \pm d$. Finalmente, se aproximó el tamaño mínimo de muestra que alcanzó una probabilidad de cobertura de 90%. Se realizaron análisis de correlación para evaluar si existen asociaciones entre la variabilidad a escala de lote de la materia orgánica y las condiciones edafoclimáticas que determinen cambios en el número de muestras para distintas zonas del país. El número de muestras determinado por los distintos métodos se compararon mediante la prueba T para muestras apareadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de materia orgánica de los suelos varió entre 1.5 y 4.0 %, siendo menores al sudoeste y mayores al suroeste de la zona explorada (Tabla 1). El CV promedio fue de 19%, siendo este valor levemente mayor a los valores de 17% y 11% encontrado en lotes en siembra convencional y directa respectivamente en la Pampa Ondulada (Alvarez et al. 2008), y similar al 20% promedio encontrado entre distintos estudios locales e internacionales (Pilatti et al. 2021). No se encontraron diferencias entre los valores de número de muestras estimados por Bootstrap o el método clásico. En promedio, el número mínimo de muestras fue igual para la técnica clásicas y de Bootstrap, esto podría significar que para variables con bajo coeficiente de variación ambos métodos son útiles para calcular el número de muestras, siendo la fórmula clásica de más fácil aplicación.

Tabla 1. Número de muestras tomadas en el lote (n), materia orgánica promedio (MO, %), coeficiente de variación de MO (CV, %), mínimo de muestras según fórmula clásica (nt) y método bootstrap (nb) para una exactitud de 5% y una cobertura o confianza de 90%.

Sitio	n	MO (%)	CV (%)	bootstrap (nb)	clásico (nt)
Tartagal	65	2,21	24	33	39
Campo Grande	84	2,68	13	17	12
Rio Primero	340	2,85	17	30	20
Rio Cuarto	44	1,63	19	22	25
Venado Tuerto	194	1,80	15	25	15
Gral. Villegas	198	1,96	10	12	7
San Miguel del Monte 1	50	4,00	21	25	30
San Miguel del Monte 2	66	4,00	21	29	30
Gral. Pico	39	1,50	23	25	36
Trenque Lauquen	59	2,42	29	37	57
Catriló	195	1,62	17	28	20
Promedio			19	26	26

No se encontraron correlaciones entre el CV, nt y nb y las variables edafoclimáticas (Figura 2). Esta falta de un patrón aparente de variación en el numero de muestras a tomar para distintas zonas del país implica que existen otros factores intra lote que estarían afectando la variabilidad de la MO. Incluso, dos lotes de zonas relativamente cercanas como Gral. Villegas y Trenque Lauquen obtuvieron los valores mínimos y máximos respectivamente del CV. Tampoco se encontró relación entre el CV, nt y nb con el tamaño de los lotes, siendo las correlaciones no significativas.

Conocer la variabilidad de los suelos es útil para diseñar muestreos de lotes. Por ejemplo, la variabilidad de distintas propiedades de suelo puede evaluarse con sensores de conductividad eléctrica aparente (Peralta et. al. 2012), y con ello determinar la necesidad del número de muestras. El muestreo en dos etapas, una inicial para la determinación del CV y otra de muestreo completo también permitiría determinar la necesidad de muestreo asociado a un error. Conocer CV de distintas zonas nos permitiría incrementar nuestro conocimiento sobre la variación de las propiedades de suelo y poder diseñar protocolos de muestreo de carbono en suelo.



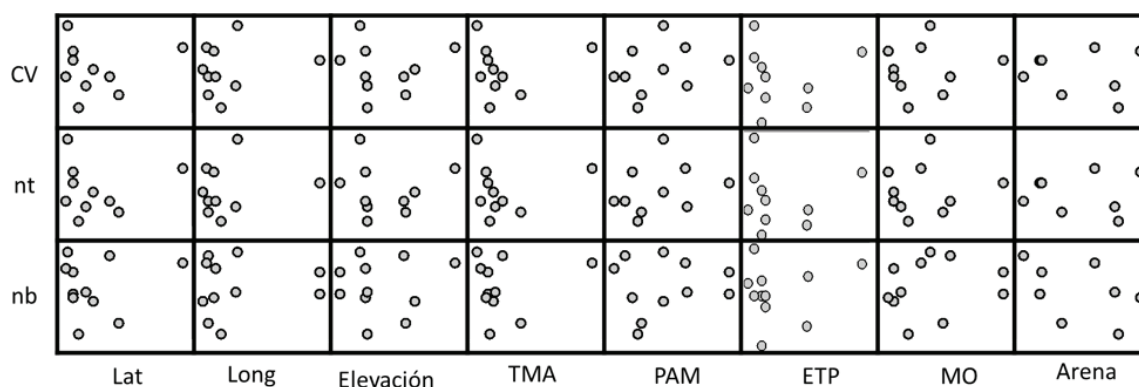


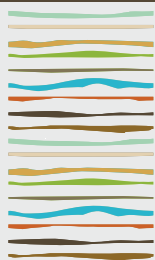
Figura 2. Relación entre el coeficiente de variación de MO (CV), mínimo de muestras según fórmula clásica (nt) y método bootstrap (nb) con la latitud (Lat), longitud (Long), la elevación, la temperatura anual media (TMA), la precipitación anual media (PAM), la evapotranspiración (ETP) el contenido medio de materia orgánica (MO) y el contenido de arena medio de los lotes muestreados.

CONCLUSIONES

Para poder estimar cambios de carbono con un nivel de error predeterminado, es necesario ajustar las necesidades del muestreo en cada caso. Variaciones del CV entre 10 a 30% en la muestra de lotes de este trabajo indican variaciones importantes en el número de muestras. No poder asociar el CV de la materia orgánica con las variables edafoclimáticas significa que de antemano no podremos conocer el CV para el diseño de protocolos de muestreo y que deberán adoptarse técnicas de impacto intra lote como sensores o pre-muestreos.

BIBLIOGRAFIA

- Alesso, C.A., M.J. Masola, M.E. Carrizo, and S.D.C. Imhoff. 2017. Estimating Sample Size of Soil Cone Index Profiles by Bootstrapping. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 41(0). doi: 10.1590/18069657rbc20160464.
- Alvarez R, Steinbach HS, Bauschen B, Enjalbert JN. ¿ cuántas submuestras de suelo hay que tomar para caracterizar la fertilidad de un lote en la Pampa ondulada?. *Informaciones Agronómicas* 37:17-19
- FAO. 2006. LocClim Local Climate Estimator Version 1.10. FAO/SDRN. Rome, Italy.
- Peralta, N.R., Costa J.L., Balzarini M. y H. Angelini. 2012. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Can. J. Soil Sci.* (2013) 93: 205-218 doi:10.4141/CJSS2012-022
- Pilatti, M. Alesso, C.A., Felli, O. y M.C. Miretti. 2021. Toma de muestras en suelos. En: Diagnóstico edafológico, Mirando al suelo con ojos de planta (Eds. Pilatti, PJ Ghiberto y JA Orellana). Ediciones UNL, Santa Fe. 145-181



EFFECTOS DE LA CARBONILLA COMO ENMIENDA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA* L.)

Bertollo, J.^{1*}, F. Paredes^{1,2}, J. Machado¹, M. Talabera, M.¹, A. Mc Cargo¹, C. Paiva¹,
C. Fernández López^{1,2}

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Corrientes;

²Facultad de Ciencias Agrarias UNNE;

*Ruta Nacional N° 12, km 1008, (3416), El Sombrero, Empedrado, Prov. de Corrientes, bertollo.javier@inta.gob.ar

RESUMEN

El suelo es un recurso no renovable y es esencial para una agricultura sostenible. La pérdida de su fertilidad produce deficiencias nutricionales y reduce los rendimientos. La carbonilla es un subproducto del carbón vegetal con alta disponibilidad en el NEA, que puede utilizarse como enmienda orgánica para mejorar propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de lechuga al uso de carbonilla como enmienda orgánica. En un suelo Argiudol ácuico, se evaluaron cuatro tratamientos: testigo (100% suelo); Suelo+carbonilla (5% carbonilla); Suelo+estiércol (5% estiércol) y Suelo+estiércol+carbonilla (5% carbonilla, 5% estiércol). Los tratamientos Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla fueron significativamente superiores en altura de plantas, con valores de 19,5 cm en promedio. En peso fresco, los valores fueron de 216,5 y 213,7 g planta⁻¹, para Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla, respectivamente, siendo significativamente superiores a los demás tratamientos. En peso seco, Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla, también fueron significativamente superiores a los demás, con valores de 21,4 y 22,3 g planta⁻¹, respectivamente. Si bien no hubo diferencias significativas, el tratamiento Suelo+carbonilla fue agrónomicamente superior al testigo (excepto en peso seco), debido, probablemente, al aumento en retención de humedad, dada por la carbonilla, que afecta positivamente al cultivo. El sólo uso de carbonilla por sí solo, no demostró efectos significativamente positivos en la productividad del cultivo de lechuga, relacionándose los mismos, más bien a la aplicación de estiércol. Debido que la carbonilla interviene principalmente en una propiedad físico-química, y a que su efecto benéfico sobre el rendimiento podría darse a mediano/largo plazo, modificando algunas propiedades del suelo, se recomienda repetir la experiencia en los mismos sitios, y evaluar aumentar las dosis de aplicación.

Palabras clave: suelo, cambio climático, subproducto.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso no renovable, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana, es la base para la producción de alimentos, combustibles y fibras y para muchos servicios ecosistémicos (FAO, 2015), y representa un recurso esencial para una agricultura sostenible. La pérdida de su fertilidad y de la materia orgánica, puede producir deficiencias de nutrientes y reducción en los rendimientos de los cultivos (Escalante Rebolledo *et al.*, 2016), en particular, en producciones intensivas, como la horticultura de hoja a campo. Una agricultura basada en fertilización mineral resulta un modelo poco sostenible, por lo que, seguir un modelo de agricultura basado en la sostenibilidad y el aprovechamiento de recursos orgánicos producidos por la sociedad para mejorar la fertilidad de los suelos, resultaría imperioso.



En el norte de Argentina, se produce carbón vegetal, proceso en el cual también se obtiene “carbonilla” fina y molida. Es un subproducto con alta disponibilidad en la zona, y si bien no ha sido producida específicamente como biocarbón, podría ser utilizada con fines similares, como enmienda orgánica de suelos y para el sequestro y almacenaje de carbono en el mismo, mejorando su fertilidad (Lehmann & Joseph, 2009; IBI, 2012). La incorporación de carbonilla al suelo modifica su estructura, distribución del tamaño de poros, área superficial total, densidad aparente, repercutiendo en la aireación, capacidad de retención de humedad y facilidad de laboreo. Además, estimularía la actividad microbiana y aumentaría la capacidad de retención de nutrientes, mejorando la eficiencia de uso de fertilizantes y/o abonos orgánicos (Gaunt & Cowie, 2009; Laird *et al.*, 2009). Contrariamente a otras enmiendas orgánicas, la carbonilla es altamente recalcitrante, lo que retarda su retorno a la atmósfera como CO₂, contribuyendo a mitigar el cambio climático (Escalante Rebolledo *et al.*, 2016). El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de lechuga a la utilización de carbonilla como enmienda orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un suelo Argiudol ácuico (Soil Survey Staff, 2014), ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Los plantines de lechuga utilizados fueron sembrados en bandejas y luego trasplantados en canteros sobreelevados, con un distanciamiento de 20 cm entre líneas y plantas. Se llevaron a cabo cuatro tratamientos, con tres repeticiones: testigo (100% suelo); Suelo+carbonilla (5% carbonilla); Suelo+estiércol vacuno (5% estiércol); y Suelo+estiércol vacuno+carbonilla (5% carbonilla, 5% estiércol). La carbonilla utilizada se obtuvo de una carbonera de la ciudad de Corrientes, y la misma, previo a su utilización, fue tamizada para obtener partículas finas, de diámetro hasta 1 cm. La cosecha de las plantas se realizó a los 60 días después de la plantación, momento en el cual se determinaron las variables altura de plantas, peso fresco y peso seco.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente para determinar diferencias entre tratamientos mediante análisis de la varianza, empleando un $\alpha=0,05$. Cuando se obtuvieron interacciones significativas, se utilizó la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan para cotejar las medias de los tratamientos, previa verificación de la normalidad según el test de Shapiro-Wilks. Para ello, se empleó el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSION

Analizando los resultados, se pudo observar que en todas las variables estudiadas los valores obtenidos fueron significativamente superiores en los tratamientos: Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla; respecto al testigo y al tratamiento de Suelo+carbonilla. En el caso de altura de plantas, se observaron valores de 19,5 cm en promedio, en los tratamientos que resultaron significativamente superiores vs. valores de 17,7 y 16,6 cm en los tratamientos Suelo+carbonilla y testigo, respectivamente (Figura 1).

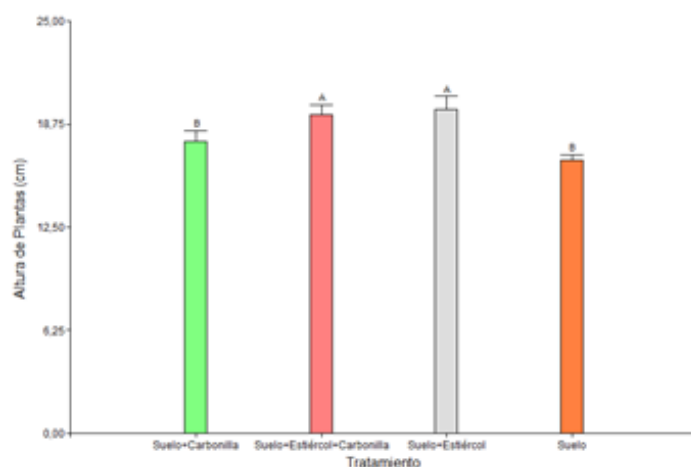


Figura 1. Altura de plantas de lechuga sometidas a distintos tratamientos de carbonilla y estiércol vacuno en Corrientes. Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

En cuanto al peso fresco, los valores fueron de 216,5 y 213,7 g planta⁻¹ en los tratamientos Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla; respectivamente, siendo superiores a los tratamientos Suelo+carbonilla y al testigo, que presentaron valores de 130,6 y 111,4 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 2). En el caso del peso seco, se obtuvieron valores de 21,4 y 22,3 g planta⁻¹ en los tratamientos Suelo+estiércol y Suelo+estiércol+carbonilla, siendo significativamente superiores a los demás (Figura 2).

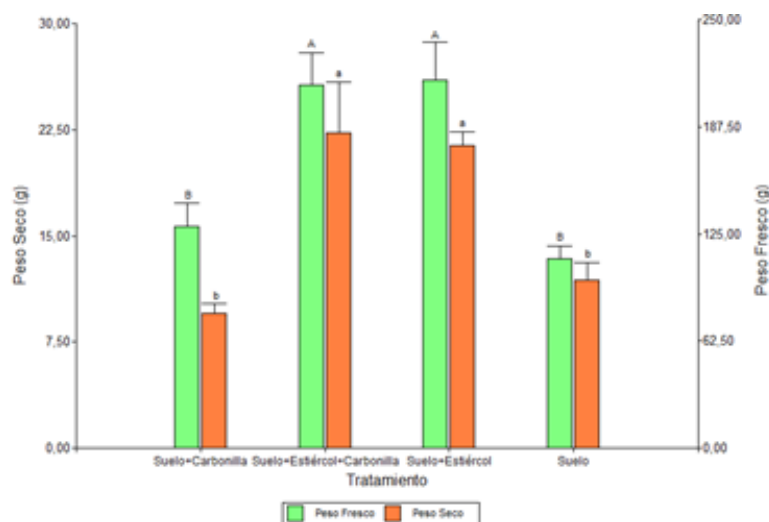


Figura 2. Pesos frescos y secos de plantas de lechuga sometidas a distintos tratamientos de carbonilla y estiércol vacuno en Corrientes. Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Comparaciones Múltiples de Duncan ($\alpha=0,05$).

Los resultados observados, a priori, no demuestran efectos relevantes del uso de carbonilla en la productividad del cultivo de lechuga, sino más bien, están relacionados a la aplicación de estiércol vacuno. Esto confirma que la carbonilla por sí sola no aporta nutrientes; si no que lo hace a través del incremento de la Capacidad de Intercambio (Lehmann & Joseph, 2009; IBI, 2012), por lo tanto el efecto benéfico sobre el rendimiento del cultivo, se da a mediano o largo plazo a través de su aplicación repetida.

Por último, si bien no presentaron diferencias estadísticamente significativas, los valores obtenidos en el tratamiento Suelo+carbonilla fueron agrónomicamente superiores al testigo (excepto en el peso seco), lo que podría deberse al efecto de retención de humedad que brinda la carbonilla, resultando beneficiado el cultivo en dicho tratamiento (Gaunt & Cowie, 2009; Laird *et al.*, 2009). Por ello se propone, en una nueva etapa, realizar el seguimiento de humedad presente, en los distintos canteros durante el ciclo del cultivo.

CONCLUSIONES

El sólo uso de la carbonilla no demostró efectos relevantemente positivos en la productividad del cultivo de lechuga en el primer año, relacionándose los mismos, más bien a la aplicación de estiércol vacuno.

Debido que la carbonilla interviene principalmente en una propiedad físico-química, y a que su efecto benéfico sobre el rendimiento del cultivo podría darse a mediano o largo plazo, modificando las propiedades del suelo, se recomienda repetir la experiencia en los mismos sitios, y evaluar aumentar la dosis de aplicación de la misma, además de realizar el seguimiento de humedad presente en los canteros.

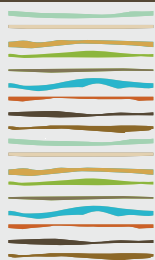
AGRADECIMIENTOS

Financiado por el 2019-PD-E2-I518-002 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Di Rienzo J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C. Robledo. 2016. InfoStat versión 2016. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 pp.
- Escalante Rebolledo, A., G. Pérez López, C. Hidalgo Moreno, J. López Collado, J. Campo Alves, E. Valtierra Pacheco & J. Etchevers Barra. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible I4373S/1/02.15
- Gaunt, J. & A. Cowie. 2009. Biochar, greenhouse gas accounting and emissions trading. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. ISBN: 9781844076581. pp. 317-340.
- IBI (International Biochar Initiative). 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. www.biochar-international.org. Document reference code: IBI-STD-01.
- Laird, D.; R. Brown; J. Amonette & J. Lehmann. 2009. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofpr* 3: 547-562.
- Lehmann, J. & S. Joseph. 2009. *Biochar for environmental management. Science and technology*. Earthscan. UK-USA.
- Soil Survey Staff. 2014. *Claves para la Taxonomía de Suelos*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 410 pp.





INDICADORES DE RESIDUALIDAD DEL AZUFRE EN EL SUELO EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA

Biassoni, M.M.^{1*}, H. Vivas², D.A. Carreira³, F.H. Gutiérrez Boem⁴, F. Salvagiotti¹

¹ Grupo Manejo de Cultivos, Suelo y Agua- EEA INTA Oliveros;

² Asesor privado;

³ Instituto de Suelos- EEA Castelar; ⁴ Facultad de Agronomía-UBA

* Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Prov. de Santa Fe, biassoni.micaela@inta.gob.ar

RESUMEN

La aplicación de fertilizantes azufrados genera residualidad que es aprovechada por los cultivos siguientes. Los objetivos de este trabajo fueron: i) determinar cambios en fracciones asociadas al S del suelo en respuesta a aplicaciones continuas de S, y ii) evaluar la biodisponibilidad de estas fracciones en el suelo. Al finalizar un ensayo de larga duración (2000-2010) sobre una rotación trigo/soja - maíz temprano - soja donde los tratamientos consistieron en la combinación factorial de tres dosis de P (0, 20 y 40 kg de P ha⁻¹) y cuatro dosis de S (0, 12, 24 y 36 kg de S ha⁻¹) aplicados a gramíneas, se tomaron muestras de suelo y se realizó un fraccionamiento químico de S: S total (St), S inorgánico total (Si), S orgánico de ésteres (S-O-C), S orgánico ligado al carbono (S-C) y fraccionamiento físico: S de la materia orgánica particulada (S-MOP). En 2010, se sembró un cultivo prueba de maíz que recibió solo fertilización nitrogenada y se usó para estudiar la biodisponibilidad de S. Las fracciones Si, S-O-C y S-MOP aumentaron hasta un 286%, 83%, 61% respectivamente, para los tratamientos fertilizados, con respecto al testigo sin fertilizar. Esto significó un aumento de 2,8 mg kg⁻¹, 24,8 mg kg⁻¹ y 4,6 mg kg⁻¹ de estas fracciones por cada 100 kg de S aplicado. La capacidad del suelo de proveer S aumentó entre 86 y 131% para las dosis entre 12 y 36 kg S ha⁻¹ con respecto al testigo y estuvo relacionada a las mismas fracciones, absorbiendo 1,7 kg S ha⁻¹, 0,18 kg S ha⁻¹ y 0,28 kg S ha⁻¹ por cada aumento en mg kg⁻¹ de estas fracciones. Estos resultados indicarían que el destino de los fertilizantes azufrados está en las fracciones de Si, S de ésteres (S-O-C) y S-MOP, quedando biodisponibles para los cultivos siguientes.

Palabras clave: fertilización prolongada, residualidad de azufre, fraccionamiento

INTRODUCCION

El azufre (S) es un macronutriente esencial para la producción de cultivos, afectando las funciones metabólicas y estructurales del crecimiento de las plantas y siendo considerado el cuarto elemento más importante en la agricultura (Havlin et al., 2005). En suelos de la región pampeana, a finales del siglo pasado se han observado deficiencias de S (Martínez y Cordone, 1998; Vivas et al., 2001) y la respuesta a la fertilización con S se ha cuantificado en los principales cultivos de la región como soja (Salvagiotti et al., 2012; Divito et al., 2015), maíz (Pagani et al., 2012) y trigo (Salvagiotti et al., 2009). Asimismo, debido al aumento en el uso de fertilizantes azufrados en los últimos años, se han observado, en suelos molisoles de la región pampeana, efectos residuales de la fertilización con S en el rendimiento de los cultivos siguientes en una secuencia (Salvagiotti et al., 2004).

El azufre se encuentra en el suelo tanto en forma orgánica (95-97%) como inorgánica (1-5%) (Eriksen et al., 2009). A diferencia de lo que sucede con el fosfato, el sulfato (SO₄²⁻) está sujeto a la lixiviación y puede permanecer en el sistema de producción sin ser afectado por procesos de pérdidas cuando el S está en forma



orgánica. Este S orgánico puede caracterizarse a través de: (i) el fraccionamiento químico: el S directamente unido al C (S-C) y como ésteres de sulfato (S-O-C) (Tabatabai, 1982; Freney et al., 1970), donde el primero está asociado al S de aminoácidos como metionina y cisteína, mientras que la segunda se considera que está mayormente compuesta por S de ésteres y disponible para los cultivos o (ii) la cuantificación del S presente ligado a las fracciones más gruesas de materia orgánica (Materia orgánica Particulada (S-MOP), el cual se cuantifica por métodos de separación física.

En este contexto, conocer el destino del S aplicado como fertilizante es importante para el manejo de la fertilización con S en el largo plazo, para lo cual es relevante contar con indicadores que sirvan para evaluar el grado de residualidad de los fertilizantes.

Los objetivos de este trabajo fueron: i) determinar los cambios en fracciones asociadas al S del suelo por separación química y física, y ii) evaluar la biodisponibilidad de estas fracciones de S en el suelo en respuesta a aplicaciones de distintas dosis de S luego de diez años en un suelo Argiudol típico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un experimento de 10 años de duración cuyo objetivo fue estudiar la respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizante con P y S en el largo plazo. El experimento se inició en el año 2000 y finalizó en 2010, siguiendo una rotación agrícola trigo/soja- maíz temprano - soja en el centro-sur de Santa Fe (32°10'01"S 61°09'20"O) sobre un suelo serie Clason (Argiudol típico, arcilloso fino, illítico, térmico) con más de 50 años de agricultura continua. Los tratamientos consistieron en la combinación factorial de tres dosis de P (0, 20 y 40 kg de P ha⁻¹) y cuatro dosis de S (0, 12, 24 y 36 kg de S ha⁻¹) aplicados en las gramíneas. Los tratamientos se arreglaron en un diseño factorial con cuatro repeticiones.

En 2010, al finalizar el experimento, se extrajeron muestras de suelo a 20 cm de profundidad y se cuantificó el S presente en distintas fracciones químicas (Figura 1) y físicas. Para el fraccionamiento químico, se determinó el S total (St) por combustión seca con analizador LECO y el S inorgánico total (Si) fue extraído con Ca(H₂PO₄)₂ y destilado por el método de azul de metileno (Johnson & Nishita, 1952). El contenido de S orgánico total (Sorg) se calculó con la diferencia entre el St y el Si. Las formas de compuestos que contienen S en la materia orgánica: el i) S orgánico que no está directamente ligado al C y es reducido a H₂S mediante ácido yodhídrico (S-O-C) y ii) S orgánico que está directamente ligado al C (S-C) se determinó mediante digestión-destilación (Johnson & Nishita, 1952). El método consiste en una reducción de las formas de azufre mediante una mezcla fuertemente reductora con IH, ácido fórmico y ácido hipofosforoso. El H₂S liberado, es capturado por una solución absorbente con Zn(OAc)₂ y NaOAc y posteriormente tratado con un indicador (p-aminodimetilanilina) y una solución férrica para desarrollo de color azul de metileno. La intensidad del azul de metileno es determinada colorimétricamente a 670 nm. Así, la diferencia entre el S reducible en IH y el Si constituye el S-O-C. Por último, la diferencia entre el Sorg y el S-O-C, determina el S-C (Figura 1). Para el fraccionamiento físico, se determinó el contenido de S en la Materia Orgánica Particulada (S-MOP) siguiendo una versión modificada de Cambardella & Elliot (1992), donde se separó la fracción gruesa mediante tamiz de 50 µ y posteriormente se determinó el S en esta fracción.

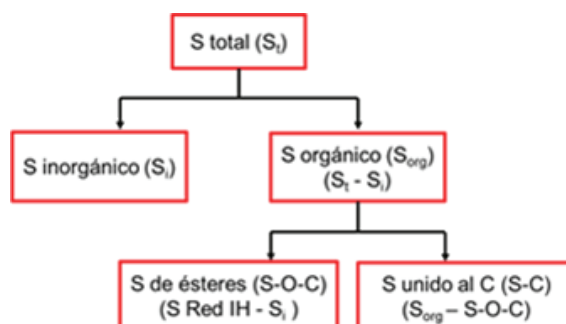


Figura 1: Esquema del fraccionamiento químico de azufre en el suelo.

En 2011, se sembró un cultivo de maíz (como cultivo prueba), que recibió solo fertilización nitrogenada. Éste se usó para estudiar la biodisponibilidad de S, la cual fue estimada a partir de la absorción del S en la biomasa aérea en madurez fisiológica. Para ello, se realizó un muestreo de 1 m² de cada unidad experimental, separando granos del resto de las estructuras vegetativas, las cuales fueron llevadas a estufa durante 72 hs a 70 °C. Luego las muestras fueron molidas y se determinó el contenido de S en ambas estructuras por espectrometría de plasma inducido. A madurez de cosecha, se determinó el rendimiento del cultivo de maíz en una superficie de 10 m².

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA, y las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante la prueba LSD ($\alpha=0,05$). Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software Infostat (Di Rienzo et al., 2011). Se realizaron regresiones entre las relaciones entre las distintas fracciones del suelo y las dosis de S acumuladas y el S absorbido por el cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fraccionamiento químico

Luego de diez años de experimento, las dosis de fertilizante de S acumuladas aplicadas sumaron 0, 72, 144 y 216 kg S ha⁻¹. El rendimiento del maíz utilizado como cultivo prueba no mostró interacción P x S ni diferencias significativas entre los distintos niveles de P ($p>0,05$). Sin embargo, se incrementó en un 64% en respuesta a la fertilización azufrada ($p<0,05$) (Biaassoni et al., 2018). Además, la capacidad del suelo de proveer S (evaluado con el S absorbido por el cultivo prueba) mostró diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos. El testigo absorbió 10 kg S ha⁻¹, mientras que las dosis acumuladas de 72, 144 y 216 kg S ha⁻¹ absorbieron un 86%, 103% y 131% más de S respecto al testigo, respectivamente, a una tasa de 0,35 kg de S absorbido por kg de S aplicado (Figura 2).

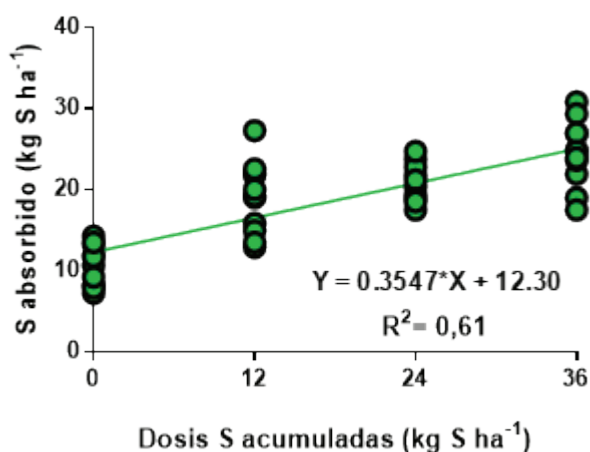


Figura 2. S absorbido por el cultivo prueba después de 10 años de fertilización continua con S.

El St varió de 190 a 230 mg kg⁻¹, con diferencias significativas entre dosis de S aplicadas ($p<0,05$), incrementándose hasta 21% en la dosis acumulada de 216 kg ha⁻¹ (Tabla 1). El Sorg representó entre 96-99% del St, mientras que el Si representó entre 1-4% (Tabla 1), similar a lo observado por Mizuno et al., (1990) para suelos Molisoles de la provincia de Buenos Aires. El fraccionamiento químico mostró que el S-O-C y S-C, representaron entre el 35-53% y 43-65%, con respecto al St, respectivamente, dentro del rango reportados por Mizuno et al., (1990); Wang et al., (2006) y Zang et al., (2007). En las fracciones más lábiles i.e., Si y S de ésteres (S-O-C), se incrementó hasta 286% y 83%, respectivamente, en respuesta a las dosis de S aplicadas ($p<0,05$) (Tabla 1). Por otro lado, no se observaron diferencias entre dosis de S al analizar la fracción más recalcitrante i.e., S unido al C ($p>0,05$), promediando 110 mg kg⁻¹. Asimismo, No se observó interacción P*S, ni diferencias entre las dosis de P aplicadas ($p>0,05$) para ninguna de las fracciones de S analizadas.

Tabla 1. Contenido medio y análisis de la varianza en distintas fracciones químicas: S total (St), S inorgánico (Si), S orgánico de ésteres (S-O-C) y S orgánico unido al C (S-C), y físicas: S en la Materia Orgánica Particulada (S-MOP) en el suelo según dosis de S aplicadas durante diez años en un suelo Molisol.

Dosis de S acumuladas (kg S ha ⁻¹)	Fraccionamiento químico				Fraccionamiento físico
	S total	S inorgánico	S orgánico		S - MOP
	(S _t)	(S _i)	(S-O-C)	(S-C)	
			(mg kg ⁻¹)		
0	190 a	2,22 a	66 a	122	18 a
72	206 a	3,96 b	87 b	115	24 ab
144	212 ab	5,71 c	99 c	107	25 ab
216	230 b	8,57 d	121 d	99	29 b
	p-value				
P	0,33	0,32	0,13	0,54	0,71
S	<0,05	<0,01	<0,01	0,39	<0,05
P*S	0,07	0,22	0,66	0,25	0,71

Se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la dosis de S acumuladas en diez años y las fracciones de Si ($r^2=0,89$), S de ésteres (S-O-C) ($r^2= 0,75$) y S-MOP ($r^2= 0,18$). Esto significó un aumento de 2,8 mg kg⁻¹, 24,8 mg kg⁻¹ y 4,6 mg kg⁻¹ en cada una de estas fracciones por cada 100 kg de S aplicado acumulado en diez años (Figura 3). En línea con estas observaciones, la capacidad del suelo de proveer S al cultivo también estuvo relacionada a las mismas fracciones ($p<0,05$), la fracción de Si ($r^2=0,55$), S de ésteres (S-O-C) ($r^2= 0,42$) y S-MOP ($r^2= 0,18$), indicando que el cultivo absorbió 1,7 kg S ha⁻¹, 0,18 kg S ha⁻¹ y 0,28 kg S ha⁻¹ por cada aumento en mg kg⁻¹ de estas fracciones (Figura 4), demostrando estar involucradas en el efecto residual de la fertilización con S. En contraste con los datos de nuestro estudio, Divito et al., (2013) reportaron luego de la aplicación de 15 kg S ha⁻¹ luego de 8 años que la fertilización continua con S no afectó la disponibilidad de S para los cultivos siguientes. Es importante destacar en base a lo observado, que el contenido de materia orgánica juega un rol fundamental como fuente de S para el cultivo. Nuestro estudio fue realizado en un suelo con 2,6% de materia orgánica que contrasta con el estudio de Divito et al, (2013), quienes realizaron las mediciones en suelos con 4,4% de materia orgánica. En línea con lo que se observó en el presente estudio, evidencias previas también muestran que aun cuando los sulfatos del suelo (Si) son una fuente directa de S para las plantas, los S de ésteres (S-O-C) juegan un papel importante en la liberación de sulfato a corto plazo, contribuyendo al aporte de S a las plantas por medio de la mineralización (Freney, 1986; Scherer, 2001; Goh & Pamidi, 2003).

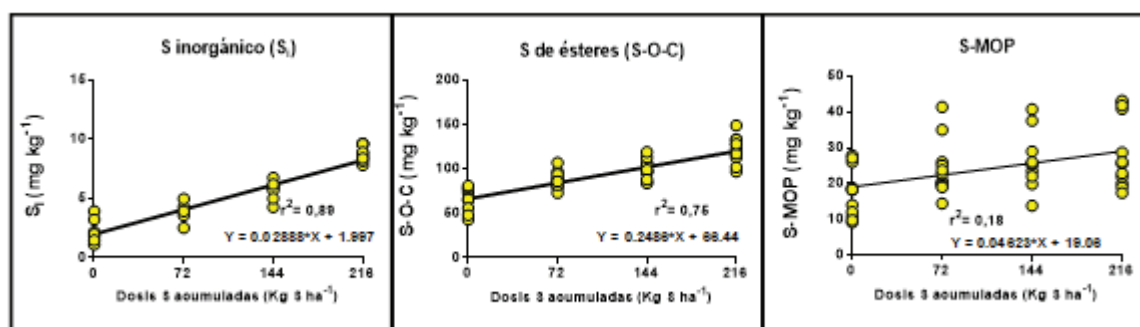


Figura 3. Relación entre las dosis de S acumuladas y el contenido de las fracciones de S inorgánico (Si), S orgánico de ésteres (S-O-C) y S en la Materia Orgánica Particulada (S-MOP) del suelo.

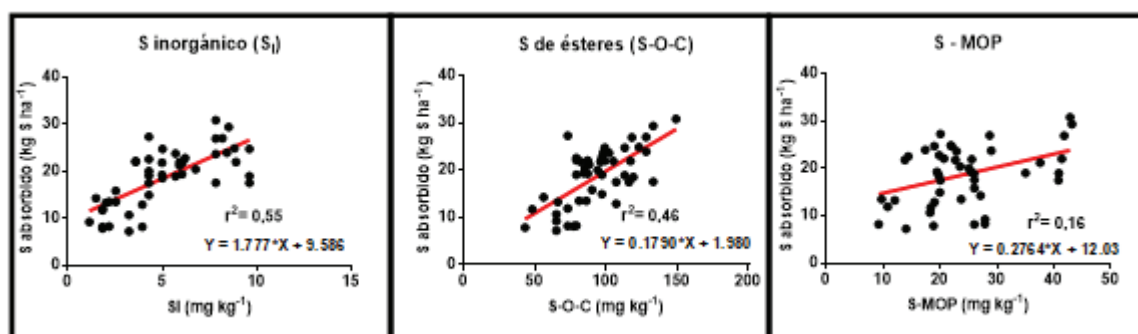


Figura 4. Relación entre el contenido de las fracciones de S inorgánico (Si), S orgánico de ésteres (S-O-C) y S en la Materia Orgánica Particulada (S-MOP) del suelo y el S absorbido (kg ha^{-1}) por el cultivo prueba.

Fraccionamiento físico

El contenido de S en la MOP promedió 18 mg kg^{-1} en el tratamiento que no recibió fertilización azufrada, mientras que se incrementó hasta un 61% en respuesta a la adición de fertilizante azufrado (Tabla 1). Este aumento en la S-MOP podría estar asociado a los incrementos continuos en el aporte de residuos de los distintos cultivos de la secuencia luego de diez años (Vega et al., 2019).

CONCLUSIONES

Luego de 10 años de aplicación acumulada de fertilizantes azufrados, el S proveniente de los fertilizantes y que no fue absorbido por los cultivos se acumuló en las fracciones de S inorgánico (Si), S de ésteres (S-O-C) y S en la materia orgánica particulada (S-MOP). Asimismo, estas mismas fracciones estuvieron disponibles para el cultivo siguiente, siendo responsables de la residualidad de la fertilización azufrada en ensayos de larga duración.

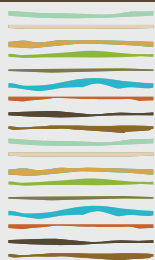
BIBLIOGRAFIA

- Biassoni, M. Micaela; Flavio H. Gutierrez Boem; H. Vivas; Fernando Salvagiotti. "Indicadores de la residualidad de la fertilización con fósforo (P) y azufre (S) en una secuencia agrícola". XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, ISBN 978-987-46870-0-5. San Miguel de Tucumán, 2018.
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil science society of America journal*, 56(3), 777-783.
- Divito, G. A., Echeverría, H. E., Andrade, F. H., & Sadras, V. O. (2015). Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N: S determinations in leaf, shoot and seed. *Field Crops Research*, 180, 167-175.
- Eriksen, J. (2009). Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. *Advances in Agronomy*, 102, 55-89.
- Freney, J. R. (1986). Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. *Sulfur in agriculture*, 27, 207-232.
- Goh, K. M., & Pamidi, J. (2003). Plant uptake of sulphur as related to changes in the HI-reducible and total sulphur fractions in soil. *Plant and Soil*, 250(1), 1-13.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). Sulfur, calcium, and magnesium. *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Prentice Hall. New Jersey, 219-243.
- Martínez F. and G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina
- Mizuno, J., de Lafaille, B., & de Lopez Camelo, L. G. (1990). Caracterización del azufre en algunos molisoles de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo*, 8(2), 111-117.
- Pagani, A., Echeverría, H. E., Andrade, F. H., & Sainz Rozas, H. R. (2012). Effects of nitrogen and sulfur application on grain yield, nutrient accumulation, and harvest indexes in maize. *Journal of Plant Nutrition*, 35(7), 1080-1097.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by



- increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 113(2), 170-177.
- Salvagiotti, F., Ferraris, G., Quiroga, A., Barraco, M., Vivas, H., Prystupa, P., ... & Boem, F. H. G. (2012). Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Research*, 135, 107-115.
- Salvagiotti, F., G. Gerster, S. Basigaluppo, J. Castellarin, C. Galarza, N. Gonzalez, Gudelj V., Novello O., H. Pedrol, and P. Vallone. 2004. Efectos Residuales y Directos de Fósforo y Azufre en el Rendimiento de Soja de Segunda. *Ciencia del Suelo* 22:92-101
- Stevenson, F. J. (1986). The sulfur cycle. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*, 285-320.
- Vega Jara, L., Gutierrez Boem, F., Garcia, F., & Rubio, G. (2020). Long-term fertilization does not affect soil carbon/nitrogen/sulfur ratios or the proportion between labile and nonlabile fractions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 84(3), 798-810.
- Vivas, H. S.; H. Fontanetto; R. Albrecht; M. A. Vega y J. L. Hotián. 2001. Fertilización con P y S en el doble cultivo trigo-soja. Residualidad en soja. Respuesta física y económica. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2001. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 95. Anuario 2001 de la EEA Rafaela.
- Wang, J., Solomon, D., Lehmann, J., Zhang, X., & Amelung, W. (2006). Soil organic sulfur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate. *Geoderma*, 133(3-4), 160-172.
- Yang, Z., Singh, B. R., Hansen, S., Hu, Z., & Riley, H. (2007). Aggregate associated sulfur fractions in long-term (> 80 years) fertilized soils. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1), 163-170.





RESPUESTA DEL SORGO GRANÍFERO A DISTINTOS NUTRIENTES EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Bilbao, S.E.¹, M.C. Ferrari^{2,3,*}, J.A. Llovet^{2,3}, L.A. Rivoltella²

¹ Asesor privado;

² EEA-INTA Pergamino;

³ ECANA-UNNOBA;

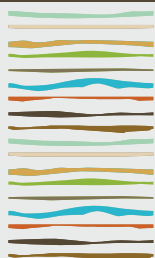
* Avda. Frondizi, km 4,5 (B2700WAA) Pergamino, Prov. de Buenos Aires, ferrari.manuel@inta.gob.ar

RESUMEN

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) tuvo una amplia difusión en Argentina, pero en las últimas décadas ha perdido competitividad frente a otras opciones agrícolas de verano. Una mejor nutrición del cultivo, basada en resultados experimentales probados que permitan realizar recomendaciones de fertilización correctas, posibilitaría incrementar su rentabilidad y, en consecuencia, su posicionamiento frente a otras alternativas productivas. Sin embargo, la información sobre respuesta a la fertilización y sobre métodos de diagnóstico para los principales nutrientes que limitan los rendimientos de grano del cultivo es muy escasa en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Los objetivos de este trabajo fueron: a) Cuantificar los efectos de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y zinc (Zn) sobre el rendimiento del cultivo de sorgo, y b) Estudiar el grado de asociación de las respuestas del cultivo de sorgo al agregado de N, P, S y Zn con determinaciones analíticas de suelo y mediciones en planta. El ensayo fue realizado en un establecimiento agropecuario de la localidad de Martínez de Hoz (Partido de Lincoln, Provincia de Buenos Aires), sobre un suelo Hapludol éntico. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T: 0 (Testigo); PS: 25 kg P ha⁻¹ + 18 kg S ha⁻¹; NS: 180 kg N ha⁻¹ + 18 kg S ha⁻¹; NP: 180 kg N ha⁻¹ + 25 kg P ha⁻¹; NPS: 180 kg N ha⁻¹ + 25 kg P ha⁻¹ + 18 kg S ha⁻¹; y NPS+Zn: 180 kg N ha⁻¹ + 25 kg P ha⁻¹ + 18 kg S ha⁻¹ + 1,3 kg Zn ha⁻¹. El agregado conjunto de N, P, S y Zn incrementó el rendimiento de grano en 1983 kg ha⁻¹ (p<0,05). Para cada nutriente en forma individual, las respuestas fueron de 714 kg grano ha⁻¹ (p<0,05) para N, 1562 kg grano ha⁻¹ (p<0,05) para P, 163 kg grano ha⁻¹ (p>0,05) para S, y 318 kg grano ha⁻¹ (p>0,05) para Zn. La dotación de N en el suelo (0-60 cm) a la siembra, la concentración de N-nitratos en el suelo (0-30 cm) con el cultivo en 7-8 hojas desplegadas, y el índice de verdor en hoja determinado con un clorofilómetro portátil en el estado de 10 hojas expandidas predijeron eficazmente la respuesta a N. El nivel de P extractable en el suelo (0-20 cm) a la siembra anticipó en forma correcta la respuesta del cultivo al agregado de P. La disponibilidad inicial de S-sulfatos en el suelo (0-20 cm) presentó cierto grado de asociación con la tendencia a incrementar el rendimiento de grano producida por la aplicación de S, pero los resultados no permitieron concluir plenamente acerca de la utilidad de este indicador como herramienta de diagnóstico. La concentración de Zn en el suelo (0-20 cm) aparentó ser un método promisorio para evaluar el estatus nutricional del cultivo respecto a este elemento, aunque sería necesario estudiarlo en un mayor número de sitios.

Palabras clave: fertilización, análisis de suelo, diagnóstico foliar.





EFFECTO RESIDUAL DE USO DE DIGESTATO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL SUELO Y RENDIMIENTO DE SOJA

Bongiovanni M. D.^{1,2*}, R. Marzari^{1,2}

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria – UNRC.

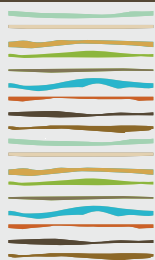
²Instituto Nacional de Investigaciones Agrobiotecnológicas (INIAB, CONICET-UNRC) Ruta 36 Km 601, (5800) Río Cuarto, Córdoba.

* mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El digestato derivado de la producción de biogás (metano) a partir del proceso de digestión anaeróbica de productos vegetales y de estiércoles de animales, presenta un alto valor nutricional, por lo que puede ser utilizado como biofertilizante, promoviendo la recirculación de nutrientes y considerando la posibilidad de reemplazar parcial o totalmente el uso de fertilizantes sintéticos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto residual en soja del digestato utilizado como biofertilizante en el cultivo de maíz en la campaña anterior, estudiando sus posibles efectos a nivel físico-químico y químico del suelo y la respuesta productiva del cultivo. Se plantearon tres tratamientos (T) Testigo, (D100) 100 y (D200) 200 m³.ha⁻¹. En el suelo se evaluó en presiembra de soja: pH, conductividad eléctrica (CE), fósforo disponible (P) de 0-20, 20-60 y 60-100 cm de profundidad, materia orgánica (MO), Sulfato (SO₄⁼) y bases de intercambio de 0-20 cm y nitrógeno de nitrato de 0-20 y 20-60 cm de profundidad. A cosecha se determinó rendimiento de soja. El efecto de la aplicación de digestato al cultivo anterior generó una diferencia significativa en el pH en la primera profundidad medida (D200: 6,7; D100: 6,6 y T: 7,0) y en la CE (D200: 0,20; D100: 0,18 y T: 0,12 dS.m⁻¹), no existiendo diferencias en profundidad. Los niveles de P aumentaron significativamente en los tratamientos con digestato en la profundidad de 0-20 (D200: 26,9; D100: 19,2 y T: 11,3 ppm) y 20-60 (D200: 19,6; D100: 11,1 y T: 8,2 ppm), no existiendo diferencia en la profundidad de 60-100 en relación a T. Cuando se evaluó la disponibilidad N-NO₃⁻ se encontró diferencia significativa en los tratamientos, siendo en promedio 1,6 veces más (D200:121,5 y D100:117,3 Kg.Ha⁻¹) con digestato, en relación al testigo (T:75,6 Kg.Ha⁻¹) de 0-60 cm profundidad. Al igual que para N-NO₃⁻ y P también se evidenciaron modificaciones en los niveles S-SO₄⁼ en relación a T (D200:13,8; D100:10,9 y T: 6,3 Kg.Ha⁻¹) de 0-20 cm. Cuando se analizaron las bases de intercambio en el primer horizonte no se encontraron diferencias significativas al efecto residual de la aplicación de digestato. El rendimiento del cultivo de soja fue significativamente mayor en un 28% en D200 y 20% en D100 en relación al tratamiento testigo (D200:4176; D3882 y T: 3262 Kg.Ha⁻¹). El uso de digestato como biofertilizante en el cultivo anterior modificó significativamente propiedades físico-químicas del suelo como son pH y CE al momento de la siembra de soja, estando los niveles dentro de los parámetros óptimos. La aplicación del biofertilizante tuvo efectos positivos en los niveles de P, N-NO₃⁻ y S-SO₄⁼ disponibles en el suelo y en la respuesta del rendimiento del cultivo de soja, existiendo diferencias significativas con el tratamiento testigo, sin la aplicación de biofertilizante

Palabras clave: bioenergía, nutrición, fósforo.



ENMIENDAS CALCICAS EN LA PRODUCCIÓN Y SANIDAD DEL CULTIVO DE MANÍ EN UN HAPLUSTOL ENTICO

Bongiovanni M. D.^{1,2*}, R. Marzari^{1,2}

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria – UNRC.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrobiotecnológicas (INIAB, CONICET-UNRC) Ruta 36 Km 601, (5800) Río Cuarto, Córdoba.

* mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento y sanidad del cultivo de maní al agregado superficial de enmiendas cálcicas en un suelo Haplustol éntico franco arenoso. El ensayo se llevó a cabo en un suelo correspondiente a la serie La Aguada, Córdoba. El cultivar utilizado fue granoleico y las enmiendas probadas definieron los tratamientos: **T**: testigo sin enmienda; **1**. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca; **2**. 1500 kg.ha⁻¹ CO₃Ca; **3**. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca + 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂; **4**. 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂. Se realizaron muestreos de suelo antes de la siembra y al momento de cosecha de 0-5 cm y de 5 a 20 cm de profundidad. En las muestras de suelo se determinó materia orgánica, pH, fósforo disponible, azufre de sulfatos, calcio de intercambio y capacidad de intercambio catiónico. La aplicación de enmiendas cálcicas modificó en forma significativa el pH del suelo tanto a la profundidad de 0-5 como de 5-20 cm, siendo efectivo para la neutralización del suelo. En los primeros cm de suelo los tratamientos lograron reducir la insaturación de Ca⁺⁺ de igual manera, mientras que a la profundidad de 5-20 cm la respuesta de la enmienda mezcla tuvo mejor desempeño en la saturación de Ca⁺⁺ debido a que el contenido de sulfatos presentes logró mejorar la solubilización de la misma. Las aplicaciones de carbonato de calcio solo o en mezcla con sulfato de calcio generaron aumentos estadísticamente significativos del rendimiento, en un 30 a 27% superior al testigo. En el tratamiento con Ca(H₂PO₄)₂ no se registró respuesta al rendimiento a pesar del bajo nivel de P disponible en el suelo. La incidencia de carbón del maní fue baja para todos los tratamientos probados, no evidenciando un efecto favorable por la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Palabras clave: carbonato de calcio, sulfato calcio, saturación con calcio.

INTRODUCCIÓN

El desbalance de las bases de intercambio en el suelo debido a un uso agrícola continuo provoca entre otras problemáticas la acidificación de los suelos, siendo el calcio uno de los más afectados por la alta tasa de extracción de los cultivos, existiendo una baja tasa de reposición en los suelos agrícolas de la Argentina (Vázquez, 2005). En la campaña agrícola 2020-21 se sembraron en Córdoba 287.600 ha de maní (*Arachis hypogaea* L.) (BCCA, 2021), siendo los suelos más utilizados para la producción los Haplustoles énticos y típicos de textura franco arenosa a arenosa franca (Bonadeo y Moreno 2017). El cultivo de maní forma parte de rotaciones agrícolas maíz-soja, teniendo la producción de estos cultivos una alta tasa de exportación de nutrientes y baja reposición de los mismos, particularmente los de naturaleza básica (K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺), lo que trae aparejado una baja provisión y desbalance nutricional, acelerando el proceso de acidificación edáfica. (Vázquez et al. 2005)

La corrección de la acidez en los suelos mediante el uso de enmiendas cálcicas proporciona ventajas, como el incremento en la disponibilidad de macronutrientes, mejorando a su vez la disponibilidad de nitrógeno a



través de la fijación biológica. El agregado de enmiendas consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez y los materiales que se utilizan como correctivos son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos de Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4Ca . (Vázquez et al., 2012; Marzari, 2021). El CaSO_4 tiene mayor solubilidad en agua que el CaCO_3 y es la enmienda más común para Ca cuando el pH del suelo es adecuado para maní, pero el Ca del suelo es limitante (Howe et al., 2012).

El calcio juega un papel vital en el desarrollo de las semillas de maní, el suministro inadecuado de Ca en la zona de fijación (10 cm superiores de la superficie del suelo) por lo general causa bajo rendimiento y calidad inferior al maní (Gacho y Davis, 1994). El maní es un cultivo muy sensible a la falta de Ca, el cual es absorbido por las raíces, y trasladado a las hojas donde se inmoviliza, por lo cual los frutos deben extraer el mismo directamente de la solución del suelo (Pezzini et al., 2010). Bonadeo et al. (1998) y Fernandez et al. (1998) realizaron experiencias de aplicación de enmiendas cálcicas en Haplustoles énticos, franco arenosos y arenoso francos del centro sur de Córdoba, cuyos contenidos de calcio intercambiable a la siembra fue de 5,2 y 4,6 cmol kg^{-1} , respectivamente, con una relación calcio/potasio de 5,9 en el primer suelo, y de 4,5 en el segundo, no encontrando diferencias significativas en el rendimiento de granos.

Modificaciones en el ambiente edáfico debido a la aplicación de enmiendas cálcicas pueden también mejorar la resistencia a patógenos debido a la característica de la interacción del patógeno con el hospedante, adquiriendo especial relevancia la condición química del suelo donde se va a producir la infección. Dado que el carbón del maní (*Thecaphora frezii*) es un patógeno de suelo, una estrategia posible para disminuir la intensidad de la enfermedad es crear un ambiente desfavorable al mismo, ya sea generando un ambiente alrededor de la espora que le impida germinar o cuando la misma germine, se encuentre con algún elemento del suelo que no permita la infección (Kearney, 2017).

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento y sanidad del cultivo de maní al agregado superficial de enmiendas cálcicas en un suelo Haplusto éntico franco arenoso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la campaña agrícola 2021-22 en un lote ubicado en el sur oeste de Córdoba en el paraje La Aguada ($32^{\circ}57'44.27''\text{S}$ y $64^{\circ}35'16.06''\text{O}$). El suelo es un Haplustol éntico correspondiente a la serie La Aguada (MayG, 2018). El lote utilizado con baja frecuencia de cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.) tenía como cultivo antecesor maíz en rotación y se le realizó en el mes de agosto una labranza con rastra de disco para picar e incorporar los restos vegetales. La siembra del maní se realizó el día 27 de octubre y el cultivar utilizado fue granoleico a una densidad de 22 semillas por m^2 y a un distanciamiento de 0,70 m. En el suelo al momento de la siembra se determinó una densidad media a baja de presencia de inóculo de teliosporas de carbón de maní (*Thecaphora frezii*). Las enmiendas se aplicaron al voleo inmediatamente después de la siembra y los tratamientos fueron: **T**: testigo sin enmienda; **1**. 500 kg.ha^{-1} SO_4Ca + 1250 CO_3Ca ; **2**. 1500 kg.ha^{-1} CO_3Ca ; **3**. 500 kg.ha^{-1} SO_4Ca + 1250 CO_3Ca + 100 kg.ha^{-1} $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; **4**. 100 kg.ha^{-1} $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Se realizaron muestreos de suelo antes de la siembra para caracterizar el suelo y al momento de cosecha de 0-5 cm y de 5 a 20 cm de profundidad. En las muestras de suelo obtenidas se les determinó materia orgánica (MO) por el método de Walkley and Black, Ph en agua 1:2.5 por el método potenciométrico, fósforo disponible (P) por el método de Kurtz and Bray, azufre de sulfato ($\text{S-SO}_4^{=}$) por turbidimetría, bases de intercambio con AcNH_4 (Ph7) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) con AcNa (Page et al, 1982) (Tabla N°1).



Tabla N°1 Características químicas y físicas del suelo Hapludol éntico lo donde se llevó el adelante el ensayo para la profundidad de 0-20, 0-5 y 5-10 cm

profundidad	M.O	P	S-SO ₄ ⁼	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	Arcilla	Limo	Arena
cm	g.Kg ⁻¹	mg.Kg ⁻¹			cmol.Kg ⁻¹					%		
0-20	1,72	6,1	15,6	6.62	7,0	2,0	0,3	1,6	15,1	14,6	34,2	51,2
0-5				6,65	8,0	1,0	0,4	2,1	14,8			
5-20				6,50	7,0	2,5	0,3	1,2	15,3			

La precipitación acumulada en durante el ciclo del cultivo (de Agosto a Abril) fue de 420 mm, con un marcado déficit en el mes de enero, en relación a la precipitación normal.

Al momento de la cosecha las plantas fueron recolectadas en forma manual (2 m² por unidad experimental) y procesadas. Se evaluó, peso seco y número de frutos maduros (vainas) y peso de granos. Para la determinación del porcentaje de maní tipo confitería se procesaron los frutos de cada tratamiento empleando la zaranda de tajo de 7,5mm de ancho, considerando maní apto para confitería a todas las semillas con un tamaño igual o superior a ese ancho de zaranda. Se evaluó en el cultivo la incidencia final del carbón del maní, como porcentaje de vainas afectadas sobre el total de vainas evaluadas.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante ANAVA y comparación de medias según test de Fisher (p<0.05), utilizando el programa estadístico INFOSTAT (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de las enmiendas cálcicas modificó en forma significativa el pH del suelo tanto a la profundidad de 0-5 como de 5-20 cm, siendo efectivos para la neutralización del suelo los tratamientos, a las dosis utilizadas, con enmiendas con CO₃Ca solo o en mezcla con SO₄Ca (Tabla N°2). Cuando se evaluó el contenido de S-SO₄⁼ entre los distintos tratamientos se pudo observar diferencias significativas, para las dos profundidades evaluadas, por la aplicación de las enmiendas que contenían yeso en su mezcla. Los tratamientos 1 y 3 con SO₄Ca presentaron una concentración de 1,5 a 1,7 veces mayor comparado con el T sin aplicación de enmienda. En relación al Ca⁺⁺ intercambiable la aplicación de enmiendas modificó significativamente su contenido en la profundidad de 0-5 cm mientras que para la profundidad de 5-20 cm solo la diferencia fue significativa en el tratamiento 3 y el tratamiento 1 en una situación intermedia ambos con SO₄Ca, mientras que el efecto del tratamiento 2 se concentró en los primeros 5 cm de suelo. Al igual que lo observado por Marzari (2012) en ensayos en cilindros con suelo sin disturbar, en los primeros cm de suelo las enmiendas cálcicas lograron reducir la insaturación de Ca⁺⁺ de igual manera, mientras que a la profundidad de 5-20 cm la respuesta de la enmienda mezcla tuvo mejor desempeño en la saturación de Ca⁺⁺ debido a que el contenido de sulfatos presentes lograron mejorar la solubilización de la misma. La saturación con Ca⁺⁺ en el intercambio pasó de un 48% en el tratamiento T a 66 y 69 % en los tratamientos 1 y 2 en la profundidad de 0-5 cm y en la profundidad de 5 a 20 cm pasó de 39% en T a 45% para los tratamientos 1 y 3, no existiendo efectos significativos con la aplicación de CO₃Ca en el tratamiento 2 (Tabla N°2).



Tabla N°2. pH, S-SO₄⁻, Ca⁺⁺ intercambiable el en suelo a dos profundidades para los distintos tratamientos con enmiendas estudiados. (T: testigo sin enmienda; 1. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca; 2. 1500 kg.ha⁻¹ CO₃Ca; 3. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca + 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂; 4. 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂)

Tratamientos	pH		S-SO ₄ ⁻ mg.kg ⁻¹		Ca ⁺⁺ cmol.kg ⁻¹	
	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20
1	7,09 ab	6,87 a	8,60 a	4,80 a	9,85 a	6,83 ab
2	7,29 a	6,86 a	4,87 b	4,60 b	10,17 a	6,00 b
3	7,15 a	6,75 ab	7,37 a	4,07 a	8,50 ab	7,00 a
4	6,73 bc	6,67 ab	4,75 b	3,50 b	7,50 b	5,95 b
T	6,68 c	6,56 b	4,90 b	3,00 ab	7,17 b	6,00 b

Medias con una letra común en una columna no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Respecto al rendimiento, a diferencia de lo encontrado por Bonadeo et al. (1998) y Fernandez et al. (1998) las aplicaciones de enmiendas cálcicas generaron aumentos estadísticamente significativos en el suelo Haplustol entico franco arenoso, débilmente ácido y con niveles de saturación cálcica por debajo del equilibrio. Los tratamientos 2 y 3 presentaron un aumento en relación a T de un 30 y 27% respectivamente. El tratamiento 4 con Ca(H₂PO₄)₂ no tuvo respuesta al rendimiento a pesar del bajo nivel de P disponible en el suelo, sin interacción del P con Ca⁺⁺ (Figura N°1). Este aumento de rendimiento se explica en parte por el aumento del número de cajas con granos por m² generada por el cultivo, no existiendo respuesta en el rendimiento maní confitería por la aplicación de enmiendas cálcicas ni fertilizante fosforados.

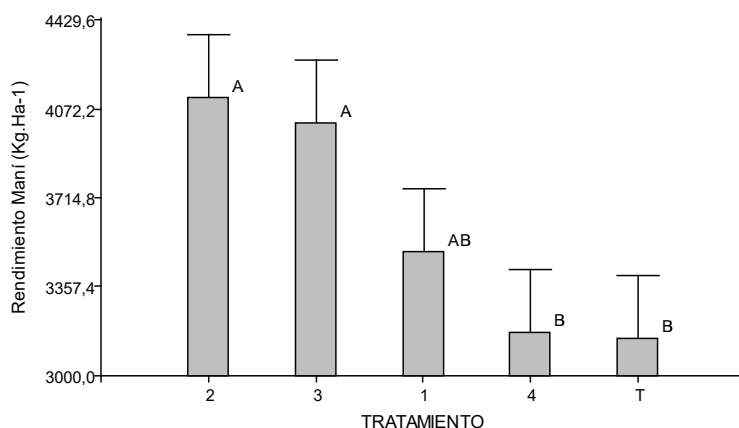


Figura N°1 Rendimiento de maní para las distintos tratamientos de enmiendas cálcicas y fertilizante fósforo. (T: testigo sin enmienda; 1. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca; 2. 1500 kg.ha⁻¹ CO₃Ca; 3. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca + 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂; 4. 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂)

La incidencia de carbón del maní fue baja para todos los tratamientos no existiendo respuesta por la aplicación de las enmiendas cálcicas, a diferencia de lo encontrado por Kearny (2017), donde la aplicación de enmiendas de CO₃Ca, SO₄Ca y Ca(OH)₂ disminuyeron la incidencia y severidad de carbón (Tabla N°3)

Tabla N°3 Numero de vainas por m², porcentaje de granos confitería e incidencia de carbón de maní. (T: testigo sin enmienda; 1. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca; 2. 1500 kg.ha⁻¹ CO₃Ca; 3. 500 kg.ha⁻¹ SO₄Ca + 1250 CO₃Ca + 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂; 4. 100 kg.ha⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂)

Tratamientos	N° vainas.m ²		granos confitería	Incidencia Carbón
			%	%
1	382	ab	79,83 ns	3,90 ns
2	426	a	79,35	3,35
3	407	ab	76,45	2,66
4	360	ab	73,13	2,14
T	328	b	77,75	1,83

Medias con una letra común en una columna no son significativamente diferentes (p > 0,05). ns: no significativo el test de ANOVA

CONCLUSIONES

La aplicación de las enmiendas cálcicas modificó en forma significativa el pH del suelo tanto a la profundidad de 0-5 como de 5-20 cm, siendo efectivo para la neutralización del suelo. En los primeros cm de suelo las tratamientos con enmiendas lograron reducir la insaturación de Ca⁺⁺ de igual manera, mientras que a la profundidad de 5-20 cm la respuesta de la enmienda mezcla tuvo mejor desempeño en la saturación de Ca⁺⁺ debido a que el contenido de sulfatos presentes lograron mejorar la solubilización de la misma. Las aplicaciones de carbonato de calcio solo o en mezcla con sulfato de calcio generaron aumentos estadísticamente significativos del rendimiento, en un 30 a 27% superior al testigo. En el tratamiento con Ca(H₂PO₄)₂ no se registró respuesta al rendimiento a pesar del bajo nivel de P disponible en el suelo, no existiendo interacción del P con Ca⁺⁺. La incidencia de carbón del maní fue baja para todos los tratamientos probados, no evidenciando un efecto favorable por la aplicación de las enmiendas cálcicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolsa de Cereales de Córdoba 2021. Cálculos finales de producción de maní en la región BCCBA – Campaña 2020/21. <https://www.bccba.org.ar/informes/calculos-finales-de-produccion-de-mani-en-la-region-bccba-campana-2020-21>
- Bonadeo E., Moreno I. S. y F. D. Morla 2017. Requerimientos nutricionales. Capítulo 6., en El cultivo de maní en Córdoba; compilado por Elena M. Fernandez; Oscar Giayetto. Segunda Edición ampliada. UNRC.
- Bonadeo, E.; I. Moreno y R. Pedelini. 1998. Estudio preliminar sobre los niveles de nitrógeno, fósforo, calcio y boro en suelo y su relación con el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). III Reunión Nacional de Oeaginosos. Bahía Blanca, Argentina. p: 225.
- Cruzate, G. y Casas, R. 2004. Balance de nutrientes. Revista Fertilizar. Año 8. Número Especial "Sostenibilidad". Argentina
- 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>
- Fernandez, E.M.; E. Bonadeo, I. Moreno; E. Hampp y R. Marzari. 1998. Niveles de Ca y K de un Haplustol típico relacionados a la producción de maní. 13° Jornada Nacional del Maní. Gral. Cabrera - Cba. p: 18-19.
- Gacho, G.J., Davis, J.G., 1994. Mineral nutrition. In: Smartt, J. (Ed.), The Groundnut Crop a Scientific Basis for Improvement. Springer Netherlands, Dordrecht, Netherlands, pp. 214–226. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0733-4>.
- Howe, J.A., Florence, R.J., Harris, G., van Santen, E., Beasley, J.P., Bostick, J.P., Balkcom, K.B., 2012. Effect of cultivar, irrigation, and soil calcium on runner peanut response to gypsum. Agron. J. 104, 1312–1320. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0115>.
- Kearney, M., Bongiovanni M., Rago A., Nicolino J. M., Zuza M., Alcalde M. y V. Peralta. 2017. Influencia de enmiendas cálcicas aplicadas al cultivo de maní sobre la intensidad del carbón (*Thecaphora frezii*) en Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales, Año 6 N° 9 Maní. INTA Ediciones. ISSN 1853 – 7677.
- Marzari R., Cholaky C y M. D. Bongiovanni. 2021. Uso de enmiendas cálcicas para la corrección de la acidificación y saturación con bases en un Hapludol típico del centro sur de Córdoba. XI Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo. Bahía Blanca- Argentina.
- Page, AL. 1982. Methods of soil analysis Part 1 Number 9. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of American, Inc. 2da



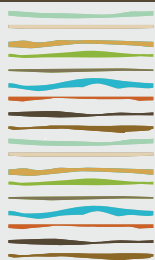
ed. Madison, Wisconsin. USA. 1159 p.

Pezzini, M., Cisneros, J. M. y Moreno, I. S. 2010. Encalado en suelos del área manisera: efectos sobre el pH y la saturación con calcio. Actas Jornada Nacional del maní. Gral Cabrera – Córdoba

Vázquez, M. 2005. Calcio y Magnesio. Acidez y alcalinidad de los suelos. Cap. 8: 161-188. En Fertilidad de los suelos y Fertilización de Cultivos. H. Echeverría y F. García (Eds). Balcarce: Ediciones INTA. ISBN 987-521-192-3. 525 pp.

Vázquez, M.; Terminiello, A.; Casciani, A.; Millán, G.; Cánova, D., Gelati, P.; Guilino, F.; Dorronzoro, A.; Nicora, Z.; Lamarche, L.; García, M. 2012. Respuesta de la soja (glicine max L. Merr) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Ciencia del Suelo. 30: 43-55.





BALANCE DE NUTRIENTES EN MAÍZ CON APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y EFLUENTES PORCINOS EN CORRIENTES, ARGENTINA.

Brandolin A.N.^{1*}, N.I. Stahringer¹, J.E. Behr¹, D.A. Petelko¹, G.R. Vallejos¹, H.C. Dalurzo¹, L. Gnoatto¹.

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste,

*Sargento Cabral 2131, Corrientes Capital, andresbrandolin95@gmail.com

RESUMEN

La cría intensiva de porcinos produce considerables cantidades de efluentes y su disposición representa un importante problema económico y medioambiental si es que no se los usa correctamente. Dichos subproductos poseen grandes cargas de nutrientes que son vertidos a los campos agrícolas o ganaderos siendo una solución a los acuciantes problemas de excedentes de estos residuos. Cuando el productor lo usa con fines agronómicos lo considera como un residuo, y no suele reducir al aplicar la cantidad de fertilizantes minerales, utilizando finalmente altas dosis de N por ha. El objetivo del trabajo fue realizar un balance nutricional en 3 lotes agrícolas con maíz en un establecimiento porcino ubicado en la localidad de Riachuelo, Corrientes, donde se aplican fertilizantes minerales y efluentes porcinos, los cuales no son tenidos en cuenta en la fertilización del cultivo. Se procedió a conocer al efluente a través de un análisis químico de nutrientes y de esa forma saber, según los milímetros aplicados, la cantidad en kg de N, P y K que son incorporados en los suelos. Además, a través de un análisis de suelo, descubrir en qué estado nutricional se encuentran dichos lotes, y finalmente comparar el rendimiento del cultivo en las zonas donde recibió efluentes con las zonas donde no fue esparcido dicho material orgánico. El mapa de rendimiento generado por la cosechadora permitió interpretar la variación del rinde en cada uno de los lotes. De esta forma se generaría información útil para generar conciencia de la importancia del efluente como abono orgánico.

Palabras clave: Disponibilidad de nutrientes – aportes – extracción de nutrientes

INTRODUCCIÓN

La fertilización orgánica con deyecciones porcinas es una práctica que tiene grandes ventajas, como el aporte de N, P, K, micronutrientes y materia orgánica (MO), pudiendo mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La utilización de efluentes como fertilizantes orgánicos permite aportar a los cultivos parte o la totalidad de sus requerimientos nutricionales. Una aplicación correcta (distribución uniforme de la dosis de nutrientes de acuerdo con las necesidades del cultivo) requiere el conocimiento del contenido de nutrientes del producto a distribuir y ajustar de forma adecuada el equipo de distribución (Sosa y Gambaudo, 2014). Para analizar la aptitud o calidad agronómica de los residuos se deben considerar diferentes indicadores y/o propiedades que permiten predecir y/o estimar los posibles impactos sobre la calidad y/o capacidad productiva del suelo, como así también evaluar el aporte y disponibilidad de nutrientes. La fertilización mineral constituye una fracción significativa de los costos totales en los establecimientos agrícolas, el efluente es una estrategia de fertilización atractiva para reducir esos costos de producción. Una característica destacada del efluente porcino es su gran variabilidad en la composición físico-química dependiendo del sistema de producción, tipo de explotación, la edad del animal, la dieta y el manejo de las granjas porcinas. La falta de información en los establecimientos porcinos respecto a la composición de sus residuos hace que las dosis suministradas en los lotes no sean las correctas, utilizando finalmente altas dosis de N por ha (Sisquella et al., 2004). Por ello, el objetivo de este trabajo fue generar información en un criadero porcino situado en Riachuelo, Corrientes, sobre las características de los efluentes producidos en su explotación.



como así también conocer el estado nutricional de los suelos receptores del subproducto porcino que serán destinados a la siembra del cultivo de maíz. Con dicha información establecer un balance nutricional entre el aporte de nutrientes (efluentes y fertilizante minerales) y la extracción en granos por el cultivo. De esta manera, generamos conciencia de cuánto efluente aportar en las próximas campañas reduciendo los costos en fertilizantes minerales y el posible impacto ambiental negativo por una mala dosificación actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la campaña 2019/20 a 11 km hacia el suroeste de la localidad de Riachuelo ubicada en el Departamento Capital, de la Provincia de Corrientes. Se trabajó específicamente en dos lotes Norte y uno Sur denominados: "S1" (18,3 ha), "N1" (16,4 ha) y "N2" (22,2 ha). Se realizó una siembra temprana del maíz en los primeros días de septiembre con una sembradora marca Georgi de 20 cuerpos de siembra a 52 cm de distanciamiento con sistema de dosificación mecánica de placa horizontal, la variedad usada fue DOW 510 PWU con una densidad de 62.000 semillas/ha en los tres lotes. Previo a la siembra se esparció superficialmente fertilizante mineral KCl en una dosis de 100 kg/ha con su posterior incorporación gracias a una precipitación. Al momento de la siembra se incorporó en la misma línea 60 kg de PMA. Con el cultivo de maíz en V6 se aplicó al voleo 200 kg de UREA/ha. Dichas fertilizaciones con sales minerales se realizaron en la totalidad de los 3 lotes.

El efluente porcino se distribuyó de manera superficial con el cultivo en estadio vegetativo V2 y luego en V7, mediante un cañón de riego marca Montenegro con enrollador de polietileno, con un ancho de trabajo de alrededor de 70 m, formando franjas de distribución, en la que dicho material orgánico no se esparció de manera total en los lotes. La dosis más aplicada de efluente fue de 12 mm.

Se realizó un muestreo compuesto de suelo para cada lote, se obtuvieron a partir de 20 submuestras (piques), tomadas de 0-20 cm de profundidad previo a la fertilización presiembra, recolectadas al azar, siguiendo un muestreo en zigzag. Los análisis de suelo fueron realizados en el laboratorio de la Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos de la FCA-UNNE. Se realizaron análisis de rutina como ser: CE, MO, pH en agua (1:2,5), P Bray-1, calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+) y sodio (Na^+) intercambiables.

El muestreo de efluente se efectuó al momento de esparcido del material con fuentones limpios ubicado en la zona de distribución por el cañón de riego, la cantidad de muestra recolectada fue de 2 L, posteriormente rotulada, puesta en conservadora con refrigerante y enviada directamente al laboratorio Llamas en Pergamino, Provincia de Buenos Aires.

La cosecha se realizó con una cosechadora CLASS TUCANO 470 con sistema de trilla convencional equipada con mapeo de rendimiento, y equipo maicero Allichis de 13 surcos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de valores de referencia elaborada por Dalurzo & Stahringer (2020) se observó que los análisis de suelo de la mayoría de las características determinadas se encontraron en valores bajos. El pH medianamente ácido (5,63 a 5,93) y la CE muy baja, siendo todos suelos no salinos ($< 4 \text{ dS/m}$). Los lotes variaron en los contenidos de MO y N total (estimado), siendo pobremente provistos los lotes N2 y S1 y medianamente provistos el lote N1. Los valores de P Bray-1 fueron bajos ($< 14 \text{ ppm}$) en los lotes N1 y S1, y muy bajo ($< 6 \text{ ppm}$) en el lote N2. El Ca se encontró en valores medios ($3 \text{ a } 6 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) en los lotes N1 y S1 y bajo en el lote N2. Con respecto al Mg presentó un valor medio ($0,87 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) en el lote S1, bajo en N2 ($0,41 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) y alto en N1 ($1,21 \text{ cmol}_c/\text{kg}$). En lo referente al K, todos los lotes agrícolas presentaron un valor bajo ($< 0,33 \text{ cmol}_c/\text{kg}$) para este nutriente. En estos lotes de suelos ácidos el Na presentó valores mayores que el K, hecho poco habitual. Teniendo en cuenta los valores de estos parámetros para purines, mencionados por diferentes autores (Plaza et. al, 1999; INIA y MINAGRI, 2005), como así también relacionándolos con los análisis de otros establecimientos (Sosa, 2017) se pudo observar (Tabla 1) que el efluente analizado posee una alta CE $11,8 \text{ dS/m}$. Con un pH de 8,21 el subproducto porcino es alcalino lo cual es esperado debido a su composición. Un valor alto de NT ($1,38 \text{ g/L}$). Bajo contenido de PT ($0,078 \text{ g/L}$). El K ($1,15 \text{ g/L}$) presentó un valor alto. El S ($0,076 \text{ g/L}$) con



valores muy próximos al PT. La cantidad de Ca (0,093 g/L) mantiene relación con los valores que se dieron en los establecimientos citados, siendo levemente menor. El Mg (0,019 g/L) se situó con un valor inferior. El Na (0,234 g/L) estuvo por debajo del rango de valores mencionados por Plaza et. al., (1999) y el valor de K cercano al valor más bajo mencionado por estos autores y por debajo de los encontrados por Sosa, 2017. Quizás estas concentraciones más bajas de nutrientes puedan deberse a que el efluente tiene baja materia seca (mayor uso de agua en las instalaciones) o a que la muestra tomada haya tenido más de la porción superior del efluente en el reservorio.

Tabla 1. Análisis de efluente del establecimiento porcino en Riachuelo, Corrientes.

pH	CE	N Total	P Total	K	Na	Ca	Mg	S
	(dS/m)				g/L			
8,21	11,8	1,38	0,078	1,15	0,234	0,093	0,019	0,076

En la Tabla 2 se calculó la cantidad de nutrientes en kg/ha que aportó el efluente para la dosis de 12 mm que fue aplicada en los lotes N1, N2 y S1 durante el ciclo del cultivo de maíz.

Tabla 2. Cantidad de nutrientes en kg/ha aportado por la lámina de 12 mm de efluente.

Lámina (mm)	Nutrientes kg/ha		
	N	P	K
12	165,7	9,4	137,9

En la tabla 3 se encuentran los kg de nutrientes aportados al sistema a través de la fertilización mineral que se realizó previa a la siembra con 100 kg/ha de KCl, durante la siembra con 60 kg/ha de MAP y la UREA aplicada al voleo al cultivo en V6, en dosis de 200 kg/ha en los tres lotes N1, N2 y S1.

Tabla 3. Aporte de N, P y K por medio de los fertilizantes minerales.

Fertilizante	Dosis (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
KCl 0-0-60	100	-	-	54.4
MAP 11-52-0	60	6.6	13.8	-
UREA 46-0-0	200	92	-	-

Una vez obtenidos los rendimientos en las zonas tratadas con el efluente, se pudo establecer el balance de los nutrientes N, P y K entre el aporte y la extracción para dichas superficies. Para el cálculo de la extracción de nutrientes en los granos se utilizó la planilla de Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016, del International Plant Nutrition Institute (IPNI) (García y Correndo, 2016). Los rendimientos no fueron iguales para los lotes agrícolas donde se aplicó subproducto porcino N1, 6611 kg/ha; N2, 7781 kg/ha y S1, 6533 kg/ha, por los que se realizó un balance de nutrientes para cada uno de ellos.

En las tablas 4 , 5 y 6 se presentan los nutrientes aportados en los lotes en estudio N1, N2 y S1 con lo proveniente del aporte conjunto de origen de efluentes y de fertilizantes inorgánicos. Como se puede visualizar lo resultante de las entradas y salidas de los principales nutrientes aportados fueron positivos para el suelo, donde el N y el K presentaron los mayores residuos posteriores al cultivo con valores promedio de 174 kg N/ha (equivalentes a 378 kg urea/ha) y 168 kg K/ha (que equivaldrían a 336 kg KCl/ha). Los menores contenidos correspondieron al P que dejó un resultado a favor de 3 a 6 kg/ha.

La utilización de subproductos y desechos de la producción animal es una alternativa viable para reutilizarlos



dentro del sistema y es una estrategia de aporte de nutrientes con un ahorro de fertilizantes que colaboren salvaguardar la provisión para los cultivos y de proteger al medio ambiente evitando aportes excesivos al suelo que generen una posible fuente de contaminación al mismo y, por escorrentía, a las aguas superficiales o por lixiviación a los acuíferos.

Tabla 4. Balance de N, P y K entre lo aportado (efluente y fertilizante) y lo extraído en forma de grano para el lote N1.

Lote N1			
Nutriente	Aportado kg/ha	Exportado kg/ha	Balance kg/ha
N	264,3	85	179,3
P	23,16	17	6,16
K	192,3	23	169,3

Tabla 5. Balance de N, P y K entre lo aportado (efluente y fertilizante) y lo extraído en forma de grano para el lote N2.

Lote N2			
Nutriente	Aportado kg/ha	Exportado kg/ha	Balance kg/ha
N	264,6	100	164,6
P	23,16	20	3,16
K	192,3	27	165,3

Tabla 6. Balance de N, P y K entre lo aportado (efluente y fertilizante) y lo extraído en forma de grano para el lote S1.

Lote S1			
Nutriente	Aportado kg/ha	Exportado kg/ha	Balance kg/ha
N	264,6	84	180,6
P	23,16	17	6,16
K	192,3	22	170,3

CONCLUSIONES

Los rendimientos obtenidos fueron muy buenos debido a las favorables condiciones climáticas que ocurrieron en la presente campaña. En general, las mejores respuestas se observaron en las zonas donde se aplicó efluente porcino. La utilización de efluentes como enmienda orgánica sería una alternativa factible para reponer nutrientes a suelo complementariamente al uso de fertilizantes minerales. Los principales nutrientes aportados por el efluente porcino fueron N y K. Los dos nutrientes que presentaron mayores balances positivos fueron N y K, por valores promedio de 174 kg N/ha (378 kg urea/ha) y 168 kg K/ha (336 kg KCl/ha). Conocer el tipo de abono que gestionamos y el suelo receptor (composición físico-química), así como la correcta utilización y manejo de efluentes (aplicación al suelo en dosis agronómicas según tipo de cultivo, época de aplicación y suelo receptor), determinarán principalmente el buen uso que se le dé a estos materiales, que sin duda hay que tener presente, dado su importante valor como enmienda orgánica.

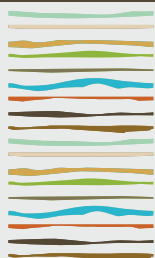
BIBLIOGRAFÍA

- Dalurzo H.C. y Stahringer N.I. (2020). Interpretación General de Resultados de Análisis de Suelos. Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos - FCA - UNNE. Corrientes.
- García, F.O. y Correndo, A. A. (2016). Cálculo de Requerimientos Nutricionales- Versión 2016. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>



- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Ministerio de Agricultura. Minagri. (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. Santiago, Chile.
- Plaza, C., García Gil, J. C., Soler Rovira, P., Polo, A. (1999). Problemática de los purines en España: su aprovechamiento agrícola como solución. España.
- Sisquella, M., Lloveras, J., Alvaro, J., Santiveri, F. & Cantero, C. (2004). Técnicas de cultivo para la producción de maíz, trigo y alfalfa en los regadíos del valle del Ebro. Proyecto Trama-Life, Lleida, España, p. 47.
- Sosa, N. (2017). Uso agronómico de efluentes porcinos. Presentado en FERICERDO 2017. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_fericerdo17_usoagronomicodeefluentesporcinos.pdf
- Sosa, N., & Gambaudo, S. (2014). Uso de efluentes porcinos en función de los ambientes edáficos. Curso Internacional de Agricultura de Precisión. Manfredi, Córdoba. Argentina.





EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE DIGERIDOS DE PLANTAS DE BIOGÁS OPERATIVAS PARA SU VALORIZACIÓN AGRONÓMICA

Bres, P.A.^{1*}, M.E. Beily¹, N. Peñuela², N. Riera¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigaciones en Ciencias Veterinarias y Agronómicas. Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. Laboratorio de Transformación de Residuos. Nicolas Repetto y de los Reseros s/n. Hurlingham (1686). Prov. Buenos Aires. bres.patricia@inta.gob.ar

² Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería Sanitaria. Instituto de Ingeniería Sanitaria. Paseo Colón 850. CABA.

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar las propiedades que presentan los digeridos sólidos (DS) y líquidos (DL) provenientes de estiércoles ganaderos de producciones intensificadas de porcino (DLP y DSP), de tambo (DLT y DST) y vacuno (DLV y DSV). Las muestras fueron recolectadas de plantas de biogás operativas de gran escala. Los resultados fueron comparados con las dos normas técnicas de referencia existentes en nuestro país (RES 19/2019 y RES 1/2019) a fin de determinar su aptitud como biofertilizante. Se midieron distintas variables fisicoquímicas, microbiológicas e indicadores de estabilidad, incluyendo la mayoría de los parámetros exigidos por las normas técnicas. Los resultados mostraron que los digeridos tienen un alto valor agregado para ser utilizado en agricultura debido a su composición rica en nutrientes y MO. Sin embargo, no cumplieron con los criterios de higienización tanto en los DS y DL para los tres digeridos, como así tampoco con el criterio de libre de toxicidad, debido a las altas concentraciones de Zn y Cu, en particular en el digerido porcino (DSP y DLP) y de tambo (DLT y DST). Consecuentemente, se requiere la incorporación de algunas mejoras para asegurar la inocuidad de estos productos y lograr los criterios de aptitud para ser utilizados como biofertilizante.

Palabras clave: biofertilizante, nutrientes, digestión anaeróbica

INTRODUCCION

El proceso de digestión anaerobia de residuos orgánicos, además de generar biogás como energía renovable, produce un efluente semilíquido denominado digerido, el cual consiste en una mezcla de biomasa microbiana, material no biodegradable y productos metabólicos provenientes del proceso de degradación.

Comúnmente en las plantas de biogás, el digerido puede ser tratado por un sistema de separación, el cual permite generar un digerido sólido (DS) y un digerido líquido (DL). La composición, manejo y gestión de estas fracciones del digerido pueden ser muy distintas. Su composición rica en macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, hace que el principal destino del digerido sea su utilización en agricultura.

Durante los últimos años hubo un fuerte crecimiento de las plantas de biogás a gran escala en Argentina. La mayoría de las plantas de biogás instaladas han puesto el enfoque en el aprovechamiento del biogás como fuente de energía, dejando de lado el aprovechamiento del digerido, principalmente por desconocimiento de sus propiedades y la falta de una regulación que permita la inclusión de este producto como biofertilizante. Sin embargo, la aplicación del digerido para su valorización agronómica fue regulado mediante la Resolución 19/2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable en el año 2019, donde se establecen ciertos



criterios de calidad: a) Libre de patógenos: la higienización y seguridad en los productos utilizados para uso agronómico debe ser considerado a fin de evitar riesgos a la salud humana; b) Estable: un alto contenido de compuestos metabólicos biodegradables, como los ácidos orgánicos volátiles, le confiere inestabilidad microbiana. La adición al suelo de digerido inestable puede conducir a una rápida activación microbiana, produciendo emisión de gases de efecto invernadero (CH_4 , NO_x y CO_2), olores desagradables y la inmovilización del N en suelo, causando efectos negativos sobre el sistema suelo-planta (Bernal et al., 2011); c) No tóxico: algunos metales pesados, metaloides y micronutrientes son considerados elementos potencialmente tóxicos (EPT) porque dependiendo de su solubilidad y disponibilidad, pueden llegar a concentraciones tóxicas representando un riesgo para la salud humana, animal y el ambiente; d) Materia orgánica y nutrientes: no se establecen valores límites, pero su aplicación agronómica debe estar acompañada por un plan de manejo que considere el balance entre el aporte de nutrientes por el digerido y los requerimientos del cultivo.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar las propiedades que presentan los DS y DL provenientes de estiércoles ganaderos de producciones intensificadas (tambo, *feedlot* y porcino), y comparar sus valores con los criterios de calidad establecidos por las dos normas de referencia a fin de determinar su aptitud como biofertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron y analizaron muestras de digeridos de tres plantas de biogás de gran escala que procesan estiércoles de producciones ganaderas intensificadas:

Digerido líquido (DLP) y sólido porcino (DSP): proveniente de una planta de biogás que procesa 240 m³/d de efluente porcino, con 3 digestores de 4000 m³ cada uno, y un rango de temperatura de trabajo de 38-42 °C.

Digerido líquido (DLT) y sólido de tambo (DSP): proveniente de una planta de biogás que procesa entre 100 y 150 Tn/d de estiércol vacuno de tambo (90 %), descarte de alimento y silaje en mal estado (9 %) y glicerina (1 %), con 3 digestores de 3500 m³ cada uno, y un rango de temperatura de trabajo entre 34-40 °C.

Digerido líquido (DLV) y sólido vacuno (DSV): proveniente de una planta de biogás que procesa entre 110 Tn/d de estiércol de vaca de *feedlot* (60 %) y forraje (40 %), con 4 digestores de 4000 m³ cada uno, y un rango de temperatura de trabajo entre 38-42 °C.

Se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos en cada una de las muestras (DL y DS): pH, conductividad eléctrica (CE), materia seca (MS), humedad (H), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), las sales totales potasio (K_t), calcio (Ca_t), magnesio (Mg_t) y sodio (Na_t), sodio soluble (Na_s), fósforo total (P_t) y los metales totales Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Plomo (Pb). La relación C/N se calculó a partir del valor de MO (% en base seca) y el factor de conversión de 1,8. Los técnicas fueron realizadas según Martínez et al. (2021). El potencial de biogás residual (PBR) y los ácidos grasos volátiles (AGV) se determinaron según la metodología descrita por WRAP (2010). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Se realizó el análisis de patógenos mediante la determinación de coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (EC) y *Salmonella* spp. (S), según métodos estandarizados (APHA, 1992; USDA & USCC, 2001).

Los resultados de los DL fueron comparados con la norma técnica de aplicación de digerido para uso agrícola RES 19/2019 (RESOL-2019-19-APN-SGAYDS#SGP). Considerando que el principal destino de los DS es su uso como enmienda, se utilizó como referencia el marco normativo de compost RES 1/2019 (Resolución Conjunta RESFC-2019-1-APN-SECCYMA#SGP) a fin de evaluar su calidad y determinar su aptitud para ser utilizados en agricultura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres DL presentaron pH básicos, cumpliendo con el rango de referencia que establece RES 19/2019. Sin embargo, los valores de pH en los DS superan el rango establecido por la norma técnica 1/2019 en los tres



casos. El pH en digeridos suele ser alcalino, principalmente en los digeridos de origen animal, debido a la degradación de los ácidos orgánicos volátiles y la producción de amoníaco que se genera durante la degradación anaeróbica (Bernal et al., 2011).

La CE fue elevada en los tres DL, especialmente en el digerido porcino (DLP>DLV>DLT), si bien la norma no establece un límite de referencia. Para los DS, la CE estuvo dentro del rango permitido por la norma. Las diferencias encontradas entre los tres tipos de muestras indican distintas concentraciones de los componentes que influyen en la CE. La CE alta está asociada a la presencia de sales, principalmente aquellas que aportan alcalinidad al sistema anaeróbico, como los bicarbonatos y/o carbonatos (Klein et al., 2018). La CE y las concentraciones de Na y Cl solubles deben ser controladas para conocer la salinidad y evitar que su aplicación agrícola genere riesgos ambientales e impactos negativos en el desarrollo de los cultivos (Bernal et al., 2011).

Los DL presentaron concentraciones bajas de MS (< al 6 % de ST) y un alto contenido de humedad (>94 %), debido a su naturaleza de ser un material líquido. Su alto contenido de agua favorece el empleo como fertilizantes, pero incrementa los costos asociados a su gestión, almacenamiento y transporte. En el caso de los DS presentaron un mayor contenido de MS que los DL (23,4 % en promedio), debido a ser un material sólido. En cuanto a su contenido de H, los tres DS superaron los valores establecidos por la norma 1/2019. El alto contenido de H podría conducir a cierta inestabilidad del material para su uso agronómico debido a una activación del proceso de degradación de la MO.

En relación al contenido de MO, los DL y DS mostraron concentraciones elevadas, siendo en promedio 65,6 % para los DL y 88,5 % para los DS, en concordancia con los valores reportados por otros autores (Guilayn et al., 2020, Möller & Müller, 2012). El principal objetivo del proceso anaeróbico es transformar los compuestos carbonados del sustrato en biogás, y el excedente de carbono queda en el digerido. Los estiércoles son muy ricos en materia orgánica, por lo que puede observarse altas concentraciones de carbono en los digeridos. Si bien esto es una característica favorable para su uso agronómico, concentraciones altas de MO sin degradar en digeridos pueden continuar degradándose durante su uso, aplicación o almacenamiento, alterando el sistema e indicando condiciones inestables del digerido. Por eso, el parámetro de contenido de MO deberá estar acompañado por otros indicadores que midan la estabilidad biológica del material.

En cuanto a la relación C/N, el valor más bajo fue encontrado en el DLP, seguido por DLT y DLV. Los DL comúnmente presentan una baja relación C/N (entre 8 y 10) debido a que la degradación de la MO conduce a una reducción del carbono y a un incremento de la concentración del nitrógeno (Guilayn et al., 2020, Möller & Müller, 2012). En el caso de los DS, las tres muestras se encontraron por debajo del límite establecido por la norma de compost (<20), cumpliendo con este criterio de calidad. La relación C/N menor a 20 favorece la mineralización y liberación del nitrógeno en el suelo (Teglia et al., 2011).

En el relación al contenido de nutrientes, los tres digeridos muestran una composición rica en N, N-NH_4^+ , P y K, mostrando sus propiedades beneficiosas para ser utilizado como biofertilizante. Una pequeña fracción de los nutrientes productos de la degradación del sustrato serán consumidos por los microorganismos. Por lo tanto, comúnmente las concentraciones de los nutrientes pueden mantenerse constante o incrementarse con respecto a la concentración de ingreso, estando presentes en el digerido (Guilayn et al., 2020).

Se observó una alta concentración de N y amonio, especialmente en el DLP. Cuando las materias primas son ricas en proteínas como el efluente porcino, los digeridos presentan altas concentraciones de amonio y alta relación entre el Nitrógeno Amoniacal Total y el Nitrógeno Total (NAT/NT). En este caso el DLP mostró una relación del 66 %, en concordancia con Guilayn et al. (2020). En relación al amonio, debe considerarse que debido a que los digeridos presenta pH básicos, se favorece la volatilización como amoníaco durante su aplicación o almacenamiento, disminuyendo en el tiempo su valor como biofertilizante. Asimismo, el amonio en el suelo es rápidamente nitrificado bajo condiciones favorables, siendo la forma nítrica rápidamente asimilable para los cultivos. Sin embargo, debido a su alta solubilidad, dosis excesivas podrían generar una lixiviación de este compuesto y conducir a una contaminación de las aguas. Por ello, para evitar la pérdida del valor de fertilizante, es necesario adoptar buenas prácticas de manejo y gestión del digerido. (Macura et al., 2019).



El amonio es un parámetro utilizado como criterio de madurez, según la norma de compost (valor límite $< 400 \text{ mg g}^{-1}$). Los tres DS superan este valor de referencia, encontrándose en el DSP el valor más alto, seguido por el DSV, ambos con valores muy superiores a este límite. Concentraciones elevadas de amonio demuestran la ineficiencia del proceso degradativo biológico aeróbico, pudiendo causar fitotoxicidad.

Además de los nutrientes esenciales, los tres digeridos en sus dos fracciones presentaron concentraciones apreciables de micronutrientes (Ca, Mg, Na). Su variada composición nutricional demuestra el agregado de valor que tienen los digeridos para ser utilizados como fertilizantes en los sistemas de producción agrícola. Sin embargo, debe considerarse de suma importancia conocer la concentración de estos compuestos para ajustar la dosis de aplicación según las necesidades de los cultivos y evitar una sobre-fertilización o contaminación al ambiente.

En cuanto al criterio de higienización, los tres digeridos en sus dos fracciones mostraron no encontrarse en condiciones de calidad para su uso agronómico, según las dos normas técnicas de referencia.

En relación al criterio de estabilidad, todas las muestras DL mostraron condiciones estables según el indicador de PBR, estando el DLT próxima al límite establecido por la res 19/2019. En cuanto al contenido de AGV, si bien la concentración fue elevada en el DLP y DLV, cuando se considera el contenido de MO en la muestra, los valores se encuentran dentro del límite establecido por la norma.

En cuanto al contenido de EPT, se encontraron concentraciones elevadas de Cu y Zn en los tres digeridos. Los digeridos de tambo (DST y DLT) y los digeridos porcinos (DSP y DLP) superan los valores límites establecidos de Cu y Zn por las normas de referencia. Los digeridos vacunos (DLV y DSV) mostraron mejor calidad con respecto a este criterio, permitiendo ser utilizado el DSV como compost de clase B, donde sus usos presentan restricciones de aplicación. El resto de los EPT analizados en DL y DS (Ni, Pb, As, Cr), se encontraron por debajo de los valores límites establecidos por las dos normas. Los metales pesados presentes en los estiércoles son introducidos a través de la alimentación, complejos vitamínicos o en el uso de drogas veterinarias (Raave et al., 2017). Aplicaciones repetidas del biofertilizante podrían inducir una acumulación en el suelo de los metales pesados (Teglia et al., 2011). Por estas razones, el contenido de metales pesados en el digerido debe ser cuidadosamente monitoreado.

Los resultados de las características de los digeridos son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los DL y DS porcino, tambo y vacuno (promedio \pm desvío estándar)

PARÁMETRO	DLP	DSP	DLT	DST	DLV	DSV	RES 19/2019	RES 1/2019	
pH (upH)	8,1 \pm 0,0	8,9 \pm 0,3	7,5 \pm 0	8,5 \pm 0,3	7,7 \pm 0,1	9,1 \pm 0,1	6,5-8,5	5-8,5	
CE (ds cm ⁻¹)	30,1 \pm 0,1	3,8 \pm 0,3	9,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,0	24,6 \pm 0,0	3,2 \pm 0,0	D	<4	<6
H (%)	97,5 \pm 0,1	75,6 \pm 1,1	97,0 \pm 0,0	82,0 \pm 0,2	93,9 \pm 0,0	75,2 \pm 0,1		<60	
MS (%)	2,5 \pm 0,1	27,4 \pm 1,1	3,0 \pm 0,0	18,0 \pm 0,2	6,1 \pm 0,0	24,8 \pm 0,1			
MO (%bs)	59,5 \pm 0,6	90,1 \pm 0,5	72,7 \pm 0,2	88,0 \pm 0,1	64,8 \pm 0,3	87,3 \pm 0,1	>40	>20	
C/N	1,7 \pm 0,1	14,01 \pm 0,5	6,7 \pm 0,1	23,2 \pm 0,9	11,3 \pm 2,7	18,8 \pm 0,4		\leq 20	<30
N _i (g kg ⁻¹)	5,0 \pm 0,0	9,8 \pm 0,1	1,8 \pm 0,0	3,8 \pm 0,2	2,0 \pm 0,3	6,4 \pm 0,1	D		
N-NH ₄ ⁺ (g kg ⁻¹)	3,7 \pm 0,1	1,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,0	0,45 \pm 0,02	2,3 \pm 0,0	1,2 \pm 0,0	D	<0,4	
Pt (g kgbs ⁻¹)	10,4 \pm 0,7	62,0 \pm 3,5	6,2 \pm 1,7	16,3 \pm 0,4	38,2 \pm 2,6	7,7 \pm 0,5	D	D	
Kt (g kgbs ⁻¹)	99,6 \pm 3,7	22,5 \pm 4,1	52,4 \pm 9,0	40,5 \pm 6,0	66,9 \pm 5,4	16,0 \pm 2,5	D	D	
Cat (g kgbs ⁻¹)	8,1 \pm 1,1	24,1 \pm 2,3	29,1 \pm 4,7	35,9 \pm 4,5	34,6 \pm 5,9	27,8 \pm 6,0	D	D	
Mgt (g kgbs ⁻¹)	6,1 \pm 0,9	16,4 \pm 2,0	19,8 \pm 7,9	16,2 \pm 1,7	11,5 \pm 1,1	7,4 \pm 0,9	D	D	
Nat (g kgbs ⁻¹)	45,6 \pm 1,5	16,8 \pm 2,0	20,7 \pm 5,0	24,2 \pm 2,9	23,4 \pm 1,9	10,1 \pm 2,8		D	
Nas (g kgbs ⁻¹)	42,6 \pm 1,7		14,7 \pm 0,2		13,7 \pm 1,3		D		
AGV(g l ⁻¹)	2,5 \pm 0,11		0,62 \pm 0,06		1,99 \pm 0,22		<1,5		
AGV (gDQO gMO ⁻¹)	0,18 \pm 0,02		0,03 \pm 0,00		0,05 \pm 0,01		0,43		
PBR (l gMO ⁻¹)	0,14 \pm 0,01		0,21 \pm 0,04		0,09 \pm 0,00		0,25		
CF (NMP g ⁻¹)	<300		21000		400		<1000		
EC(NMP g ⁻¹)	<300	P	21000	P	400		A	<1000	
S (NMP 4g ⁻¹)	<3	A	<3	P	<3	A	<3	<1	
Znt (mg kgbs ⁻¹)	994,0 \pm 83,4	526,1 \pm 50,9	252,5 \pm 6,5	338,6 \pm 62,9	212,8 \pm 15,3	99,9 \pm 36,0	300	300	1100
Cut (mg kgbs ⁻¹)	1444,3 \pm 4,0	860,0 \pm 68,1	183,3 \pm 4,0	410,9 \pm 55,2	68,3 \pm 2,5	71,6 \pm 11,3	150	150	450

Referencias. bs: base seca; NMP: número más probable; CF: Coliformes fecales; EC: *E. Coli*; S: *Salmonella*; P: presencia; A: ausencia; D: declarar. Los valores remarcados en rojo indican que superan el valor límite y los remarcados en amarillo que alcanzan el límite para clase B.

CONCLUSIONES

Los DL y DS provenientes de estiércoles animales presentaron una composición variada y rica en macro y micronutrientes y MO, mostrando un alto valor agregado para la agricultura. Sin embargo, los tres DL y DS no cumplieron con el criterio de higienización. Se recomienda realizar un sistema de post-tratamiento antes de su aplicación agrícola, o bien modificar la temperatura del proceso anaeróbico a condiciones termófilas a fin de reducir la carga patogénica. Sumado a esto, las concentraciones altas de Cu y Zn en los DL y DS, impiden su aplicación libre de toxicidad de estos productos al suelo. La incorporación de cambios en el sistema de manejo productivo de los animales (alimentación; uso de antibióticos y antiparasitarios) podrían contribuir a la disminución de la carga de estos metales en los estiércoles y consecuentemente en los digeridos.

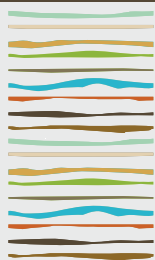
En cuanto a los DS, algunos indicadores evidenciaron inestabilidad del material. Probablemente un proceso de compostaje, ayudaría a lograr la estabilidad y madurez que son requeridos para su uso como enmienda, favoreciendo la disminución de las concentraciones altas de amoníaco, el alto contenido de humedad y la eliminación de los patógenos.



BIBLIOGRAFÍA

- APHA. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17th. Ed. American Public Health Association, Washington.
- Bernal, MP; JA Albuquerque; MA Bustamante; & RC Carrillo. (eds.) 2011. Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización.
- Guilayn, F; M Rouez; M Crest; D Patureau, & J Jimenez. 2020. Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19 (2), 419-462.
- Klein, R; V Slaný, & E Krčálová. 2018. Conductivity measurement for control of a biogas plant. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(5), 1151–1156.
- Macura, B; SL Johannesdottir; M Piniewski; NR Haddaway, & Kvarnström, E. 2019. Effectiveness of ecotechnologies for recovery of nitrogen and phosphorus from anaerobic digestate and effectiveness of the recovery products as fertilisers: A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 8(1), 1–9.
- Martinez, LE; PF Rizzo; PA Bres; NI Riera; ME Beily & BJ Young. 2021. Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial. Ediciones INTA.
- Möller, K & T Müller 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), 242–257.
- Raave, H; I Keres; K Kauer; M Nöges; J Rebane; M Tampere; E Loit; K Sensel; V Wragge; F Ellmer; DS Mdä; F Taube; C Henning; E Albrecht; TRC Klug; F Taube; Henning; E Albrecht; TRC Kluß & AP Williams. 2017. Utilization of digestate from biogas plants as bio-fertiliser. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2(1), 1–4.
- Teglia, C; A Tremier & JL Martel. 2011. Characterization of solid digestates: part 1, review of existing indicators to assess solid digestates agricultural use. *Waste and Biomass Valorization*, 2(1), 43-58
- USDA & USCC. 2001. Test Methods for the examination of composting and compost. Edaphos International, Department of Agriculture and Composting Council.
- Waste and Resources Action Programme (WRAP). 2010. Residual biogas potential test for digestates: Development and evaluation of a method for testing the residual biogas potential of digestates. Project Code: OFW004-005.





MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA SINCRONIZAR LA OFERTA Y DEMANDA DE NITRÓGENO EN MAÍZ

Cafaro La Menza, F.^{1*}, W.D. Carciochi^{1,2*}, N.I. Reussi Calvo^{1,2*}, M.P. Rodríguez¹, A.M. Lapaz¹, P.A. Barbieri¹, H.R. Sainz Rozas^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;

² Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Mar del Plata;

* Ruta Provincial 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, francisco.cafa@gmail.com, waltercarciochi@hotmail.com

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) intervienen sobre la dinámica del nitrógeno (N), pudiendo modificar su disponibilidad para el cultivo de cosecha posterior. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la especie y el momento de terminación de los CC sobre el rendimiento en grano del maíz (*Zea mays* L.), con énfasis en el estudio de la liberación de N desde los CC y su sincronización con la demanda del maíz posterior. En la campaña 2020/21 se realizó un ensayo de campo en el sudeste bonaerense. Se emplearon como CC: Avena (*Avena sativa* L.; Av), Vicia (*Vicia villosa* Roth.; Vi) y la consociación Av+Vi. Se realizaron dos "momento de terminación": Temprano (Te) y Tardío (Ta) y dos dosis de fertilización nitrogenada en el maíz: 0 kg N ha⁻¹ (N0) y 200 kg N ha⁻¹ (N200). La Av provocó inmovilización de N y en consecuencia una baja sincronización (5,8 y 9,9% para terminación Te y Ta, respectivamente), menor rendimiento del maíz (4520 kg ha⁻¹) y alta respuesta a la fertilización con N (85% respecto a sin N). La Vi favoreció la sincronización de N (23,2 y 39,9% para terminación Te y Ta, respectivamente) y permitió alcanzar un mayor rendimiento (7477 kg ha⁻¹) con respecto a la Av, sin observarse respuesta a la fertilización con N. Por último, la Av+Vi mostró una situación intermedia a la de los cultivos puros, presentó adecuada sincronización de N (30,2 y 23,3% para terminación Te y Ta, respectivamente), especialmente cuando la terminación fue Te y no se observó respuesta a la fertilización con N. En síntesis, el uso de Vi (ambos momentos de terminación) o Av+Vi (con terminación Te) permitió mejorar la sincronización entre la oferta de N de los residuos y la absorción del maíz y optimizar el rendimiento en grano.

Palabras clave: avena, vicia, momento de terminación.

INTRODUCCION

En el sudeste bonaerense (Argentina) las especies más utilizadas como cultivos de cobertura (CC) en la rotación con maíz (*Zea mays* L.) son el cultivo de vicia (Vi; *Vicia villosa* Roth.) pura o en consociación con avena (Av; *Avena sativa* L.) (Bertolotto y Marzetti, 2017). Los CC son capaces de acumular hasta 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N) en su biomasa (Xavier *et al.*, 2017), lo cual varía según la especie utilizada y el momento de terminación (detención del ciclo de crecimiento) (Carciochi *et al.*, 2021). Por ende, la especie y el momento de terminación de los CC son variables de manejo para la gestión del N en el cultivo de cosecha. El momento de terminación determina la cantidad de N acumulado en biomasa y, en el caso de las gramíneas, la relación carbono (C):N, ya que, ambas variables aumentan a medida que avanza el desarrollo de los CC (Whitehead, 2000). De esta manera, cuanto más avanzado en el ciclo se encuentre el CC al momento de la terminación mayor es la cantidad de N acumulado en biomasa, pero, en el caso de las gramíneas, menor será la tasa de descomposición de los residuos sobre el suelo y posterior mineralización (Gaskin *et al.*, 2016). En leguminosas como la Vi, la relación C:N y la tasa de descomposición suele ser estable durante el ciclo del cultivo. Así, demorar el momento de terminación de Vi permitiría acumular más N que quedará disponible para el cultivo



siguiente, mejorando la sincronización entre oferta y demanda de N. Una adecuada sincronización entre la mineralización (oferta) de N y su demanda por parte del cultivo de cosecha posterior optimizaría la eficiencia de uso del N (Murungu *et al.*, 2011; Poffenbarger *et al.*, 2015) decaying cover crops may release substantial amounts of nutrients. Decomposition, N and P release from winter cover crops [grazing vetch (*Vicia darsy-carpa*). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la especie y el momento de terminación de los CC sobre el rendimiento en grano del maíz, con énfasis en el estudio de la liberación de N desde los CC y su sincronización con la demanda del maíz posterior.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2020/21 se realizó un experimento de manejo de los CC en maíz (38°17'58,92"S, 59°00'52,32"O), ubicado en el sudeste bonaerense, Argentina, bajo sistema de siembra directa y en seco. El 26 de marzo de 2020 se realizó la siembra de los CC sobre un suelo Argiudol petrocálcico, de textura franco arcillosa, pH 5,9 y materia orgánica 5,5%. Se emplearon como CC: Av, Vi y Av+Vi en proporción 25:75. Las fechas de terminación de los CC fueron 30 días previos a la siembra del cultivo cosecha, momento temprano (Te) y 10 días previos a la siembra del maíz sucesor (momento tardío; Ta). Las fechas de terminación de los CC y siembra del maíz (27 de noviembre de 2020) fueron acordes a maíces de siembra tardía.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo de tratamientos en parcelas sub-sub-divididas y tres repeticiones. A la parcela principal se le asignó el factor "CC" con cuatro niveles: i) Av, ii) Vi, iii) Av+Vi y iv) barbecho sin CC (sCC). A las sub-parcelas se les asignó el factor "momento de terminación" con dos niveles: i) Te y ii) Ta; y a las sub-sub parcelas se les asignó el factor fertilización nitrogenada en maíz con dos niveles: i) 0 kg N ha⁻¹ (N0) y ii) 200 kg N ha⁻¹ (N200). La fertilización nitrogenada se realizó con urea (46-0-0) a la siembra del maíz.

En cada CC se muestreó material vegetal para determinar la materia seca (MS) acumulada de la biomasa aérea y de raíces (prof. 0-20 cm), al momento de su terminación. Luego, durante los estadios V₆, V₁₂, R₁, R₂ y R₆ (Ritchie y Hanway, 1982) de maíz, se determinó en los tratamientos sin fertilizar de cada CC la MS remanente de los residuos aéreos. A partir de las muestras de MS se determinó la concentración de N en dichos tejidos mediante la metodología de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y se calculó la cantidad de N. En los estadios V₆, V₁₂, R₁, R₂ y R₆ se colectaron 6 plantas (biomasa aérea) de maíz en todos los tratamientos para determinar la acumulación de MS y su acumulación de N. En el estadio de madurez fisiológica se realizó la cosecha de cada parcela. El rendimiento se expresó en kg ha⁻¹ de grano corregido a 14,5% de humedad. Al igual que los residuos de los CC, se determinó la concentración de N en dichos tejidos (planta y grano) y se calculó la acumulación de N (en planta y grano). En cada momento de muestreo y sobre los tratamientos sin fertilizar se determinó el contenido de humedad gravimétrica y el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo (0-20 y 20-40 cm). Para la determinación de N-NO₃⁻ se utilizó el método colorimétrico del ácido fenildisulfónico (Keeney y Nelson, 1982).

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) empleando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018). Se evaluó la doble interacción entre CC y momento de terminación para la variable disponibilidad de N-NO₃⁻ en suelo y la triple interacción entre CC, momento de terminación y fertilización con N para la variable rendimiento en grano del maíz. A su vez, para comparar las variables de caracterización de los CC se consideró cada combinación CC x momento de terminación como un tratamiento. Cuando fue necesario se realizó la comparación de medias utilizando el test de mínima diferencia significativa (LSD Fisher; p-valor <0,05).

Se ajustó un modelo exponencial simple para describir la liberación de N desde los residuos de CC (Poffenbarger *et al.*, 2015; Sievers y Cook, 2018). Por su parte, se ajustó un modelo Gompertz para describir la acumulación de N por el cultivo de maíz en los tratamientos fertilizados con N. Se eligió dicho tratamiento por ser la condición de N no limitante, que representa el N potencial que los CC deben aportar en una situación de máxima sincronización. A partir de los modelos ajustados, se calculó la tasa diaria de liberación y acumulación de N y se construyeron gráficos de área para cada CC y momento de terminación a lo largo del ciclo del maíz. La sincronización se determinó según el porcentaje de área bajo la curva de absorción de N que se superpone a la de la liberación de N, siendo el mayor porcentaje de superposición una mejor sincronización



en la oferta y demanda de N. El cálculo de dicho porcentaje se determinó mediante el programa ImageJ (Schneider *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSION

La biomasa aérea acumulada en los CC al momento de terminación varió entre 5,4 y 10,5 Mg ha⁻¹ (Tabla 1), lo cual se encuentra entre los rangos reportados para distintas regiones del país (Restovich *et al.* 2012). En los tratamientos de los CC con terminación Ta, en general, se observó mayor acumulación de MS en la biomasa aérea con respecto a la Te, excepto en la Av+Vi. Entre los tratamientos con terminación Te no se encontraron diferencias en la producción de MS. En cambio, en la Ta la acumulación de MS aérea fue mayor en la Vi (10,5 Mg ha⁻¹) con respecto a la Av (8,2 Mg ha⁻¹) y Av+Vi (8,0 Mg ha⁻¹). La concentración de N en la biomasa aérea siguió el orden Vi > Av+Vi > Av, independientemente de la terminación. La Vi con terminación Ta acumuló un 68% más de N que la Te y a su vez, acumuló más N que las otras coberturas. La producción de MS y acumulación de N en la raíz no evidenció diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (datos no mostrados). No obstante, el aporte de N por parte de las raíces tendió a ser mayor en Vi (68,1 kg N ha⁻¹) que en la Av (25,6 kg N ha⁻¹) o la Av+Vi (46,0 kg N ha⁻¹).

Tabla 1: Medias de materia seca acumulada (MS), concentración de N (N_c) y nitrógeno acumulado (N_{AC}) en la biomasa aérea según la cobertura y momento de terminación. Letras iguales leídas en columnas muestran diferencias no significativas entre medias según el test LSD de Fisher (p -valor < 0,05).

CC	Terminación	Biomasa aérea					
		MS		N_c		N_{AC}	
		(Mg ha ⁻¹)		(g kg ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
Av	Te	5,4	d	5,9	d	32,4	d
	Ta	8,2	b	5,1	d	41,8	d
Vi	Te	6,1	d	17,6	b	106,5	b
	Ta	10,5	a	23,8	a	249,8	a
Av+Vi	Te	6,3	cd	13,7	bc	86,4	bc
	Ta	8,0	bc	10,5	c	81,1	c

Se determinó efecto de los cultivos de cobertura sobre la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo en todos los momentos de muestreo, excepto 92 días desde la siembra (R_1) (Tabla 2). Al inicio del cultivo de maíz, el sCC presentó, en promedio, un 30% más de $N-NO_3^-$ que la Vi y la Av+Vi y un 55% más que la Av. Hasta los 46 días desde la siembra, la Av fue el tratamiento que generó la menor disponibilidad de $N-NO_3^-$. Estas diferencias en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ se deben a que las coberturas consumieron este nutriente hasta el momento de terminación, generando una menor acumulación de $N-NO_3^-$ en suelo a la siembra del maíz. Por otra parte, la menor disponibilidad de $N-NO_3^-$ en suelo con Av se debe a la alta relación C/N de esta especie (81:1, promedio entre Te y Ta) que produce inmovilización de N. Durante el resto del ciclo del maíz, en general, no se observaron diferencias de gran magnitud entre los CC y el sCC.

Al inicio del ciclo del cultivo de maíz se observó una menor disponibilidad de agua con la terminación Ta de todos los CC respecto del sCC (96 vs 130 mm para CC-Ta vs sCC, respectivamente). Durante el resto del ciclo, en general, el uso de Vi y Av+Vi no generó diferencias con el sCC respecto del contenido de agua en el suelo, pero sí las hubo con Av de terminación Te. En particular, la terminación Te de Av llevó a una mayor disponibilidad de agua que el sCC durante el ciclo del maíz (en promedio 22 mm superior).



Tabla 2: Disponibilidad de $N-NO_3^-$ en suelo en el estrato 0-40 cm para los diferentes momentos de muestreo según cobertura y momento de terminación. Letras iguales leídas en columnas indican diferencias no significativas entre medias según el test LSD de Fisher (p -valor $< 0,05$).

Tratamiento	Días desde la siembra					
	15	46	68	92	106	161
	Cultivo de cobertura (CC)					
	kg ha ⁻¹					
Avena	25,1 C	19,3 C	9,6 B	13,1	13,6 B	20,6 AB
Vicia	36,3 B	39,3 A	12,7 A	14,1	12,8 B	19,3 B
Avena + Vicia	41,6 B	29,4 B	12,6 A	13,2	15,7 A	18,1 B
Barbecho	56,1 A	32,9 AB	9,8 B	15,0	13,7 AB	24,7 A
	Momento de Terminación (MT)					
	kg ha ⁻¹					
Temprano	40,9	29,5	11,1	13,8	14,2	21,3
Tardío	38,6	31,0	11,2	13,9	13,7	20,0

La sincronización de N varió entre 5,8 y 39,9% para las diferentes coberturas y momento de terminación (Figura 1). Cuando la terminación fue Te, la mejor sincronización se logró en la Av+Vi (30,2%). En cambio, en la terminación Ta, la Vi presentó un 39,9% de superposición y superó a la Av+Vi (23,3%) y a la Av (9,9%).

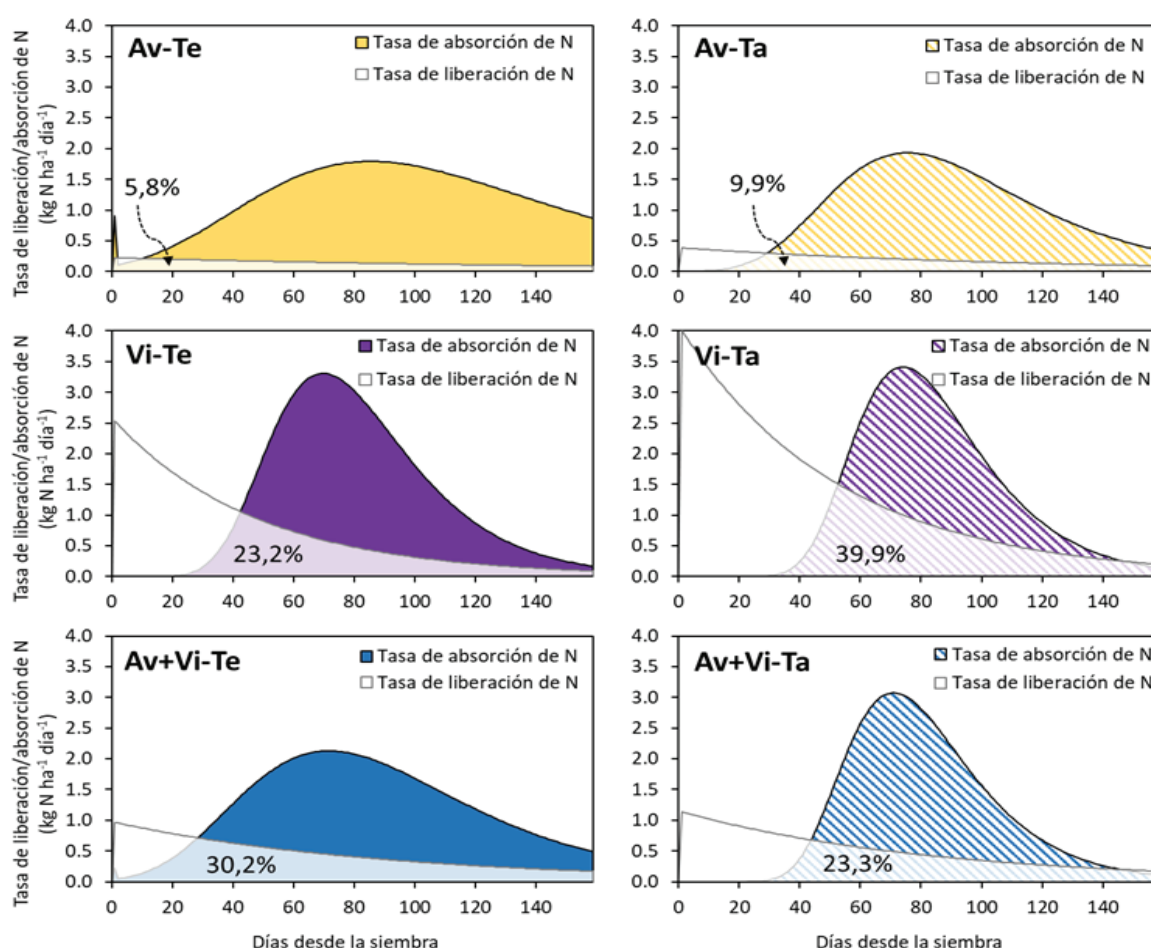


Figura 1: Sincronización entre la oferta de N desde los CC y demanda del maíz durante todo su ciclo de crecimiento para cada CC y momento de terminación. El valor en porcentaje indica el área bajo la curva de absorción de N que se superpone a la de la liberación de N. Vi: Vicia; Av: Avena; Av+Vi: Avena + Vicia; Te: terminación temprana; Ta: terminación tardía.

La mayor sincronización de la Vi-Ta se debe, por un lado, a la mayor cantidad de MS en biomasa aérea acumulada hasta el momento de terminación, lo que le permitió fijar y acumular más N en sus tejidos. Por otra parte, su baja relación C:N (18:1) favoreció a que la mayor parte de sus tejidos se degradaran durante el ciclo del maíz. Estos resultados confirman la hipótesis planteada por Sievers y Cook (2018), quienes sugerían que demorar la terminación de la Vi mejoraría la sincronización de N con el cultivo de cosecha siguiente. La Av, independientemente del momento de terminación, presentó la menor acumulación de N en su biomasa aérea y la relación C/N (promedio 81:1) sugirió inmovilización neta de N.

Los mayores rendimientos se obtuvieron en los CC con terminación Te y en el sCC, sin observarse diferencias estadísticas entre ellos (Figura 2). Estos resultados se pueden explicar en parte por la mayor disponibilidad de agua en los estadios iniciales del maíz cuando la terminación fue Te y en el sCC. Cuando la terminación fue Ta, el sCC (8,1 Mg ha⁻¹) rindió un 30% más que la Av (5,7 Mg ha⁻¹) y un 20% más que la Vi (6,4 Mg ha⁻¹). Por su parte, la consociación de Av+Vi no mostró diferencias significativas con respecto al sCC, la Av y la Vi. La lenta descomposición de los residuos de Av produjo inmovilización de N durante la mayor parte del ciclo del maíz, causando la deficiencia de este nutriente desde estadios tempranos y generando un menor rendimiento.

Cuando no se fertilizó con N (N0), el rendimiento del maíz con antecesor Vi, Av+Vi y sCC (7324 kg ha⁻¹) fue mayor al de antecesor Av (4520 kg ha⁻¹, Figura 2). No obstante, no hubo diferencias significativas entre dichos tratamientos para el rendimiento en grano del maíz sobre N200. La fertilización con 200 kg N ha⁻¹ sólo incrementó el rendimiento en grano del maíz sobre los antecesores de Av (85%) y sCC (24%).

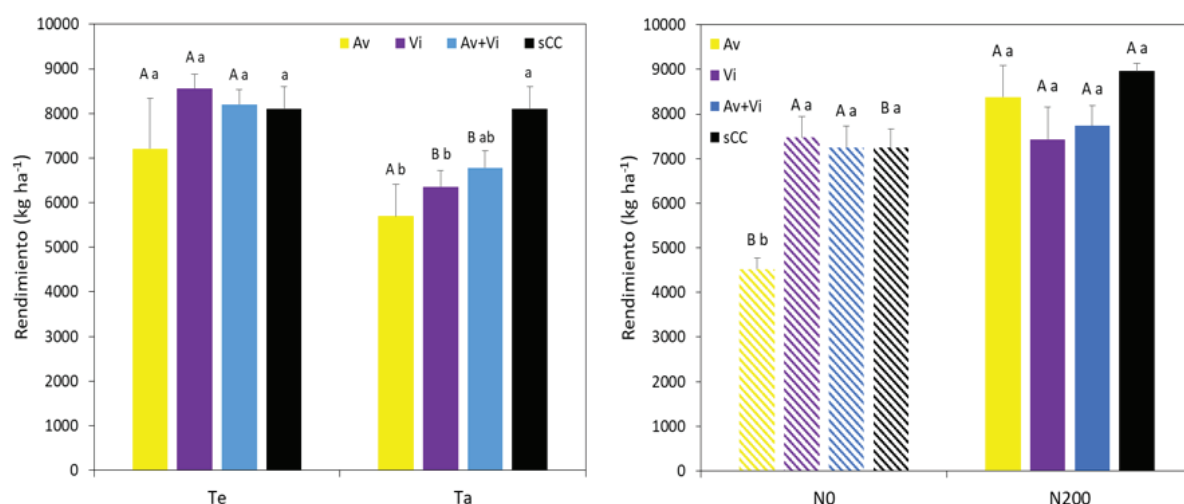


Figura 2: Rendimiento en grano de maíz (14,5% de humedad) para cada CC y momento de terminación (izquierda), promedio de con y sin fertilización nitrogenada. Rendimiento en grano del maíz (14,5% de humedad) según CC previo y fertilización con N, promedio de dos momentos de terminación (derecha). Letras minúsculas iguales dentro de cada momento de terminación ó nivel de fertilización con N, representa diferencias no significativas entre las medias de los CC. Letras mayúsculas iguales indican diferencias no significativas entre las medias de los momentos de terminación ó fertilización con N para un mismo CC, según test de LSD Fisher (p -valor < 0,05). Vi: Vicia; Av: Avena; Av+Vi: Avena + Vicia; sCC: barbecho desnudo; Te: terminación temprana; Ta: terminación tardía; N0: sin fertilización nitrogenada; N200: con fertilización nitrogenada.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo, para la campaña en estudio, el uso de Vi (ambos momentos de terminación) o Av+Vi (con terminación Te) permitió mejorar la sincronización entre la oferta de N de los residuos y la absorción del maíz y optimizar el rendimiento. Por otra parte, el uso de Av como CC produjo inmovilización de N independientemente del momento de terminación y sólo cuando la terminación fue Ta el rendimiento de maíz fue menor con respecto al sCC. Por último, la dosis de fertilizante usada a la siembra del maíz permitió contrarrestar la inmovilización de N que causaron los residuos de Av.



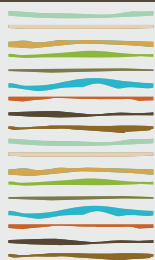
AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los proyectos INTA (2019-PE-E1-I011-001); PICT (2019-00485); PI-INICIAL-2021 “Dinámica del nitrógeno en secuencias cultivos de cobertura-maíz: efecto sobre la nutrición, rendimiento y calidad del grano de maíz”).

BIBLIOGRAFIA

- Bertolotto, M. & M. Marzetti. 2017. Manejo de malezas problema-Cultivos de Cobertura-Bases para su manejo en sistemas de producción. REM-AAPRESID. <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2017/05/REM-Aapresid-Impacto-ambiental-de-malezas.pdf>
- Bremner, J. M. & Y.C. MULVANEY. 1982. Nitrogen total. In: Page, A.L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. ASA, Madison, Wisconsin, pp. 595-624.
- Carciochi, W.D., I. Massigoge, A. Lapaz Oliveira, N.I. Reussi Calvo, F. Cafaro La Menza, H.R. Saiz Rozas & I.A. Ciampitti. 2021. Cover crop species can increase or decrease the fertilizer-nitrogen requirement in maize. *Agron. J.*, 113(6): 5412-5423
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo. 2018. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Gaskin, J., M. Cabrera & D. Kissel. 2016. Predicting nitrogen release from cover crops: The cover crop nitrogen availability calculator. University of Georgia. Extension Bulletin, 1466 (10).
- Keeney, D.R. & D.W. 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. ASA. Madison, Wisconsin, pp. 643-698.
- Murungu, F.S., C. Chidzuza, P. Muchaonyerwa & P.N.S. MNKENI. 2011. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter-grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 89 (1): 115-123.
- Poffenbarger, H.J., S.B. Mirsky, R.R. Weil, M. Kramer, J.T. Spargo & M.A. Cavigelli. 2015. Legume proportion, poultry litter, and tillage effects on cover crop decomposition. *Agron. J.*, 107(6): 2083-2096.
- Restovich, S.B., A.E. Andriulo & S.I. 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.
- Ritchie, S.W. & J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, USA. Special Report 48. 21 p.
- Schneider, C.A., W.S. Rasband & K.W. Eliceiri. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods*, 9 (7): 671-675.
- Sievers, T. & R.L. Cook. 2018. Aboveground and root decomposition of cereal rye and hairy vetch cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 82 (1): 147-155.
- Whitehead, D.C. 2000. Suphur, in: Whitehead, D.C. (ed.), Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 154-180.
- Xavier, F.A.D.S., J.I.A. Oliveira & M.R.D. Silva. 2017. Decomposition and nutrient release dynamics of shoot phytomass of cover crops in the Recôncavo Baiano. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, pp. 41.





ACUMULACIÓN DE NUTRIENTES EN CULTIVOS DE SERVICIO Y SU IMPLICANCIA EN LOS AGROECOSISTEMAS

Cafaro La Menza, F.^{1*}, W.D. Carciochi ^{1,2*}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;

² Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Mar del Plata;

* Ruta Provincial 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, francisco.cafa@gmail.com; waltercarciochi@hotmail.com

RESUMEN

Para lograr un sistema de producción sustentable, el ciclo de los nutrientes debe ser lo más cerrado posible. Los cultivos de servicio (CS) son utilizados para evitar la pérdida de nutrientes desde el suelo durante el periodo comprendido entre dos cultivos de cosecha. En este trabajo se realizó una revisión sistemática para la región pampeana argentina sobre acumulación de biomasa aérea, concentración y acumulación de nutrientes (C, N, P y S) y calidad de sus residuos, para diferentes CS, discutiendo su implicancia en los agroecosistemas. Se generó una base de datos con datos propios y trabajos publicados en revistas, congresos, boletines técnicos y tesis. Para el análisis de las variables se consideraron cinco grupos de CS: Gramíneas (sin raigrás), Raigrás (*Lolium* sp.), Vicia (*Vicia* sp.), Crucíferas y Consociadas. Los resultados de esta revisión indican que existen diferencias entre grupos de CS en la acumulación de biomasa aérea y gran variabilidad dentro de cada uno. La acumulación de C fue mayor en Gramíneas y Consociadas. Las Gramíneas serían adecuadas para aportar C al sistema, pero hay que tener en cuenta la posible inmovilización de nutrientes que generen sus residuos durante el ciclo del cultivo posterior. La Vicia presenta el beneficio de incorporar N al sistema mediante fijación biológica, aportándolo al cultivo siguiente y permitiendo la formación de materia orgánica del suelo. En una situación intermedia se encuentran las Consociadas, aportando C como las Gramíneas y N, S y P como la Vicia, ya que las relaciones C:nutriente son favorables para la mineralización neta. Los CS ayudan a cerrar los ciclos de los nutrientes al actuar como "cultivos trampa". Este trabajo sugiere que es importante elegir la especie o consociación de especies a utilizar en función del servicio ecosistémico buscado.

Palabras clave: cultivos trampa, ciclo de nutrientes, revisión sistemática.

INTRODUCCION

En varias regiones del mundo se realiza un solo cultivo por año, lo que genera largos periodos de barbecho con baja cobertura del suelo y sin vegetación (Pinto *et al.* 2017). Esto provoca una gran ineficiencia en el uso de los recursos y causa balances de carbono (C) negativos. Además, los excesos de agua durante los periodos de barbecho provocan pérdida de nutrientes desde el suelo por lavado (Duval *et al.*, 2017). La disminución en el contenido de materia orgánica de los suelos afectó el aporte de nutrientes como el nitrógeno (N) y azufre (S) a los cultivos (Carciochi *et al.*, 2018; Sainz Rozas *et al.*, 2019). Para lograr un sistema de producción sustentable, el ciclo de los nutrientes debe ser lo más cerrado posible. Por ello, es necesario que las pérdidas sean minimizadas. Una estrategia utilizada por productores en varias partes del mundo es el uso de cultivos de servicio (CS) como "cultivos trampa". Los CS acumulan nutrientes en su biomasa hasta su momento de terminación y luego, a partir de la descomposición de sus residuos, los nutrientes pueden quedar disponibles para el cultivo siguiente o pasar a formar parte de la materia orgánica del suelo (Duval *et al.*, 2017). De esta forma, los CS permiten incorporar C al suelo, incrementar el potencial de rendimiento de los cultivos y mejorar la eficiencia de uso de los recursos. Según la especie, la biomasa y la estequiometría de los residuos de CS en descomposición será el aporte de nutrientes al cultivo siguiente (Duval *et al.*, 2017). Además, los CS

también pueden reducir la disponibilidad inmediata de algunos nutrientes (*i.e.*, provocando inmovilización) y perjudicar al cultivo posterior. Por otra parte, si el CS utilizado es una leguminosa, entonces también puede incrementar el contenido de N en el sistema suelo-planta a través de la fijación biológica del N (Gaskin *et al.*, 2016). En este trabajo se propone realizar una síntesis de información sobre los CS utilizados en la región pampeana argentina y describir características relacionadas a su rol como “cultivos trampa” (acumulación de biomasa aérea, concentración y acumulación de nutrientes y calidad del residuo) y discutir su implicancia en los distintos servicios ecosistémicos brindados en los agroecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se generó una base de datos a partir de datos propios y trabajos publicados en revistas y congresos nacionales e internacionales. Se buscaron a través de los buscadores online Scopus y Google Scholar trabajos que contengan las palabras clave: “Cultivos de cobertura”, “Cultivos puente verde”, “Cultivos trampa”, “Abo-nos verdes”, “Región Pampeana Argentina”, “Carbono”, “Nitrógeno”, “Fósforo”, “Azufre” y “Nutrientes”, tanto en español como inglés. También se buscaron trabajos en actas de congresos de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (a partir del año 2004 y hasta el 2020). Se incluyó en la búsqueda boletines técnicos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y tesis de grado y posgrado en repositorios digitales de distintas universidades. Se seleccionaron aquellos trabajos que cumplieron con las siguientes condiciones: 1) que haya sido realizado en condiciones de campo y especifique la especie de CS, 2) que haya una caracterización de los CS (biomasa aérea acumulada, concentración de C, N, P y/o S, relación C:N, C:P y/o C:S) y 3) que se indiquen fechas de siembra y secado de los CS.

La información fue obtenida de textos, tablas y figuras, empleando en este último caso el programa GetData Graph Digitizer versión 2.26.0.20. Se analizó la acumulación de biomasa aérea, la concentración y acumulación de C, N, P y S y las relaciones C:nutriente. Para cada variable se analizaron diferencias entre especies vegetales dentro de cada grupo de CS (gramíneas, leguminosas, crucíferas y consociaciones de especies) mediante prueba ANOVA de una vía para datos no apareados ($p < 0,05$). En caso de no haber diferencias entre especies, las mismas se agruparon y se evaluaron diferencias entre grupos mediante prueba ANOVA de una vía para datos no apareados ($p < 0,05$). Cuando hubo diferencias entre grupos de CS, se realizó la comparación de medias mediante prueba Tukey ($p < 0,05$). Para cada variable y grupo de CS analizada se realizó una descripción de los datos mediante gráficos de caja. Los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el software Graph Pad Prism 9.4.0.

Para el análisis de las variables se consideraron cinco grupos de CS: Gramíneas (sin raigrás), Raigrás (*Lolium* sp.), Vicia (*Vicia* sp.), Crucíferas y Consociadas. Dentro de las Gramíneas se encontraban el cultivo de: Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hordeum vulgare*), Trigo (*Triticum aestivum*), Centeno (*Secale cereale*) y Cebadilla (*Bromus unioloides*). Las Consociadas estaban formadas por Vicia+Avena y Vicia+Centeno. Por último, el grupo Crucíferas se conformó por datos de Colza (*Brassica napus*) y Rabanito (*Raphanus sativus*). Se seleccionó a la Vicia como única leguminosa debido a que no se encontraron datos suficientes de otras especies de la misma familia que pudieran formar parte de este grupo. El Raigrás se analizó como un grupo aparte a las gramíneas debido a que el análisis previo entre todas las especies gramíneas mostró diferencias significativas en la acumulación de biomasa aérea y C acumulado.

RESULTADOS Y DISCUSION

La biomasa aérea acumulada varió desde 400 a 13905 kg ha⁻¹ entre todos los CS evaluados (Figura 1). La mayor acumulación se observó en las Consociadas y Gramíneas, con valores medios de 6056 y 6028 kg ha⁻¹, respectivamente. Los menores valores promedio se observaron en Vicia, Raigrás y Crucíferas (3962, 3254 y 2713 kg ha⁻¹, respectivamente). Por su parte, la concentración de C en la biomasa fue similar entre todos los grupos de CS, variando desde 357,2 a 455,0 g kg⁻¹, destacándose la Vicia, las Crucíferas y las Consociadas con los menores valores promedio (404,7, 416,3 y 410,0 g kg⁻¹, respectivamente). Por su parte, los mayores valores se dieron en las Gramíneas, Raigrás y Crucíferas (424,0, 420,1 y 416,3 g kg⁻¹, respectivamente). El C acumulado en la biomasa varió desde 172 a 5611 kg ha⁻¹ y fue mayor en las Gramíneas y Consociadas (2524 y 2435 kg ha⁻¹, respectivamente). Los menores valores de C acumulado en la biomasa se observaron en la



Vicia (1638 kg ha^{-1}), las Crucíferas (1133 kg ha^{-1}) y el Raigrás (1371 kg ha^{-1}). Estos resultados nos indican que la especie o consociación de especies utilizada resulta muy importante en el balance de C de los agroecosistemas, debido a que existen diferencias entre grupos en la acumulación de biomasa aérea y C en los tejidos (Restovich *et al.*, 2012).

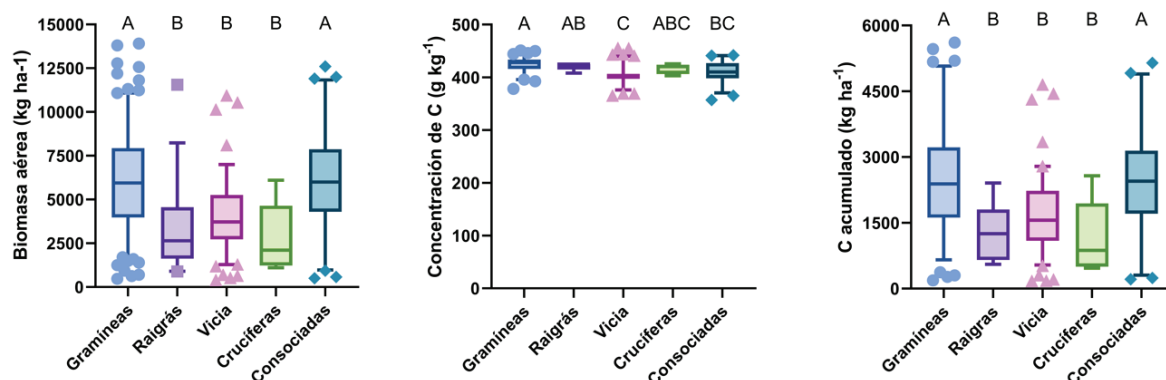


Figura 1. Biomasa aérea acumulada en Gramíneas ($n=180$), Raigrás ($n=34$), Vicia ($n=128$), Crucíferas ($n=8$) y Consociadas ($n=63$). Concentración de carbono (C) en Gramíneas ($n=97$), Raigrás ($n=11$), Vicia ($n=107$), Crucíferas ($n=8$) y Consociadas ($n=48$). Carbono acumulado en la biomasa de Gramíneas ($n=99$), Raigrás ($n=11$), Vicia ($n=107$), Crucíferas ($n=8$) y Consociadas ($n=49$). Los diagramas de caja representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior de la caja). La línea dentro de la caja representa la mediana, y los puntos son valores extremos. Letras iguales indican diferencias no significativas entre medias de grupos de cultivos de servicio para cada variable descripta.

La concentración de N, la acumulación de N y la relación C:N resultó diferente entre los grupos de CS (Figura 2). La concentración de N osciló en un rango desde 2,6 a $47,1 \text{ g kg}^{-1}$. Por su parte la acumulación de N varió entre 9,6 y $254,5 \text{ kg ha}^{-1}$ y la relación C:N presentó un mínimo de 8,6:1 y un máximo de 151,6:1. La Vicia fue el cultivo con mayor promedio de concentración ($28,9 \text{ g kg}^{-1}$) y acumulación de N ($113,3 \text{ kg ha}^{-1}$), junto con las Consociadas ($94,4 \text{ kg ha}^{-1}$); y presentó, en promedio, la menor relación C:N (15,2:1), junto con las Crucíferas (25,4:1). Las Gramíneas ($13,1 \text{ g kg}^{-1}$), Crucíferas ($18,3 \text{ g kg}^{-1}$) y Consociadas ($17,8 \text{ g kg}^{-1}$) presentaron los menores valores medios de concentración de N. La menor acumulación de N se observó en las Gramíneas ($68,5 \text{ kg ha}^{-1}$), Raigrás ($58,9 \text{ kg ha}^{-1}$) y Crucíferas ($57,0 \text{ kg ha}^{-1}$). A su vez, las Gramíneas y el Raigrás presentaron la mayor relación C:N (42,1:1 y 29,3:1, respectivamente) y las Consociadas (27,1:1) mostraron una situación intermedia entre la Vicia y las Gramíneas, sin diferenciarse del Raigrás y las Crucíferas.

En línea con lo reportado por Rimski-Korsakov *et al.* (2015), nuestros resultados confirman el potencial de los CS de actuar como cultivos trampa y evitar pérdidas de N por lavado durante el periodo invernal, especialmente en Gramíneas, Raigrás y Crucíferas, que acumularon (50% de los datos centrales) entre 35,8 a 99,5, 33,0 a 86,0 y 19,8 a $108,3 \text{ kg N ha}^{-1}$, respectivamente. Además, considerando que en promedio 60% del N de la Vicia proviene de la fijación biológica de N (Enrico *et al.*, 2020), pueden estimarse relevantes ingresos de N al sistema suelo-planta (45 a 83 kg N ha^{-1}), mientras que el 40% restante (30 a 55 kg N ha^{-1}) es N que se evita de perder por lavado, disminuyendo potencialmente el riesgo de contaminación de cuerpos de agua. Por otra parte, la relación C:N de los residuos determina su tasa de descomposición y liberación de N (Restovich *et al.*, 2012), y se ha reportado que valores superiores a 25:1 generan inmovilización de este nutriente (Sievers y Cook, 2018). Así, es esperable un aporte neto de N con Vicia e inmovilización por parte de las Gramíneas, lo cual repercute en el rendimiento y ajuste de fertilización nitrogenada del cultivo de cosecha posterior (Carciochi *et al.*, 2021). Finalmente, las altas relaciones C:N observadas en las Gramíneas, asociadas a una lenta tasa de descomposición de sus residuos, sugieren una cobertura más prolongada de la superficie del suelo, lo cual favorece el control de malezas y reduce las pérdidas de suelo por erosión y las pérdidas de agua por evaporación (Restovich *et al.*, 2012; Alfonso *et al.*, 2020).

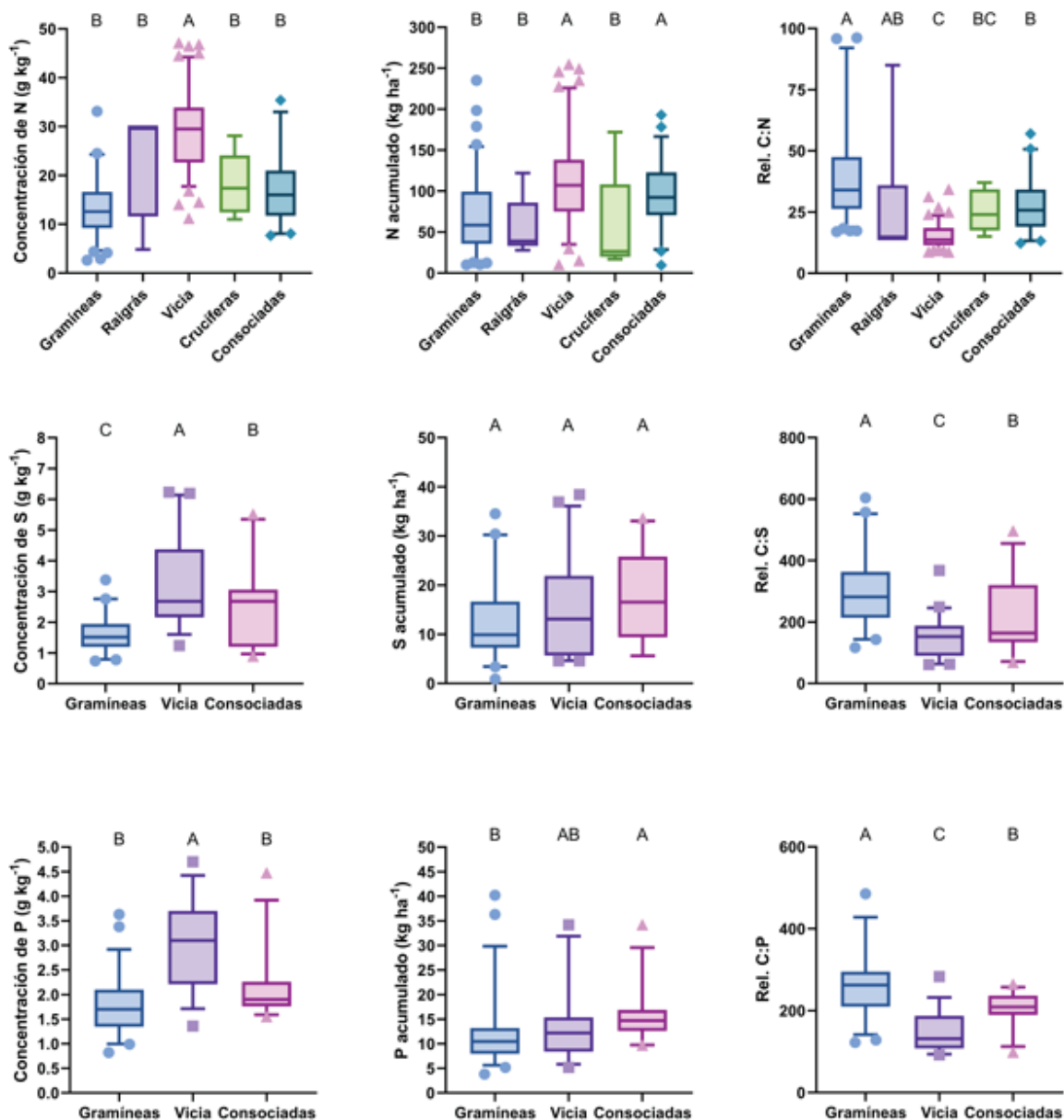


Figura 2. Concentración, acumulación de nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P) y relación C:N, C:S y C:P en Gramíneas ($n=98$; $n=40$; $n=54$), Raigrás ($n=11$), Vicia ($n=107$; $n=42$; $n=37$), Crucíferas ($n=8$) y Consociadas ($n=49$; $n=24$; $n=27$). Los diagramas de caja representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior de la caja). La línea dentro de la caja representa la mediana, y los puntos son valores extremos. Letras iguales indican diferencias no significativas entre medias de grupos de cultivos de servicio para cada variable descripta.

En cuanto al S y P, se analizaron solamente los datos de tres grupos (Gramíneas, Vicia y Consociadas; Figura 2) debido a la poca información encontrada para Raigrás y Crucíferas. La concentración de S varió desde 0,7 a 6,2 g kg^{-1} , y siguió el orden: Vicia (3,2 g kg^{-1}) > Consociadas (2,5 g kg^{-1}) > Gramíneas (1,6 g kg^{-1}). La acumulación de S fue desde 0,9 a 38,4 kg ha^{-1} , sin encontrarse diferencias entre CS. Por su parte, la relación C:S presentó un mínimo de 61,7 y un máximo de 604,1 y siguió un orden inverso al de concentración de S: Gramíneas (294,2) > Consociadas (212,4) > Vicia (151,9). La relación C:S de los tejidos en descomposición juega un rol importante en la liberación de este nutriente y en la sincronización con la demanda del cultivo siguiente (Eriksen *et al.*, 2004). Eriksen (2009) indicó que relaciones C:S < 200:1 promueven a una rápida mineralización de S. Los resultados nos indican que los CS son capaces de evitar pérdidas de S por lavado durante su ciclo de crecimiento y, principalmente en las Consociadas y la Vicia (con relación C:S < ~200:1), aportar el S acumulado al cultivo de cosecha posterior, ayudando a cerrar el ciclo del S. Sin embargo, es pro-

bable que en algunas situaciones no se llegue a aportar la dosis de S requerida en situaciones de deficiencia en los cultivos extensivos en la región pampeana ($\sim 15 \text{ kg ha}^{-1}$) (Carciochi *et al.*, 2015).

Por su parte, la concentración de P se encontró entre $0,8$ y $4,7 \text{ g kg}^{-1}$, el P acumulado varió entre $3,8$ y $40,2 \text{ kg ha}^{-1}$ y la relación C:P entre $92,0:1$ y $485,3:1$. Similar a lo observado para S, la concentración de P siguió el orden Vicia ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$) > Consociadas ($2,1 \text{ g kg}^{-1}$) > Gramíneas ($1,8 \text{ g kg}^{-1}$) y la relación C:P fue Gramíneas ($263,9:1$) > Consociadas ($199,9:1$) > Vicia ($147,0:1$). Por su parte, las Consociadas acumularon, en promedio, más P que las Gramíneas ($15,6$ vs. $11,9 \text{ kg ha}^{-1}$) y la Vicia mostró una acumulación de P intermedia ($13,6 \text{ kg ha}^{-1}$). Estos resultados indican que los CS serían una opción para reducir posibles pérdidas de P, por ejemplo por escorrentía, durante el periodo de barbecho invernal. Nuevamente, la relación C:nutriente de los CS juega un rol importante en la capacidad de suministro de P y su disponibilidad durante el ciclo del cultivo siguiente. Si el P contenido en los residuos es insuficiente para la asimilación de C por los microorganismos, habrá inmovilización neta de P. En cambio, cuando el P no es limitante para la asimilación de C, ocurre mineralización neta de P. Residuos con relación C:P inferior a $200:1$ presentan mineralización neta, superior a $300:1$ inmovilización neta y entre $200:1$ y $300:1$ los cambios en la concentración de P en solución son pequeños (Havlin *et al.*, 1999). Por lo tanto, la Vicia y las Consociadas aportarían P al cultivo siguiente. En cambio, con Gramíneas se podría observar inmovilización de este nutriente, lo que reduciría su disponibilidad para el cultivo de cosecha posterior. En casos de deficiencia de P y cuando se utilicen Gramíneas como CS, se requerirá una mayor dosis de fertilizante fosforado para contrarrestar el efecto de la inmovilización y suplir la demanda del cultivo de cosecha.

CONCLUSIONES

En base a los resultados de esta revisión, se puede decir que existen diferencias entre especies en la acumulación de biomasa aérea. A su vez, se observa gran variabilidad dentro de cada grupo, generando la necesidad de cuantificar dicho parámetro en cada situación productiva y continuar explorando los factores ambientales y genéticos que varían la estequiometría de los CS. En general, las Gramíneas y las Consociadas acumulan más biomasa aérea y aportan mayor cantidad de C que las Crucíferas, la Vicia y el Raigrás. Sin embargo, las Gramíneas acumulan menor cantidad de N y P que el resto de los grupos de CS y muestran relaciones C:N, C:S y C:P que sugieren inmovilización de estos nutrientes. Por su parte, la Vicia acumula la mayor cantidad de N y presenta relaciones C:N, C:S y C:P que indican mineralización neta de estos nutrientes. Las Crucíferas y el Raigrás acumulan tanto N como las Gramíneas pero, en el caso de las primeras, presentan una relación C:N que sugieren una mineralización neta de este nutriente. En general, las Gramíneas serían adecuadas para aportar C al sistema, pero hay que tener en cuenta la posible inmovilización de nutrientes que generen sus residuos durante el ciclo del cultivo posterior. La Vicia es ideal para incorporar N al sistema y aportar a la nutrición del cultivo siguiente, permitiendo disminuir las dosis de fertilizantes y por ende los costos de producción. Por su parte las Consociadas presentan una situación intermedia, aportando tanto C como las Gramíneas, N, S y P como la Vicia y relaciones C:nutriente favorables para la mineralización. La inclusión de CS a los agroecosistemas ayuda a cerrar los ciclos de los nutrientes al actuar como cultivos trampa. Las diferencias observadas entre grupos de CS sugieren que la adecuada selección de especies es clave para maximizar la provisión de los servicios ecosistémicos buscados (aporte de N, biomasa, rápida disponibilidad de nutrientes, entre otros).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los proyectos INTA (2019-PE-E1-I011-001); PICT (2019-00485); PI-INICIAL-2021 "Dinámica del nitrógeno en secuencias cultivos de cobertura-maíz: efecto sobre la nutrición, rendimiento y calidad del grano de maíz").

BIBLIOGRAFIA

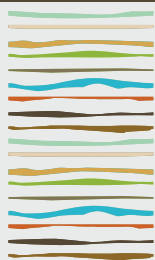
- Carciochi, W., Divito, G., Reussi, N., & Echeverría, H. (2015). Las mejores prácticas de manejo de la fertilización azufrada en cultivos extensivos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 20, 2-6.
- Carciochi, W. D., Wyngaard, N., Divito, G. A., Cabrera, M. L., Reussi Calvo, N. I., & Echeverría, H. E. (2018). A comparison of indexes to estimate corn S uptake and S mineralization in the field. *Biol. Fert. Soils*, 54 (3), 349-362.
- Carciochi, W.D., C. Crespo, M. Eliceche, and P.A. Barbieri. (2021). Nitrogen and Sulfur Recycling and Diagnostic in Cover Crop-Maize



Systems. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 21(1): 801–812.

- Duval, M. E., Galantini, J. A., Capurro, J. E., & Beltran, M. J. (2017). Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja. Repositorio digital CONICET.
- Enrico, J. M., Piccinetti, C. F., Barraco, M. R., Agosti, M. B., Ecclesia, R. P., & Salvagiotti, F. (2020). Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *European Journal of Agronomy*, 115, 126016.
- Eriksen, J., Thorup-Kristensen, K., & Askegaard, M. (2004). Plant availability of catch crop sulfur following spring incorporation. *J. Soil. Sci. Plant. Nutr.*, 167(5), 609-615.
- Gaskin, J., Cabrera, M., & Kissel, D. (2016). Predicting nitrogen release from cover crops: The cover crop nitrogen availability calculator. *University of Georgia Extension Bulletin*, 1466(10).
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. & Nelson, W. (1999). Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Pinto, P., Long, M. E. F., & Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 248, 48-57.
- Restovich, S.B., Andriulo, A.E. & Portela, S.I. (2012). Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crop. Res.*, Vol. 128, p. 62-70.
- Rimski-Korsakov, H., C.R. Alvarez, and R.S. Lavado. (2015). Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *J. Soil Water Conserv.*, 70(6): 134A-140A.
- Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Larrea, G. E., Martínez Cuesta, N., Angelini, H. P., Reussi Calvo, N. I., & Wyngaard, N. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana.
- Sievers, T., and R.L. Cook. (2018). Aboveground and Root Decomposition of Cereal Rye and Hairy Vetch Cover Crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 82: 147–155





EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOSFATADA A PARTIR DO TERMOFOSFATO NA FERTILIDADE DO SOLO EM BANANAL

Cândido, H.T.^{1,*}, M. Leonel¹, S. Leonel², R. L. Villas Boas²

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Raízes e Amidos Tropicais;

²Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

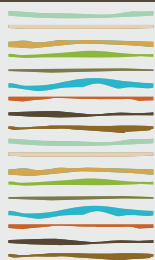
*Rodovia Alcides Soares, km 33 (CP 18610-034), Botucatu, São Paulo, hebert.candido@unesp.br

RESUMO

A bananicultura é de grande importância para o agronegócio brasileiro, com posição de destaque em área explorada, número de propriedades que exploram a cultura e produção total de cachos. O fósforo(P), no geral, é o macronutriente, que proporcionalmente à absorção, é exportado em maior quantidade pela cultura, assim, pode ser um fator limitante na produção, principalmente em solos bastantes intemperizados. Dentre as fontes de fósforo, o Brasil possui rochas fosfáticas e tecnologia para a produção nacional de termofosfato. Esse fertilizante se caracteriza por liberar o fósforo mais lentamente, possuir outros minerais em sua composição, e agir na correção da acidez do solo. Assim, o trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito da adubação fosfatada por meio do termofosfato na fertilidade do solo de um bananal. O termofosfato utilizado foi o Yoorin Master 1 (TM1) (17% P_2O_5 , Ca 18%, Mg 7%, Si 10%, B 0,1%, Mn 0,3%, Zn 0,55% e Cu 0,05%). As doses de TM1 aplicadas foram calculadas com base no teor de P_{resina} presente na camada de 0-20 cm de profundidade. O tratamento testemunha foi a dose de P_2O_5 recomendada em boletim técnico, os outros tratamentos se constituíram no fracionamento da dose testemunha: 25%, 50%, 75%, 125% e 150%. Os tratamentos foram aplicados nas adubações de plantio (2019), formação (2020) e produção de 2020/21 e 2021/22. De acordo com as recomendações, o total de TM1 recomendado (testemunha) para cada adubação foi de 470 kg ha⁻¹ (plantio+formação), 470 kg ha⁻¹ (produção 2020/21) e 294 kg ha⁻¹ (2021/22). O experimento foi montado em blocos casualizados (cinco blocos), com seis bananeiras cv. BRS SCS Belluna (AAA) por parcela. A coleta de solo para avaliação final foi realizada na linha de adubação e quatro meses após a última aplicação 2021/22. Foram coletadas 5 amostras (0-20cm profundidade) por parcela. Os dados foram analisados por meio de Regressão e Correlação de Pearson. As curvas foram crescentes para pH ($R^2=0,7985$), fósforo ($R^2=0,9358$), cálcio ($R^2=0,8012$), magnésio ($R^2=0,9177$) e silício ($R^2=0,6192$), e decrescente para $H+Al^{3+}$ ($R^2=0,9342$). Além disso, foram observadas correlações positivas entre o teor de fósforo no solo e os minerais presentes em maiores quantidades no fertilizante: $Ca_{\text{(resina)}}$ (0,477, $p<0,01$), $Mg_{\text{(resina)}}$ (0,487, $p<0,01$) e $Si_{\text{(CaCl}_2\text{)}}$ (0,569, $p\leq 0,001$). A única correlação entre os principais minerais e micronutrientes presentes na fonte (P, Ca, Mg, Si x B, Cu, Zn e Mn) foi entre Ca e $Cu_{\text{(DTPA)}}$ (-0,400, $p<0,05$). Além disso, dentre as principais correlações com P, têm-se o $pH_{\text{(CaCl}_2\text{)}}$ (0,524, $p<0,01$), $Al^{3+}_{\text{(KCl)}}$ (-0,380, $p<0,05$), soma de bases (0,531, $p<0,01$), capacidade de troca catiônica (C.T.C) (0,583, $p\leq 0,001$), saturação por bases (0,427, $p<0,05$), Al^{3+} na capacidade de troca efetiva (-402, $p<0,05$) e Al^{3+} na C.T.C (-0,388, $p<0,05$). As regressões e as correlações positivas entre o P e os minerais Ca, Mg e Si, mostram que a fonte utilizada contribuiu com o aumento nos teores desses minerais no solo. A correlação positiva entre o P e a química do solo mostra que o termofosfato pode contribuir com a fertilidade do solo em bananal.

Palavras chave: termofosfato, *Musa* spp., fertilidade do solo.





ADUBAÇÃO FOSFATADA VIA TERMOFOSFATO NA BANANEIRA BRS SCS BELLUNA EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO

Cândido, H.T.^{1*}, P. R. R. Jesus², L. F. Ouros¹, M. Izidoro³, N. A. Lossolli¹, N. Z. Molha², V. M. Domiciano², M. Leonel¹

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Raízes e Amidos Tropicais;

²Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP);

³Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

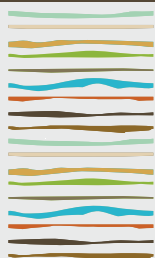
*Rodovia Alcides Soares, km 33 (CP 18610-034), Botucatu, São Paulo, hebert.candido@unesp.br

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de bananas, e o estado de São Paulo apresenta a maior produção. Os cultivares do subgrupo Prata e *Cavendish* dominam a produção brasileira de bananas. Novos cultivares de banana são lançados periodicamente para fazer frente às principais pragas e doenças e melhorar qualidades nutricionais e sensoriais. Os boletins de adubação trazem, normalmente, uma recomendação geral para a adubação de bananeiras, porém, diferentes genótipos podem apresentar diferentes exigências nutricionais. Dentre os nutrientes, o teor de fósforo no solo é um fator limitante para culturas agrícolas. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada por meio do termofosfato aplicado em condições de sequeiro na bananeira BRS SCS Belluna (AAA), cultivar lançado em 2016 pela Embrapa em parceria com a Epagri. O termofosfato utilizado foi o Yoorin Master 1 (17% P_2O_5). As doses de termofosfato aplicadas foram calculadas com base no teor de P_{resina} presente na camada de 0-20 cm de profundidade. O tratamento testemunha (Ta) foi a dose de P_2O_5 recomendada para a cultura no estado de São Paulo segundo boletim técnico (Boletim 200). Os outros tratamentos se constituíram no fracionamento de P_2O_5 em relação a testemunha: 25%, 50%, 75%, 125% e 150%. Os tratamentos foram aplicados nas adubações de plantio (2019), formação (2020) e produção (2020/21 e 2021/22). O experimento foi conduzido no município de São Manuel, São Paulo, delineado em blocos casualizados (cinco blocos) com seis bananeiras por parcela e densidade de plantio de 2000 plantas hectare⁻¹. Foram analisadas medidas de biometria e massa de matéria fresca (MF) da parte aérea das bananeiras, que foram obtidas no momento da colheita do primeiro ciclo (ciclos subsequentes ainda não foram finalizados), exceto o coração (botão floral) que foi avaliado após a emissão da última penca. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste Scott Knott a 5% de significância. Os tratamentos 75%, Ta e 125% apresentaram os maiores valores para MF do cacho ($p=0,0104$; CV 8,9%), MF do pseudocaule ($p=0,0056$; 8,8%), MF total da parte aérea ($p=0,0038$; CV 8,2%) e maior comprimento do pseudocaule ($p=0,0202$; CV 5,8%). O número de folhas fotossinteticamente ativas foi maior nos tratamentos 75% e Ta ($p=0,0491$; CV 10,6%), porém a MF das folhas foi maior em Ta ($p=0,0107$; CV 14,1%). A circunferência do pseudocaule ($p=0,1147$; CV 8,4%), a MF do coração ($p=0,3359$; CV 10,1%) e o número de frutos por cacho ($p=0,0624$; CV 9,7%) não foram afetados pelos tratamentos. O tratamento 75% só diferiu da testemunha em uma das variáveis analisadas. A aplicação de 75% do P_2O_5 (via termofosfato) recomendado para a cultura segundo o boletim de referência para o estado de São Paulo, proporcionou uma redução nos custos com a adubação, sem, no entanto, causar prejuízos no vigor e produtividade das bananeiras BRS SCS Belluna em seu primeiro ciclo.

Palavras chave: adubação, fósforo, *Musa* spp.





MATERIA ORGÁNICA Y SU RELACIÓN CON LA IMPLANTACIÓN DE *NELTUMA ALBA*

CANO, N. I.^{1,2}, V. A. Franco^{1,2}, S. Jaime¹, E. Santander¹, C. López Fernández³, J. E. Baridón⁴

¹ Facultad de Recursos Naturales- Universidad Nacional de Formosa; nellycano1079@gmail.com.

² Subsecretaría de Producción Sustentable- Ministerio de la Producción y Ambiente de la Provincia de Formosa; José María Uriburu, 1505- Prov. de Formosa.

³ Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional del Nordeste – INTA Corrientes.

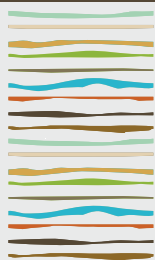
⁴ Centro de Validación de Tecnologías Agropecuarias (CEDEVA)- Provincia de Formosa.

RESUMEN

Los estudios de la materia orgánica del suelo (MOS), su dinámica frente a diferentes usos, con énfasis en la inclusión de especies leguminosas, y la correlación con propiedades físicas y químicas del suelo, constituyen un aporte de información básica. El presente trabajo corresponde a resultados parciales de un proyecto de tesis doctoral, en la cual se realizan análisis físico-químicos en diferentes usos de suelo con el objetivo principal de establecer la relación entre los usos con la cantidad y calidad de la materia orgánica. El área de estudio se encuentra ubicada en la zona Noreste de la Provincia de Formosa, localidad de Buena Vista, departamento Pilagás (Lat. S 25°02'44"; Long. W 58°23'26"). La misma está incluida en la Región fitogeográfica del Parque Chaqueño húmedo denominada Sub-Tropical Norte, los suelos presentan un material franco limoso en superficie a franco arenoso en profundidad. Se trabajó con 3 usos de suelo, con 5 repeticiones: 1- Monte nativo (MN- testigo); 2- Agricultura convencional (AC): lotes con más de 30 años de monocultivo de algodón y posterior siembra de maíz; 3- Plantación de *Neltuma alba* (NA- algarrobo blanco): con más de 18 años implantados en suelos provenientes de monocultivo de algodón. El muestreo de suelos se realizó según un diseño en bloques completos al azar. Las hipótesis planteadas fueron: a- El uso de los suelos en la zona de estudio determina la cantidad de la MOS. b- Diferencias en el contenido de MOS se asocian a diferencias físico - químicas en la capa superficial del suelo. c- La inclusión de algarrobo blanco (*Neltuma alba*), contribuye a restaurar propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos degradados luego de 30 años de producción bajo un sistema de labranza convencional. Se tomaron muestras compuestas de 0- 5; 5- 15 y 15- 25 cm de profundidad. Se determinó: densidad aparente (Dap- método del cilindro), pH (método potenciométrico), CE (extracto de saturación), MOS (Walkley y Black). Los valores de Dap obtenidos muestran que no existen diferencias entre los usos ($p > 0,05$). La CE señala que no existen diferencias significativas en las distintas profundidades; contrariamente a lo obtenido en los diferentes usos, en los cuales, si existen diferencias, con mayor valor en AC respecto MN y NA ($p < 0,05$). En lo que respecta a la MOS, se encuentran mayores valores sin diferencias en las profundidades de 0- 5 y 5- 15, con diferencias significativas (0- 5/ 5- 15) respecto de 15- 25 cm; así también frente a los usos de suelo, se encuentran diferencias ($p < 0,05$) para la AC respecto de NA y MN, siendo mayores en éstos dos últimos, sin diferencia significativa entre ellos. Los resultados obtenidos demuestran que las plantaciones de NA en lotes agotados, provenientes de más de 30 años de cultivo, sin ningún tipo de manejo, con labranza convencional (inversión del pan del suelo, sin coberturas) logran mejorar parámetros físico- químicos:

Palabras clave: materia orgánica, *Neltuma alba*, cambio de uso de suelo





ÉPOCA DE APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO-COMUM CULTIVADO IRRIGADO NO CERRADO BRASILEIRO

Carmo, R.T.^{1,*}, J.A.V. Jardim², R.A. Flores³, N.P.R. Reges¹, M.F.N. Xavier¹, F.S.R. de Lima¹, M.L. Lima⁴, Sousa, R.G.²

¹ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil;

² Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Brasil;

³ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

*Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74690-900, riandracarmo99@gmail.com

RESUMO

O feijoeiro comum é uma das espécies leguminosas mais produzidas e consumidas no mundo, sendo de grande importância socioeconômica na agricultura familiar e de subsistência. O silício é considerado indutor de resistência a estresses bióticos e abióticos em lavouras em regiões tropicais, promovendo melhoria nos rendimentos e qualidade nutricional das plantas. Diante disso, este trabalho teve como intuito, avaliar o efeito da época de aplicação de silicato de potássio no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em sistema irrigado. Foram utilizadas doses crescentes de silicato de potássio, aplicado em diferentes épocas de aplicação. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, composto por oito tratamentos e cinco repetições, sendo T0 (controle absoluto, sem adubação foliar), T1 (sem pulverização de Si, porém equilibrada com KCl), T2 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4), T3 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4 e R5), T4 (100 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7), T5 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4), T6 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, e R5) e T7 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7). As variáveis analisadas foram: teores nutricionais (macro e micronutriente) e de silício nas folhas, índice relativo de clorofila, teor de clorofila, teor de antocianina, teor de flavonóis, índice de balanço de nitrogênio e produtividade. Os parâmetros metabólicos não são influenciados pela aplicação foliar de Si. A aplicação foliar de 100 g ha⁻¹ de Si somente em V4 aumenta a produtividade de grãos do feijoeiro-comum, demanda menor investimento em pulverizações, sendo a mais indicada para a produção da cultura cultivada nas mesmas condições do presente estudo.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris* L.; mitigação de estresses abióticos; silicato de potássio.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das espécies leguminosas mais produzidas e consumidas no mundo, com grande importância socioeconômica na agricultura familiar e de subsistência (Faostat, 2019). O Brasil se destaca atualmente como um dos maiores produtores mundiais de feijão comum, com uma produção estimada de 269,3 milhões de toneladas na safra 2021/22, o que representa um aumento de 5,4% em relação à safra 2020/21 (Conab, 2022).

Um dos principais fatores responsáveis pelo excepcional desempenho agrícola da região do Cerrado, são as tecnologias empregadas, que permitiram a utilização de solos altamente intemperizados, ácidos e pobres em elementos essenciais, além do silício (Si), que é considerado um elemento benéfico às plantas (Sousa & Lobato, 2004). O fornecimento do Si nesses solos tem importante papel nas atividades agrícolas praticadas nas regiões de Cerrado, uma vez que, considerando os inúmeros benefícios do silício às plantas, temos: au-



mento na produtividade, maior resistência ao ataque de pragas e doenças, ao excesso de nutrientes e metais potencialmente tóxicos, além da resistência à deficiência hídrica (Flores et al., 2016). Ademais, de acordo com Flores et al. (2016), dentre as principais fontes de silício às plantas estão o próprio solo, o silicato de magnésio (serpentinitos), silicato de cálcio, silicato de potássio e a nanosilica.

Dessa forma, é necessário informações confiáveis sobre o efeito dessas fontes sobre as culturas no campo a fim de decidir qual melhor fonte silicatada utilizar. À vista disso, o estudo da cultura do feijoeiro comum aliado a nutrição mineral de plantas poderá proporcionar altas produtividades, com a utilização de silício na agricultura de forma relevante para os estudos agrônômicos. Diante disso, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação foliar de silício na produção de grãos do feijoeiro-comum cultivado em sistema irrigado na região do Cerrado brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°35'48" S e 49°16'63" O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018), sob sistema de irrigação por aspersão em pivô central. O período de condução do estudo foi durante a safra de inverno, caracterizado como seco, como clima Aw (mega termal) de acordo com o Sistema de Classificação Climática de Koopen (Alvares et al., 2013). O solo da área é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distroférrico de acordo com Santos et al. (2018). Para fins de caracterização e análise da fertilidade atual, foi realizada a amostragem de solo segundo as recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), e análise química seguindo metodologia proposta por (Silva, 2009) e, análise granulométrica conforme (Teixeira et al., 2017), na profundidade de 0,0-0,20 m, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo, na camada de 0 a 0,20 m antes da instalação do experimento. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Profundidade (m)	Argila	Areia	Silte	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	pH
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg dm ⁻³ -----			g kg ⁻¹	(CaCl ₂)
0,0 – 0,20	340	580	80	2,0	34,0	37,0	3,1	3,5	5,0
Profundidade (m)	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
	mg dm ⁻³				-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----%	
0,0 – 0,20	9,9	98,0	2,7	1,0	3,1	0,0	7,0	0,0	55,7

M.O.: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; M% e V%: Saturação por alumínio e por bases.

Para o plantio, o solo foi preparado conforme sistema de semeadura direta na palha. As adubação de plantio foi realizada conforme a indicação para a cultura com base na análise química inicial, de acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004), sendo: 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e, 70 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCL). Aos 25 dias após a emergência, foram realizadas as adubações de cobertura com N, nas quantidades de 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. O experimento foi instalado no campo com a cultivar BRS Estilo, com 90% de germinação e as sementes tratadas com inseticida Standak Top (200 mL de calda para 100 kg de sementes).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, composto por oito tratamentos, sendo T0 (controle absoluto, sem adubação foliar), T1 (sem pulverização de Si, porém equilibrada com KCl), T2 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4), T3 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4 e R5), T4 (100 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7), T5 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4), T6 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, e R5) e T7 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7). A adubação foliar contendo silício foi realizada com o uso da fonte de silicato de potássio (Si = 168 g L⁻¹; K₂O = 210 g L⁻¹; pH = 10,96; densidade = 1,40 g L⁻¹; CE = 2,93 mS cm⁻¹). Nos tratamentos de T1 a T7, foram realizadas pulverizações de equilíbrio das concentrações de potássio (K), na forma de cloreto de potássio, para eliminar o efeito deste elemento na solução. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, e cada unidade experimental com cinco linhas de 5 m, espaçadas a 0,45 m, totalizando em 11,25 m².



As avaliações fisiológicas das plantas de feijão foram realizadas no início do florescimento, por meio da amostragem foliar (folha diagnóstico +3: primeira folha amadurecida a partir da ponta da haste principal) em cada unidade experimental, segundo procedimentos proposto por Oliveira (2004). Em seguida, foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas (NuPlant) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e analisados os teores de macro e micronutriente conforme métodos propostos por Silva (2009) e os teores de silício por metodologia proposta por Kraska & Breitenbeck (2010). No mesmo momento, foram realizadas as avaliações do índice relativo de clorofila (IRC) e dos índices fisiológicos com o Dualex (teor de clorofila - CHL, teor de antocianina - ANTH, teor de flavonóis - FLAV e índice de balanço de nitrogênio - IBN).

Para a avaliação da produtividade realizou-se a colheita manual das unidades experimentais considerando as três linhas centrais, descartando-se os 0,5 metros de cada extremidade, para efeito de bordadura, totalizando 5,4 m² colhidos por parcela, sendo posteriormente transformados para kg ha⁻¹, com umidade corrigida para 14%.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o software estatístico AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os teores dos macronutrientes (N, K, S, Mg) e dos micronutrientes (B, Fe, Cu, Zn, Mn) não foram observados efeitos significativos em função da aplicação foliar de silício na cultura do feijoeiro comum (Tabela 2 e 3). Somente na aplicação de Si na concentração de 200 g ha⁻¹ em V4, R5 e R7 (T7) que o teor de P nas folhas do feijoeiro aumentou em comparação ao fornecimento dessa mesma dose de Si em V4 e R5 (T6) e do não fornecimento de Si foliar (T0 e T1). Entretanto, estratégias de aplicação foliar de Si que aumentem o acúmulo de nutrientes, como o observado para o P neste estudo devem vir acompanhadas de economicidade na operação de aplicação de fertilizantes, bem como impactar o mínimo possível a estrutura física do solo pelo fluxo de máquinas para a operação de aplicação. Assim, mesmo que os resultados deste estudo indiquem incremento no teor de P em virtude do aumento de entradas na área para aplicação de Si (T7) os ganhos em produtividade e no acúmulo de Ca não seguiram essa tendência (Tabela 2), alcançando maiores resultados no tratamento T2 e T7, e T3 respectivamente. Diante disso estratégias que minimizem o fluxo de maquinários na área e promovam ganhos de produtividade são preferíveis, como observado para a aplicação de 100 g ha⁻¹ de Si em V4 (T2).

Tabela 2. Teores de macronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
T0	46,84	1,00 c	24,20	16,35 ab	4,37	4,04
T1	48,87	1,22 bc	24,30	14,98 ab	4,18	4,55
T2	49,85	1,40 abc	24,08	14,15 b	4,16	4,82
T3	47,14	1,39 abc	27,40	16,98 a	4,11	4,77
T4	47,74	1,43 abc	27,80	14,93 ab	4,02	4,85
T5	47,32	1,53 ab	23,80	15,95 ab	4,06	4,54
T6	48,35	1,23 bc	26,40	16,00 ab	4,32	4,66
T7	44,60	1,77 a	26,50	16,53 ab	4,17	4,86
F	1,49 ^{ns}	5,08**	2,41 ^{ns}	2,59*	1,15 ^{ns}	1,26 ^{ns}
Média Geral	47,59	1,37	25,56	15,73	4,17	4,64
CV	5,38	14,93	8,25	7,55	5,42	10,54

** , * , ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

T0 (controle absoluto, sem adubação foliar), T1 (sem pulverização de Si, porém equilibrada com KCl), T2 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4), T3 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4 e R5), T4 (100 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7), T5 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4), T6 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, e R5) e T7 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7).



Tabela 3. Teores de micronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
T0	24,65	12,18	115,90	127,95	45,32
T1	24,15	12,83	122,43	123,71	47,23
T2	24,02	11,43	103,09	122,81	47,49
T3	25,51	11,29	123,85	125,95	42,97
T4	25,99	11,37	85,37	137,53	42,66
T5	22,75	11,95	100,92	146,69	44,45
T6	24,77	12,00	106,68	138,72	47,57
T7	24,46	13,12	112,50	139,30	45,01
F	0,50 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,64 ^{ns}
Média Geral	24,16	12,02	108,84	132,83	45,33
CV	16,55	15,27	18,82	11,92	6,75

**, *, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

T0 (controle absoluto, sem adubação foliar), T1 (sem pulverização de Si, porém equilibrada com KCl), T2 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4), T3 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4 e R5), T4 (100 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7), T5 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4), T6 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, e R5) e T7 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7).

Os parâmetros metabólicos do feijoeiro-comum (IRC, NBI, CHL, FLAV e ANTH) não foram influenciados pela aplicação foliar de silicato. De modo geral, essas variáveis apresentaram baixa variabilidade (CV < 20%), com exceção para o parâmetro ANTH que variou amplamente (CV > 41,1) nas condições experimentais (Tabela 4). O teor de Si foliar diferiu entre os manejos de aplicação de silicato de potássio adotados neste estudo, assim como a produtividade (Tabela 4). Observou-se maior acúmulo de Si nas folhas quando as aplicações ocorreram em V4, R5 e R7 (T7) e em V4 e R5 (T6) em comparação aos demais tratamentos (Tabela 4). Isso era esperado, pois nestes tratamentos foi fornecido pelo menos, duas vezes mais, a quantidade de Si em pelo menos duas aplicações, que os demais tratamentos. Essas condições possivelmente promoveram maiores acúmulos deste elemento nas folhas. Já para a produtividade observou que na aplicação de 100 kg ha⁻¹ em V4 obteve maior valores.

Tabela 4. Índice relativo de clorofila (IRC), índice balanceado de nitrogênio (NBI), índices de antocianina (ANTH), flavonóis (FLAV), clorofila (CHL), teor de Si e produtividade de grãos de feijão cultivados em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	IRC	NBI	ANTH	FLAV	CHL	Si g kg ⁻¹	Produção kg ha ⁻¹
T0	20,34	6,89	0,31	3,86	26,39	0,67 b	2529,00 c
T1	22,29	8,64	0,49	3,82	28,03	0,67 b	2760,75 bc
T2	22,99	7,09	0,34	3,43	23,74	0,84b	3467,75 a
T3	22,89	8,16	0,31	3,78	27,83	0,85 b	3169,75 ab
T4	20,77	7,00	0,34	3,48	25,11	0,86 b	2773,50 bc
T5	22,27	7,66	0,28	3,50	26,08	0,88 b	3014,25 abc
T6	22,74	8,32	0,30	3,52	26,76	1,65 a	2959,00 abc
T7	21,71	8,72	0,33	3,17	26,14	1,66 a	3402,50 a
F	0,87 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,65 ^{ns}	73,95 ^{**}	8,80 ^{**}
Média Geral	22,00	7,80	0,34	3,57	26,26	1,01	3009,56
CV	9,63	14,78	41,11	8,87	13,16	9,33	7,29

^{**}, ^{*}, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. T0 (controle absoluto, sem adubação foliar), T1 (sem pulverização de Si, porém equilibrada com KCl), T2 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4), T3 (100 g de Si ha⁻¹ aplicado em V4 e R5), T4 (100 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7), T5 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4), T6 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, e R5) e T7 (200 g de Si ha⁻¹ aplicados em V4, R5 e R7).

Munaretto (2015) observou que após a aplicação de silício, em relação ao teor de antocianinas totais, houve efeito significativo para cultivar de morango e apenas a variável antocianina diferiu estatisticamente em relação as doses de silício aplicadas. Semelhantemente, Fernandes (2008) em seu estudo com a persistência da palhada de plantas de cobertura em função de doses de silício e resposta do feijoeiro em sucessão, não observou efeitos significativos dos teores dos macronutrientes e micronutrientes para proporções de silicato. Dados obtidos por Korndörfer et al. (2003) indica que, quanto mais silício a planta absorver, maiores serão os seus benefícios. Crusciol et al. (2013), avaliando o efeito da aplicação de Si via foliar nos estádios V4, R1, R3 e R5, verificaram aumento do número de vagens e produtividade de grãos de soja, da ordem de 15% e 9,6%, respectivamente. Lima et al. (2010), observaram-se diferenças significativas para os teores de P, S, Zn e Ca. Esses nutrientes aumentaram nas folhas de soja apenas com a adição do silício à solução nutritiva, mesmo não tendo sido adicionado, de forma diferenciada nenhum deles na solução. De acordo com Crusciol et al. (2013), a aplicação de Si via foliar elevou o número de vagens por planta em relação ao controle, evidenciando o efeito benéfico da aplicação foliar de Si (ácido silícico estabilizado) nas épocas empregadas, o que culminou na elevação da produtividade de grãos de feijão. O aumento foi de aproximadamente 290 kg ha⁻¹, ou seja, 15%.

CONCLUSÕES

A aplicação foliar contendo silício não alterou os índices fisiológicos das plantas, no entanto, há incremento nos teores de Si das plantas, sendo que a pulverização de 100 g ha⁻¹ de Si em V4 foi capaz de promover os maiores rendimentos produtivos de grãos do feijoeiro comum cultivado em sistema irrigado em condições edafoclimáticas de Cerrado brasileiro.

BIBLIOGRAFIA

- Alvares, CA; JL Stape; PC Sentelhas; JLM Gonçalves & G Sparovek. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711-728.
- Barbosa, JC & W Maldonado Junior. 2015. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396 p.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO.



Revista Brasileira de Meteorologia, 33(2):247–256.

Conab. Companhia Nacional do Abastecimento. 2022. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 9 - Safra 2021/22 N.5 - **Quinto levantamento**, Brasília: Conab. p.1-102.

Crusciol, CAC; RP Soratto & GSA Castro. 2013. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.404–410.

Faostat. 2019. **Organização da Alimentação e Agricultura das Nações Unidas** (FAO). Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/>>. Acesso em: 2 ago. 2022.

Fernandes, FA. 2008. **Persistência de palhada de plantas de cobertura em função de doses de silício e resposta do feijoeiro em sucessão**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura), UNESP.

Flores, RA & PP da Cunha. 2016. **Práticas de manejo do solo para adequada Nutrição de Plantas no Cerrado**. 1. ed. Goiânia: CEGRAF. 503p.

Korndörfer, GH; HS Pereira & MS Camargo. 2003. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU. 53p. (Boletim técnico, 1).

Kraska, JE & GA Breitenbeck. 2010. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 41:2075–2085.

Lima, LM; EA Pozza; AAA Pozza; TAPS Fonseca & JG Carvalho. 2010. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, 36(1):51–56.

Munaretto, LM. 2015. **Qualidade e compostos bioativos de amora-preta e morango tratados em pré-colheita com silício e submetidos à armazenagem refrigerada**. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Agronomia), Universidade Estadual do Centro-Oeste.

Oliveira, SA. 2004. Análise foliar. In: Sousa, DMG & E Lobato. (eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.245-256

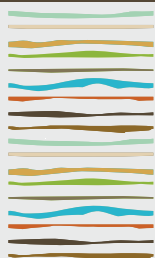
Santos, HG; P Jacomine; LHC dos Anjos; V de Oliveira; JF Lumberreras; MR Coelho & TJF Cunha. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5.ed.rev.ampl. Brasília: Embrapa, 356p.

Silva, FC. 2009. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. (2ed.), Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 627p.

Sousa, DMG & E Lobato. 2004. **Cerrado: correção e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 416 p.

Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3.ed.). Brasília: Embrapa. 573 p.





APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO NA PRODUÇÃO DE GRÃOS DO FEIJÃO-COMUM IRRIGADO NO CERRADO BRASILEIRO

Carmo, R.T.^{1,*}, T.S. Canedo², R.A. Flores³, N.P.R. Reges¹, M.F.N. Xavier¹, F.S.R. de Lima¹, M.L. Lima⁴, Sousa, R.G.²

¹ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil;

² Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Brasil;

³ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

*Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74690-900, riandracarmo99@gmail.com

RESUMO

O feijão-comum é considerado uma das leguminosas mais importantes para o consumo humano, principalmente por seu elevado teor de proteínas, fibras, carboidratos, vitaminas e minerais. O silício é considerado um elemento benéfico às plantas, por atenuar alguns estresses bióticos e abióticos. Diante disso, este estudo avaliou a aplicação de doses de silicato de potássio e cobre como fontes de silício (Si) na produção de feijão-comum em sistema irrigado por pivô central. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, composto por cinco doses de Si (0, 300, 600, 900 e 1200 g de Si ha⁻¹) aplicados na forma de silicato de potássio e cobre alcalino, estabilizado com sorbitol (10%). As adubações foliares contendo Si foram divididas em três pulverizações, foram cinco tratamentos mais o adicional, em que: T0: sem pulverização; T1: 0 de silício; T2: 300 g ha⁻¹ de Si; T3: 600 g ha⁻¹ de Si; T4: 900 g ha⁻¹ de Si e T5: 1200 g ha⁻¹ de Si. Foram feitas as avaliações dos teores nutricionais e de silício nas folhas, juntamente com o índice relativo de clorofila (IRC), índice balanceado de nitrogênio (NBI), teor de clorofila (CHL), flavonóis (FLAV), antocianinas (ANTH) e produtividade. A aplicação foliar de 600 g ha⁻¹ de Si para a produção de grãos do feijoeiro comum cultivado em sistema irrigado no cerrado brasileiro surge como uma alternativa viável para o sistema de produção da cultura, sendo capaz de promover um incremento na produtividade de grãos de até 22% em relação aos tratamentos que não receberam adubação foliar contendo Si.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris* L.; mitigação de estresses abióticos; silicato de potássio.

INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é reconhecido como uma das leguminosas mais importantes para o consumo humano, principalmente por seu elevado teor de proteínas (20 a 25%). Além disso, é rico em fibras, carboidratos e minerais como Ferro (Fe) e Zinco (Zn), contém vitaminas do complexo B e elevadas quantidades de compostos fenólicos com atividade antioxidante (Mesquita et al., 2007).

O silício (Si) é considerado um elemento benéfico às plantas, por atenuar alguns estresses bióticos e abióticos (Ma & Yamaji, 2006). Ainda, contribui para o crescimento e a produção de diversas maneiras: melhorando condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis, colaborando diretamente para a nutrição e aumentando a resistência de pragas e doenças (Malavolta, 2006). O efeito do silício como mitigador de deficiência nutricional tem sido pronunciado em plantas com deficiência de Fe (Pavlovic et al., 2013).

O fornecimento de Si via radicular, promoveu a remobilização do Fe presente no apoplasto radicular para a



parte aérea da planta, diminuindo, assim, o efeito da deficiência de Fe (Bityutskii et al., 2014). Assim, as aplicações de silício podem ocorrer de distintas formas, onde serão aproveitadas pelas plantas para enrijecer a parede celular, como forma mecânica e barreira física de defesa (Camargo et al., 2011). A sua fonte mais utilizada para aplicação foliar tem sido o silicato de potássio (Zanão Junior et al., 2009).

Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação foliar contendo silício na produção de grãos do feijoeiro-comum cultivado em sistema irrigado em condições edafoclimáticas de Cerrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°35'48" S e 49°16'63" O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018), sob sistema de irrigação por aspersão em pivô central. O período de condução do estudo foi durante a safra de inverno, caracterizado como seco, como clima Aw (mega termal) de acordo com o Sistema de Classificação Climática de Koopen (Alvares et al., 2013).

O solo da área é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distroférico de acordo com Santos et al. (2018). Para fins de caracterização e análise da fertilidade atual, foi realizada a amostragem de solo segundo as recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), análise química seguindo metodologia proposta por Silva (2009) e, análise granulométrica conforme Teixeira et al. (2017), na profundidade de 0,0-0,20 m, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo, na camada de 0 a 0,20 m antes da instalação do experimento. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Profundidade (m)	Argila	Areia	Silte	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	pH
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹	(CaCl ₂)
0,0 – 0,20	340	580	80	2,0	34,0	37,0	3,1	3,5	5,0
Profundidade (m)	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
	mg dm ⁻³			-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----%	-----
0,0 – 0,20	9,9	98,0	2,7	1,0	3,1	0,0	7,0	0,0	55,7

M.O.: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; M% e V%: Saturação por alumínio e por bases.

Para o plantio, o solo foi preparado conforme sistema de semeadura direta na palha. As adubação de plantio foi realizada conforme a indicação para a cultura com base na análise química inicial, conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004), sendo: 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e, 70 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCL). Aos 25 dias após a emergência, foram realizadas as adubações de cobertura com N, nas quantidades de 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. O experimento foi instalado no campo com a cultivar BRS Estilo, com 90% de germinação e as sementes tratadas com inseticida Standak Top (200 mL de calda para 100 kg de sementes).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, composto por cinco doses de Si (0, 300, 600, 900 e 1200 g de Si ha⁻¹) aplicados na forma de silicato de potássio e cobre alcalino, estabilizado com sorbitol (10%) (Si = 107 g L⁻¹; K₂O = 35,7 g L⁻¹; Cu = 14,9 g L⁻¹; pH = 11,5). Em cada tratamento contendo Si, foram equilibradas as concentrações de potássio (K) e cobre (Cu), na forma de cloreto de potássio e óxido de cobre, para eliminar o efeito destes nutrientes na solução. As adubações foliares contendo Si foram divididas em três pulverizações, nos estágios V4, R5 e R7, utilizou-se também o tratamento adicional. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, e cada unidade experimental com cinco linhas de 5 m, espaçadas a 0,45 m, totalizando 11,25 m².

As avaliações fisiológicas das plantas de feijão foram realizadas no início do florescimento, por meio da amostragem foliar (folha diagnóstico +3: primeira folha amadurecida a partir da ponta da haste principal)



em cada unidade experimental (Oliveira, 2004). Em seguida, foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas (NuPlant) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e analisados os teores de macro e micronutriente conforme métodos propostos por Silva (2009) e os teores de silício por metodologia proposta por Kraska & Breitenbeck (2010). No mesmo momento, foram realizadas as avaliações do índice relativo de clorofila (IRC) e dos índices fisiológicos com o Dualex (teor de clorofila - CHL, teor de antocianina - ANTH, teor de flavonóis - FLAV e índice de balanço de nitrogênio - IBN).

Para a avaliação da produtividade realizou-se a colheita manual das unidades experimentais considerando as três linhas centrais, descartando-se os 0,5 metros de cada extremidade, para efeito de bordadura, totalizando 5,4 m² colhidos por parcela, sendo posteriormente transformados para kg ha⁻¹, com umidade corrigida para 14%.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o software estatístico AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar o efeito da aplicação de silício nas plantas, houveram efeitos significativos apenas para os teores nutricionais de K (potássio), Cu, Zn, Si e para a produtividade de grãos do feijoeiro comum cultivado irrigado no Cerrado (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2. Teores de macronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Dose de Si g ha⁻¹						
0	45,49	3,41	17,90 b	16,55	4,03	1,00
300	46,59	3,43	18,10 b	16,85	4,25	1,03
600	44,94	3,60	20,30 ab	17,13	4,17	1,05
900	44,96	3,52	22,50 a	17,68	4,19	1,04
1200	45,36	3,26	19,00 b	18,48	4,15	0,90
F	0,77 ^{ns}	1,09 ^{ns}	6,04 ^{**}	1,15 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Média Geral	45,47	3,44	19,56	17,36	4,16	1,00
CV	3,35	7,16	7,89	7,91	5,26	10,39

^{**}, ^{*}, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Ao realizar o estudo da regressão para os dados significativos, observa-se pontos de máximos teores de K (20,8 g kg⁻¹), Cu (25,0 mg kg⁻¹), Zn (43,9 mg kg⁻¹) e Si (1,54 g kg⁻¹) com a aplicação foliar de 783,65; 742,44; 755,86 e 1200 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 1).



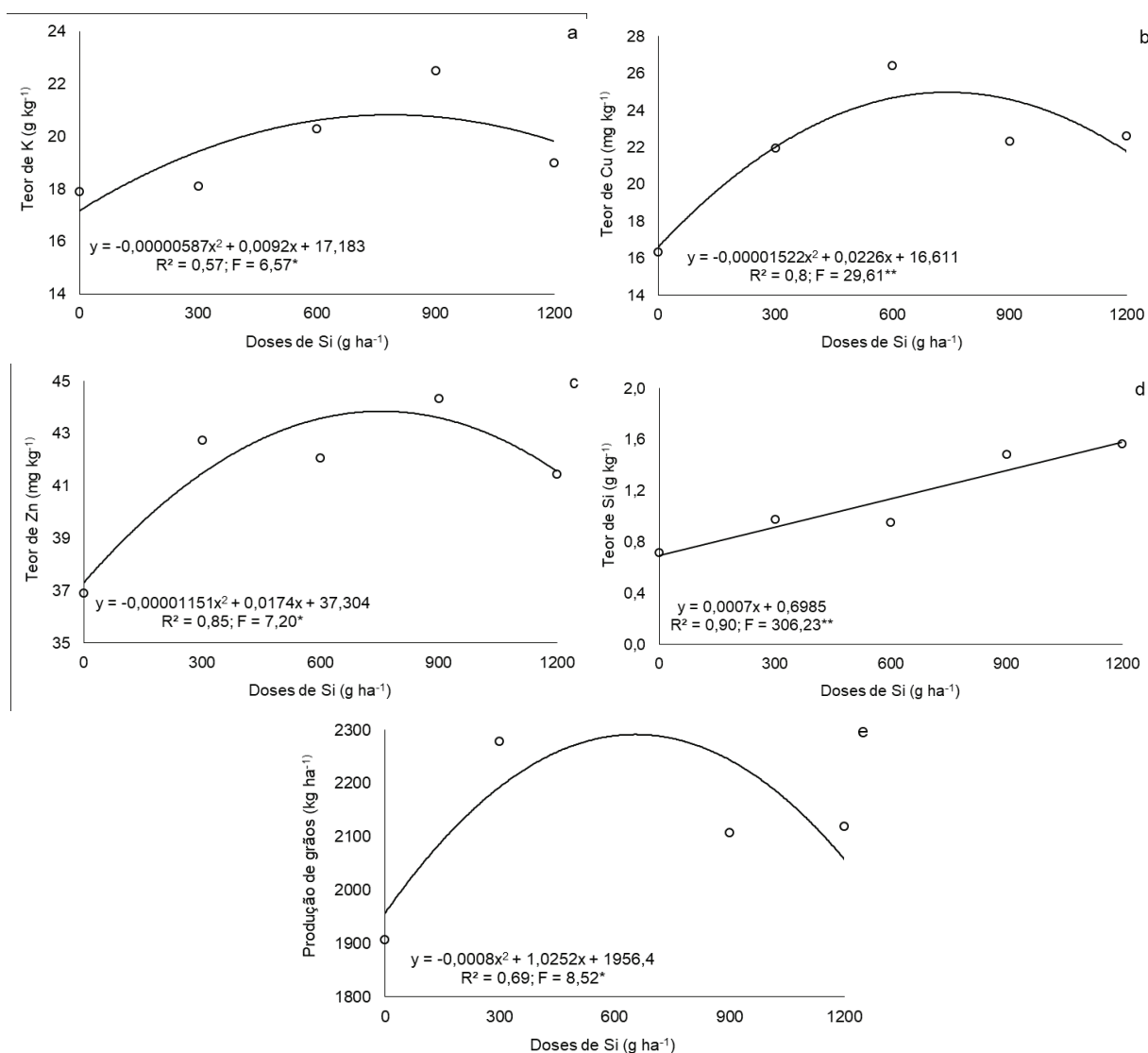


Figura 1. Teor de K (a), de Cu (b), de Zn (c), de Si (d) e produtividade de grãos (e) do feijoeiro comum cultivado irrigado no Cerrado Brasileiro.

A produtividade de grãos do feijoeiro comum foi influenciada pela aplicação de doses de silício, conforme observado na Tabela 4. Realizando a avaliação da regressão polinomial, observa-se o ponto de máxima com a aplicação de 640 g ha⁻¹ de Si, a qual promoveu uma produtividade de grãos de 2.284,85 kg ha⁻¹ (Figura 1e). Em comparação com os dados da Conab (2022), a estimativa de produtividade do feijão terceira safra foi de 1.362 kg ha⁻¹, superando a média nacional. Nota-se portanto, que a produtividade de grãos do presente estudo esteve superior em 67% da média nacional brasileira. Estudos realizados por Alcântara et al. (2014) observaram que o uso de silicato de cálcio e magnésio proporcionou ganhos na produtividade de 421,3 kg ha⁻¹ do feijão comum, alcançando uma média de 1.594,9 kg ha⁻¹. Considerando as variáveis fisiológicas, não foram observados efeitos significativos para os índices avaliados, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 3. Teores de micronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafo-climáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	mg kg ⁻¹				
Dose de Si g ha ⁻¹					
0	35,11	16,35 c	118,95	148,00	36,92 b
300	35,70	21,95 b	118,68	155,40	42,74 ab
600	35,14	26,43 a	118,50	165,50	42,08 ab
900	36,30	22,33 ab	119,40	143,50	44,36 a
1200	36,53	22,63 ab	117,75	151,00	41,45 ab
F	0,34 ^{ns}	14,65 ^{**}	0,00 ^{ns}	1,67 ^{ns}	3,71 [*]
Média Geral	35,76	21,94	118,66	152,60	41,51
CV	6,24	8,59	17,84	8,46	6,96

**, *, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Índice relativo de clorofila (IRC), índice balanceado de nitrogênio (NBI), índices de antocianina (ANTH), flavonóis (FLAV), clorofila (CHL), teor de Si e produtividade de grãos de feijão cultivados em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	IRC	NBI	ANTH	FLAV	CHL	Si		Produção
						g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
Dose de Si g ha⁻¹								
0	24,00	8,04	0,27	3,66	29,60	0,71 c		1906,96 b
300	24,49	8,63	0,25	3,73	31,96	0,97 b		2279,69 ab
600	24,04	8,52	0,25	3,61	30,52	0,95 b		2327,15 a
900	25,14	8,64	0,28	3,54	29,25	1,48 a		2108,02 ab
1200	23,96	9,01	0,26	3,40	30,45	1,57 a		2120,50 ab
F	0,74 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,96 ^{ns}	1,17 ^{ns}	84,93**		3,36*
Média Geral	24,32	8,57	0,26	3,59	30,35	1,14		2148,46
CV	4,79	7,21	10,46	4,89	6,39	7,00		8,41

**, *, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Ao final do estudo, observa-se que a aplicação de Si em dose próxima a 600 g ha⁻¹, surge como a mais indicada para as mesmas condições avaliadas do presente estudo, visando incrementos em produtividades de grãos do feijoeiro comum cultivado em sistema irrigado no Cerrado brasileiro. Ainda, os efeitos da aplicação e absorção de Si pelas plantas vão além do incremento da produtividade das plantas. Estudos revelam que o Si é um importante indutor de resistência das plantas aos estresses abióticos, como por exemplo, o excesso de Al, comum nos solos brasileiros (Freitas et al., 2015). Efeitos como maior resistência ao estresse hídrico tem sido relatado na literatura, principalmente devido à maior expressão gênica de enzimas responsáveis pela eliminação de quinonas tóxicas, tais como a catalase, dismutase da superóxido, das peroxidases, prolina, ácido ascórbico, dentre outros (Mir et al., 2022).

CONCLUSÕES

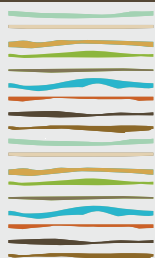
A aplicação foliar de 600 g ha⁻¹ de Si para a produção de grãos do feijoeiro comum cultivado em sistema irrigado no cerrado brasileiro surge como uma alternativa viável para o sistema de produção da cultura, sendo capaz de promover um incremento na produtividade de grãos de até 22% em relação aos tratamentos que não receberam adubação foliar contendo Si.



BIBLIOGRAFIA

- Alcântara, ASA; QSN Vasconcelos; DS Freire & RCS Nunes. 2014. **Componentes produtivos do feijoeiro comum em função de doses de silício e de bioestimulante**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Agronomia), UESB.
- Alvares, CA; JL Stape; PC Sentelhas; JLM Gonçalves & G Sparovek. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6):711-728.
- Barbosa, JC & W Maldonado Junior. 2015. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396 p.
- Bityutskii, N; J Pavlovic; K Yakkonen; V Maksimovic & M Nikolic. 2014. Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. **Plant Physiology and Biochemistry**, 74(1):205-211.
- Camargo, JMM; JC Moraes; QMR Zanol & DSL Queiroz. 2011. Interação silício e insetos-praga: defesa mecânica ou química? **Revista de Agricultura**, 86(1):62-79.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247-256.
- Conab. Companhia Nacional do Abastecimento. 2022. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 9 - Safra 2021/22 N.5 - **Quinto levantamento**, Brasília: Conab. p.1-102.
- Freitas, LB; DM Fernandes & SCM Maia. 2015. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 45(4):440-448.
- Kraska, JE & GA Breitenbeck. 2010. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 41:2075-2085.
- Ma, JF & N Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, 11(8):392-397.
- Malavolta, E. 2006. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: ESALQ. 368p
- Mesquita, FR; AD Corrêa; CM Abreu; RAZ Lima & AFB Abreu. 2007. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, 31:1114-1121.
- Mir, RA; BA Bhat; H Yousuf; ST Islam; A Raza; MA Rizvi; S Charagh; M Albaqami; PA Sofi & M Zargar. 2022. Multidimensional role of silicon to activate resilient plant growth and to mitigate abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, 13:819658.
- Oliveira, SA. 2004. Análise foliar. In: Sousa, DMG & E Lobato. (eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.245-256
- Pavlovic, J; J Samardzic; V Maksimovic; G Timotijevic; N Stevic; KH Laursen; TH Hansen; S Husted; JK Chjoerring; Y Liang & M Nikolic. 2013. Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. **New Phytologist**, 198(4):1096-1107.
- Santos, HG; P Jacomine; LHC dos Anjos; V de Oliveira; JF Lumberras; MR Coelho & TJF Cunha. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5.ed.rev.ampl. Brasília: Embrapa, 356p.
- Silva, FC. 2009. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. (2ed.), Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 627p.
- Sousa, DMG & E Lobato. 2004. **Cerrado: correção e adubação**. Brasília: Embrapa, 416 p.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3.ed.). Brasília: Embrapa. 573 p.
- Zanão Junior, LA; RLF Fontes & VT Avila. 2009. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz a mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(2):203-206.





PRODUÇÃO DE COUVE-MANTEIGA E RABANETE EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO CONDICIONADO À SUBSTRATO ORGÂNICO ARTESANAL

Carvalho C. E. S^{1*}, M. C. M. Batista¹, L. F. R.S. Silva¹, V.G.Souza¹, P. P. N. Charles¹, A. P. Umbelino¹

¹Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação - SECITECI, Escola Técnica Estadual de Educação Profissional e Tecnológica de Poxoréu - ETE Poxoréu, Rodovia MT 260
Km 05 - Rural, Poxoréu - Mato Grosso, Brasil (CEP 78800-000), Mayracintha8@gmail.com.

RESUMO

O Brasil exporta grande parte dos adubos utilizados em suas produções agropecuárias, o que aumenta o custo de produção. Diante desse cenário, o crescimento na produção de hortaliças e no sistema orgânico, obtidos a partir de resíduos vegetais e esterco, confere uma maior produtividade ao sistema de produção para várias culturas, por melhorar a qualidade do solo e aumentar a rentabilidade do produtor, além de reduzir a utilização de fertilizantes minerais. À vista disso, o objetivo da pesquisa foi avaliar a produção de hortaliças em Neossolo Quartzarênico condicionado a substrato orgânico artesanal. O estudo foi realizado na Escola Técnica Estadual de Educação Profissional e Tecnológica em Poxoréu-MT. No preparo do solo foi realizado aração, gradagem e posterior levantamento dos canteiros e submetidos a adubação corretiva de N-P-K (formulação 10-10-10), 13 kg ha⁻¹ de coquetel de micronutriente (Molibdênio-0,1%, Boro-1,8%, Cobre-0,8%, Manganês-2% e Zinco-7%). Em delineamento experimental de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, o composto orgânico foi utilizado como adubo sendo 25% de esterco bovino e 75% de restos vegetal utilizado para adubação de couve e rabanete em diferentes doses constituindo: T1 = 0; T2 = 10 t ha⁻¹; T3 = 20 t ha⁻¹; T4 = 30 t ha⁻¹; T5 = 40 t ha⁻¹; T6 = 50 t ha⁻¹. Após a colheita da planta foi avaliada a massa da matéria fresca comercial (t ha⁻¹) de cada cultura, e submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Os resultados indicam que o cultivo da couve-manteiga em Neossolo Quartzarênico é na dose de 20 t ha⁻¹ do composto orgânico e para o rabanete, na dosagem de 30 t ha⁻¹ como adequado, para aumento na produtividade, permitindo uma economia de 20 t ha⁻¹ do condicionador de solo.

Palavras chave: Solo arenoso, produtividade, hortaliças.

INTRODUÇÃO

O setor agropecuário é de suma importância para garantir a segurança alimentar. A atividade exercida tanto por pequenos como grandes produtores têm contribuído expressivamente na quantidade e qualidade de alimentos produzidos no Brasil, nesse contexto a adubação orgânica apresenta efeito benéfico no aumento da produtividade e nos atributos físico-químicos, principalmente em culturas exigentes em tratamentos culturais intensivos como é o caso das hortaliças.

Na perspectiva de produção de alimentos, a atual crise dos fertilizantes gerada pelo aumento dos preços no mercado internacional evidencia a necessidade do Brasil em produzir formas alternativas de insumos orgânicos e organominerais a fim de reduzir a dependência do país pela importação, o que eleva os custos de produção, principalmente, em culturas com alta demanda nutricional como são as olerícolas. A inovação nesse setor pode estar na utilização da biotecnologia e resíduos de origem animal e vegetal de pouca



importância comercial, para desenvolver novos fertilizantes orgânicos e organominerais (CEKINSKI, 2022) que melhoram significativamente as características físicas-hídricas do solo, sobretudo em solos arenosos, denominados frágeis devido às propriedades como baixa disponibilidade de nutrientes, alta drenabilidade, infiltração, porosidade e permeabilidade (ALBUQUERQUE et al., 2011).

A produtividade de hortaliças em solos arenosos implica no manejo correto dessa classe de solo, devido a sua maior restrição ao uso agrícola. Nesse cenário, o trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade de couve-manteiga e rabanete em Neossolo Quartzarênico condicionado à substrato orgânico artesanal.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo no período de fevereiro a setembro de 2022, na área experimental da Escola Técnica Estadual de Educação Profissional E Tecnológica no município de Poxoréu - MT, localizado na latitude 15° 48' 4" S, longitude 54° 26' 47" W e altitude de 344 m.

Os resultados da análise de solo, na camada de 0–20 cm de profundidade foram: textura - areia: 85,5%, silte: 4% e argila: 10,5%; pH em CaCl_2 : 4,6; Al: 0,27 cmolc dm^{-3} ; Ca: 0,9 cmolc dm^{-3} ; Mg: 0,4 cmolc dm^{-3} ; P: 7,2 mg dm^{-3} ; K: 29,3 mg dm^{-3} e saturação por bases de 31,6%. Para a correção da acidez foi utilizado 3 t ha^{-1} de calcário calcítico, com objetivo de elevar a saturação por bases do solo para 80%, como recomendado para hortaliças.

O preparo do solo procedeu-se com aração, gradagem e posterior levantamento dos canteiros (15 cm), que foram submetidos a adubação corretiva do solo de acordo com as recomendações para hortaliças, utilizando-se 400 t ha^{-1} N-P-K (formulação 10-10-10), 13 kg ha^{-1} de coquetel de micronutriente (Molibdênio-0,1%, Boro-1,8%, Cobre-0,8%, Manganês-2% e Zinco-7%).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, sendo cada unidade experimental representada por uma parcela de 2,0 x 1,2 m (2,4 m²) e a área útil para avaliação compreendeu todas as plantas da cultura excetuando-se as primeiras e últimas plantas de cada linha de cultivo.

O adubo usado no experimento foi o composto orgânico, produzido pelos alunos da ETE-Poxoréu, concluído em 120 dias, tendo em sua composição 25% de esterco bovino e 75% de restos vegetais de *Licania tomentosa* (oiti) e *Eucalyptus* (eucalipto). Como material genético foram utilizadas uma hortaliça folhosa (couve-manteiga) e uma raiz tuberosa (rabanete), submetidas à diferentes doses de composto orgânico, constituindo desta forma os seguintes tratamentos: T1 = 0; T2 = 10 t ha^{-1} ; T3 = 20 t ha^{-1} ; T4 = 30 t ha^{-1} ; T5 = 40 t ha^{-1} ; T6 = 50 t ha^{-1} . A eficiência das diferentes dosagens de composto orgânico foram testadas por meio da produtividade das culturas da couve e rabanete. A colheita da couve ocorreu de forma que as repetições (R1, R2, R3 e R4) fossem obtidas no tempo, realizadas aos 60, 70, 80 e 90 dias após o transplante de mudas com 25 dias de viveiro. A colheita do rabanete ocorreu, respectivamente, aos 25 dias após a semeadura direta no canteiro. Após a colheita das plantas foi avaliada a massa da matéria fresca comercial (t ha^{-1}) de cada cultura, eliminando-se as plantas danificadas ou sem valor comercial. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da couve-manteiga foi influenciada pelas doses do composto orgânico (Figura 1). Nota-se que o uso das diferentes doses de adubação orgânica promoveu diferença estatística entre os tratamentos. A máxima produtividade ocorreu no tratamento T3 equivalente a aplicação de 20 t ha^{-1} , contudo, as parcelas que receberam 30 t ha^{-1} (T4) não diferiram desse tratamento, apresentando produtividade de 5,09 e 4,53 t ha^{-1} , respectivamente. A dose de 10 t ha^{-1} influenciou no rendimento da cultura, uma vez que o menor incremento de massa fresca foi constatado nesse tratamento, exibindo valores estatísticos semelhantes à testemunha (T1) e as maiores doses (T5 e T6).



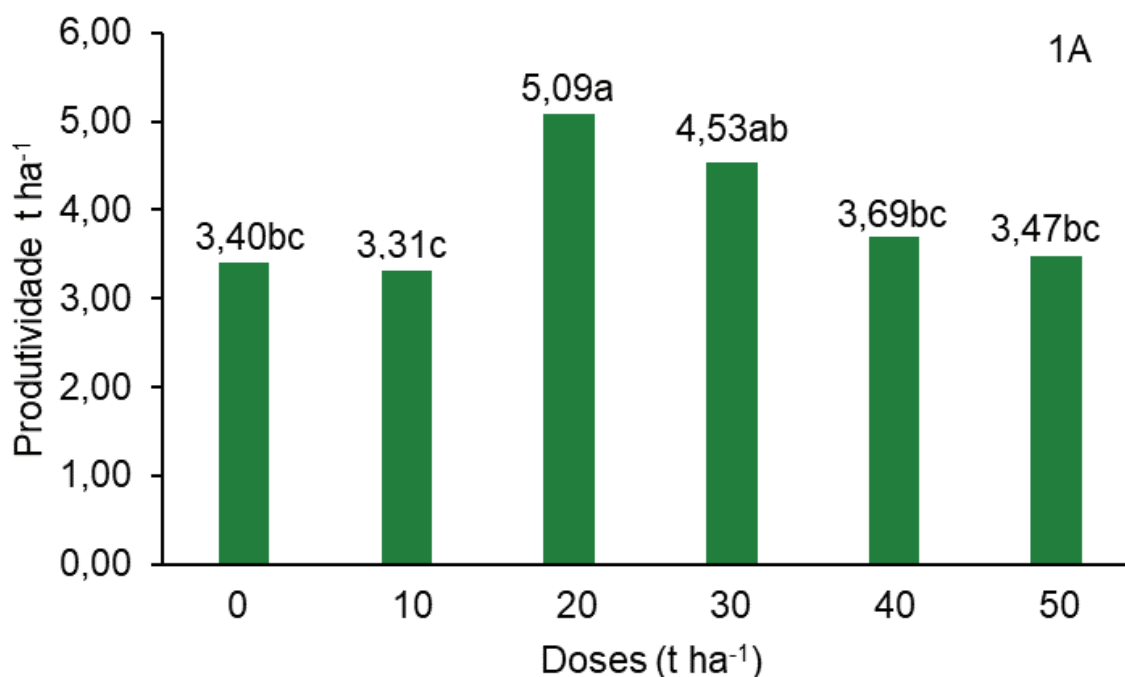


Figura 1. A produtividade da couve-manteiga.

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1 = 0; T2 = 10 t ha⁻¹; T3 = 20 t ha⁻¹; T4 = 30 t ha⁻¹; T5 = 40 t ha⁻¹; T6 = 50 t ha⁻¹.

O ciclo da couve-manteiga pode ser limitado por aspectos químicos e físicos do solo, nesse contexto, infere-se que a adição de matéria orgânica por meio da aplicação de 20 t ha⁻¹ contribuiu para as melhorias físico-hídricas em Neossolo Quartzarênicos. Esses resultados indicam que o condicionamento do solo oriundo do esterco bovino combinado aos resíduos de oiti e eucalipto permitiu ao sistema de cultivo maior retenção e disponibilidade de água e nutrientes. Fatores esses, considerados críticos quando as hortaliças são cultivadas em solos arenosos, sobretudo, Neossolo Quartzarênicos, principalmente, por serem culturas altamente sensíveis à falta de água e muito exigentes nutricionalmente. Todos esses fatores contribuíram para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da couve, interferindo de forma positiva na parte aérea e consequentemente na produtividade dessa folhosa.

Didolanvi et al. (2018), estudando o efeito de diferentes doses de adubação orgânica no desenvolvimento da couve-manteiga em um Neossolo Flúvico, verificaram que a aplicação de 60 t ha⁻¹ possibilitou melhores resultados em todas as variáveis analisadas, tendo essa dose diferido das menores e maiores doses utilizadas, resultado divergente do trabalho em discussão, dado que o aumento da dose do composto orgânico em Neossolo Quartzarênico prejudicou o desempenho produtivo da couve.

Para a cultura do rabanete, os tratamentos T4 (30 t ha⁻¹) e T6 (50 t ha⁻¹) apresentaram a máxima produtividade média, resultado oposto ao tratamento sem aplicação do composto orgânico (T1 = testemunha), o que atesta o efeito positivo que o composto exerce em solos arenosos e no crescimento e desenvolvimento do rabanete, uma vez que por ser rico em matéria orgânica atua como condicionador do solo, favorecendo e melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos (Figura 2).

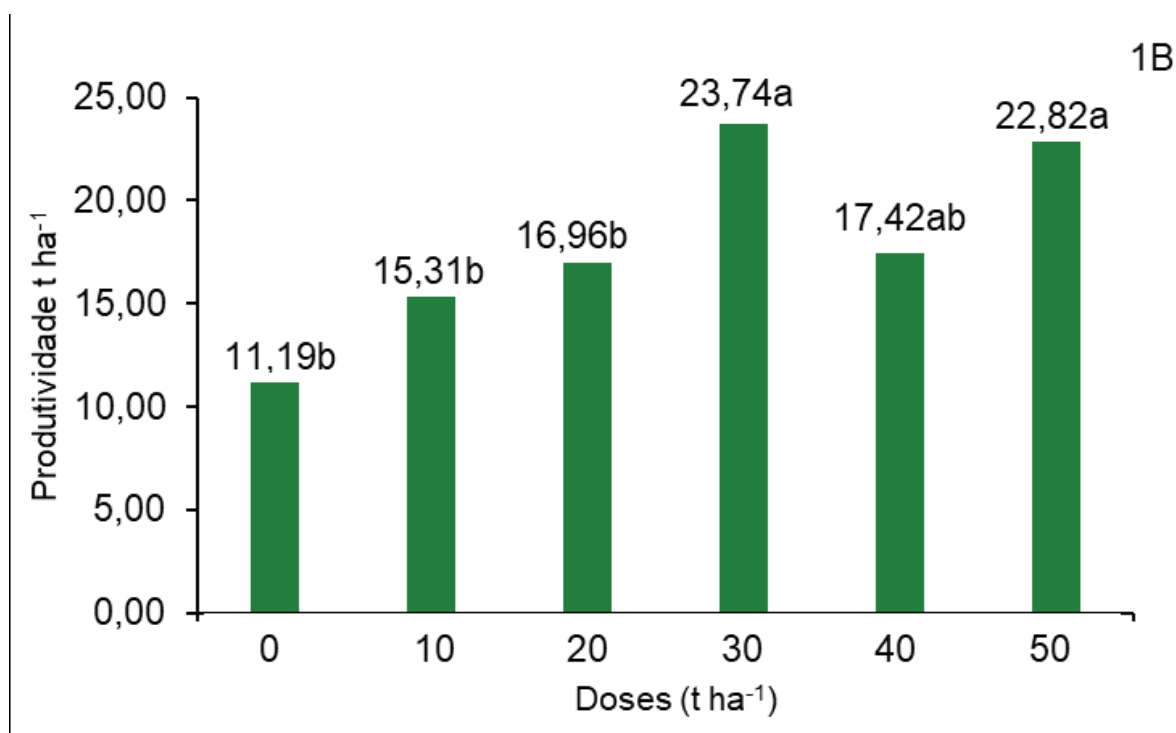


Figura 2. A produtividade do rabanete.

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1 = 0; T2 = 10 t ha⁻¹; T3 = 20 t ha⁻¹; T4 = 30 t ha⁻¹; T5 = 40 t ha⁻¹; T6 = 50 t ha⁻¹.

Os solos arenosos apesar de serem mais friáveis, atributo físico positivo para a produção de raiz tuberosa, já que facilita o crescimento da raiz, é ao mesmo tempo pobre em nutrientes e matéria orgânica e tem baixa retenção de água, o que explica os resultados do trabalho, uma vez que o aumento das doses de composto orgânico beneficiou as condições de fertilidade e físico-hídrica do solo, resultando no desenvolvimento da raiz e incidindo na produtividade do rabanete.

Assim, na perspectiva de produção de hortaliças, o uso do composto orgânico entra como alternativa para melhorar a produtividade de raízes tuberosas em Neossolo Quartzarênicos, como é o caso do rabanete. De acordo Araújo et al., (2007) e Campos et al. (2011), a elevação da MOS promove o aumento do valor da CTC dos solos de Cerrado, efeito esse mais perceptível nos Neossolos Quartzarênicos (Frazão et al., 2008), onde a susceptibilidade ao processo erosivo e de lixiviação de cátions e perda de água e MOS é maior.

CONCLUSÃO

Em suma, percebe-se que para o cultivo da couve-manteiga em Neossolo Quartzarênico a dose de composto orgânico recomendado é de 20 t ha⁻¹, uma vez que condiciona o solo arenoso ao aumento de produtividade dessa folhosa;

Para o rabanete, constatou-se que a dose de 30 t ha⁻¹ é a mais indicada para aumentar a produtividade do rabanete cultivado em Neossolo Quartzarênico, pois a aplicação desta dose permite economia de até 20 ton ha⁻¹ do composto orgânico, o que reduz significativamente os custos de produção para o olericultor.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. (2011). Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. p. 368-403. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 7, 2011. 403 p.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. (2007). Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. R. Bras. Ci. Solo,



31:1099-1108.

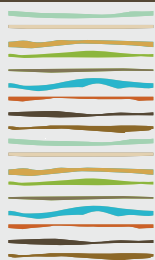
CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B.F. & NÓBREGA, J.C.A. (2011). Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46:1681-1689.

CEKINSKI, E. (2022). A situação dos fertilizantes no Brasil. *Revista Cultivar, Pelotas – RS*. 2022. Disponível em: < <https://revistacultivar.com.br/artigos/a-situacao-dos-fertilizantes-no-brasil>>. Acesso em: 11 de ago de 2022.

DIDOLANVI, Olorouchola David, et al. (2018). Efeito de diferentes doses de adubação orgânica no desenvolvimento da couve-manteiga no Vale do Submédio São Francisco. *Cadernos de Agroecologia* 13.1.

FRAZÃO, L.A.; PÍCCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. (2008). Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:641648.





EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON BORO SOBRE LA CALIDAD DE TUBÉRCULOS DE PAPA

Cassino, M.N.¹, P. Fioriti¹, S. Silva¹, P. Ceroli, G. Lagos, N. Reussi Calvo^{1,2}, S. Rodriguez¹, S. Walter³, C. Giletto¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Ruta 226 Km 73,5 Balcarce, provincia de Buenos Aires, mcassino@mdp.edu.ar

²CONICET ³INTA Villa Dolores, Córdoba.

RESUMEN

Para lograr papa de alta producción y tubérculos de calidad industrial es fundamental una adecuada disponibilidad de nutrientes. Entre los micronutrientes, boro (B) incrementa la concentración de materia seca y almidón en los tubérculos. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización foliar con B sobre la concentración de B y de almidón en tubérculos. Se realizaron ensayos de fertilización con B en dos lotes de producción de papa (Innovator) en 2016/2017. Los tratamientos fueron: 0, 150 y 300 g B ha⁻¹ aplicados al follaje a los 60 días después de la plantación (ddp). Se determinó, a los 100 ddp, la producción de biomasa total y B total acumulado en planta (B_{total}) y, a la cosecha, el rendimiento, la concentración de B y de almidón en los tubérculos. La concentración de B en los tubérculos a cosecha varió de 5,7 a 8,2 mg kg⁻¹ y aumentó con la dosis de B ($p < 0,0001$). La acumulación de B en los tubérculos varió de 57,6 a 98,9 g ha⁻¹ y aumentó significativamente con la fertilización con B ($p = 0,0001$). La concentración de almidón en los tubérculos varió de 8,4 a 10,1 g 100 g⁻¹ y aumentó con la fertilización con B ($p < 0,0001$). Se determinó una estrecha relación entre el B acumulado en tubérculos a cosecha y el rendimiento de tubérculos en peso fresco ($p < 0,0001$) lo que permitió inferir que los tubérculos extraen 2,2 g B Mg⁻¹ de tubérculos frescos. Se estableció que sólo el 8% del B_{total} se encuentran en los tubérculos a la cosecha ($p < 0,0001$). Los resultados permitieron concluir que la fertilización foliar con B mejoró la calidad de los tubérculos de papa al aumentar la concentración de B, el B acumulado en los tubérculos y también la concentración de almidón en los tubérculos a la cosecha.

Palabras clave: concentración de boro en los tubérculos, materia seca, almidón.

INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*) ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo después del trigo, maíz y arroz. Se destina principalmente a la alimentación humana como producto fresco (Bouzo, 2009). El tubérculo de papa es una importante fuente de carbohidratos (almidón), proteínas de alta calidad, vitamina C y minerales (Huarte & Capezio, 2013). El contenido de almidón (66 a 80% en base seca) varía según cultivares y estado de crecimiento de la planta. Es el derivado más importante que se emplea a nivel industrial y doméstico (Liu et al., 2007). Es el componente principal de la materia seca (MS) del tubérculo y contiene aproximadamente un 20% de amilosa y un 80% de amilopectina. La concentración de almidón de los tubérculos afecta la susceptibilidad de los tubérculos a los golpes, la harinosidad de la papa cocida, la calidad del puré y la textura del producto terminado (Baritelle & Hyde, 2003). Para lograr cultivos de alta producción y tubérculos de calidad industrial es fundamental la disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales para las plantas, particularmente el boro (B). Mesquita et al. (2007), en ensayos realizados en Brasil con las variedades Asterix y Monalisa, determinó que la fertilización con B incrementó la concentración de MS y almidón en los tubérculos. El B llega a las raíces fundamentalmente por flujo masal (65%) y difusión (32%) y es absorbido bajo la forma de ácido bórico (H₃BO₃) (Marschner, 1995). El requerimiento de B es de



3,6 g B Mg⁻¹ de tubérculo fresco (Westermann, 2005). Los niveles de B extractable de los suelos agrícolas de la Región Pampeana son considerados de medios a altos (1-6 mg kg⁻¹) (Sainz Rozas et al., 2013). Sin embargo, investigaciones recientes demuestran que la intensificación de la actividad agrícola ha disminuido los niveles de materia orgánica (MO) del suelo, hasta el 50% del valor original (Sainz Rozas et al., 2019) y en consecuencia se ha reducido la disponibilidad de nutrientes, entre ellos el B. Sin embargo, no hay registros de trabajos donde se evalúe la respuesta de la fertilización con B en el cultivo de papa. Por lo tanto, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la fertilización foliar con B sobre la concentración de B y de almidón en tubérculos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos de fertilización con B en dos lotes de producción de papa para industria variedad Innovator (110-120 días de ciclo), durante la campaña 2016/2017 en los partidos de General Pueyrredón (Sitio 1) y Balcarce (Sitio 2), provincia de Buenos Aires. En la Tabla 1 se resumen algunas características edáficas al momento de la plantación y manejo del cultivo durante el ciclo.

Tabla 1: Características iniciales del suelo y manejo del cultivo durante el ciclo. MO: materia orgánica.

	pH (0-20 cm)*	P-Bray 1 (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)*	MO (g kg ⁻¹) (0-20 cm)*	N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) (0-40 cm)*	B extractable (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)*	Fecha Plantación	Fecha Cosecha
Sitio 1	5,4	32,2	63	66,0	1,7	09/10/16	07/03/17
Sitio 2	6,2	18,2	43	24,8	1,6	27/10/16	02/03/17

*Profundidad de muestreo

Se extrajeron muestras de suelo a 0-20 cm y a 0-40 cm de profundidad en preplantación. En las muestras de 0-20 cm se determinó materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), P extractable (Bray & Kurtz, 1945) (P-Bray1), pH (relación suelo/agua 1:2,5) (Dewis & Freitas, 1970) y B extractable en suelo mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Watson, 1998). En las muestras de 0-20 y 20-40 cm de profundidad, se determinó la concentración de N-nitrato (N-NO₃⁻) (g kg⁻¹) (Keeney & Nelson, 1982). Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 34 m² (8 surcos de 5 m de largo y 0,85 m de distancia entre surcos). Los tratamientos fueron un testigo sin fertilizar, 150 y 300 g B ha⁻¹ aplicados al follaje a los 60 días después de la plantación (ddp). En todos los ensayos se recurrió a la fertilización con nitrógeno y fósforo para asegurar que estos nutrientes no limitaran el crecimiento del cultivo. Para evitar deficiencias hídricas se regó a partir de los 45 ddp y hasta el final del ciclo. En la etapa de llenado de tubérculos (100 ddp), se realizó un muestreo de planta entera que se separó en biomasa aérea y tubérculos y se determinó la biomasa total y el B total acumulado en planta (B_{total}). A la madurez del cultivo (120 ddp) se cosecharon en forma manual dos metros de los dos surcos centrales de cada unidad experimental y se estimó el rendimiento. La concentración de B en la biomasa aérea y en los tubérculos se determinó mediante el método de azometina-H (John et al., 1975). La concentración de almidón de los tubérculos a la cosecha se cuantificó por el método polarimétrico de Ewers (FEDNA, 2000) y se determinó la concentración de MS de los tubérculos por gravimetría. Los resultados fueron analizados con el programa Statical Analisis Systems (SAS) (SAS Institute, 2001). La comparación entre las medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher (DMS) con un nivel de significancia del 5 % cuando el análisis de la varianza fue significativo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El rendimiento promedio de tubérculos varió de 63,6 a 74,4 Mg ha⁻¹ (datos no mostrados), alcanzando la mayor producción en los tratamientos fertilizados con B (Cassino et al., 2020). El B_{total} a los 100 ddp varió de 331,7 a 739,4 g ha⁻¹ y aumentó con la fertilización con B (p<0,0001) (Tabla 1). La fertilización con B aumentó en un 45 % el B_{total}. La concentración de B en los tubérculos a cosecha (B_{tubcos}) varió de 5,7 a 8,2 mg kg⁻¹ y se vio afectada por la dosis de B (Tabla 1). El incremento promedio de dosis en la concentración de B_{tubcos} fue del 39 % por efecto de la fertilización. Estos resultados coinciden con los presentados por Sarkar et al. (2018) quienes encontraron que la concentración de B en el tubérculo de papa fue promovida significativamente por la aplicación de B al cultivo. El B acumulado en los tubérculos a cosecha (B_{ac}) varió de 57,6 a 98,9 g ha⁻¹



y aumentó con la fertilización con B ($p=0,0001$) (Tabla 1). La fertilización con B aumentó en un 58 % el B_{ac} . Similares resultados fueron determinados por Fernandes et al. (2017) quienes establecieron que los tubérculos de diferentes variedades de papa extrajeron de 20 a 88 g B ha^{-1} .

Tabla 1. Cantidad total de boro acumulado en planta (B_{total}) a los 100 ddp, concentración de boro en los tubérculos a cosecha (B_{tubcos}), boro en tubérculos acumulado a cosecha (B_{ac}) y la concentración de almidón en tubérculos según sitios y dosis de boro, campaña 2016/17.

		B_{total} (g ha^{-1})	B_{tubcos} (mg kg^{-1})	B_{ac} (g ha^{-1})	Almidón (g 100 g $^{-1}$)
Sitio	1	541,7	7,3	86,0	9,1
	2	541,8	7,0	82,3	9,8
Dosis B	0	331,7	5,7 b	57,6 b	8,4 b
	150	519,6	7,7 a	96,0 a	10,1 a
	300	739,4	8,2 a	98,9 a	9,9 a
ANOVA					
Sitio		0,5304	0,2064	0,4110	0,001
Dosis B		<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001
Sitio*Dosis B		0,3188	0,1080	0,9407	0,5865

En cada sitio o dosis de boro, letras diferentes dentro de cada columna indica diferencias significativas entre tratamientos según test de diferencias mínimas significativas ($p<0,05$).

La concentración de MS de los tubérculos varió de 16,1 a 16,9 g 100 g $^{-1}$ (datos no mostrados) y no varió por efecto de la dosis de B (Cassino et al., 2020). La concentración de almidón en los tubérculos, varió de 8,4 a 10,1 g 100 g $^{-1}$ y aumentó con la fertilización con B ($p<0,0001$) (Tabla 1). La dosis de B aumentó en 19% la concentración de almidón. Estos resultados coinciden con los determinados por Mesquita et al. (2007), quienes determinaron que el porcentaje de almidón en tubérculos aumentó con la dosis de B. Asimismo, Singh et al. (2018) obtuvieron resultados similares en ensayos realizados con papa en India. Estos resultados están de acuerdo con Farouk (2015) quien documentó que la aplicación de B incrementó significativamente la calidad de los tubérculos en lo que respecta al almidón. Al relacionar el B_{ac} y el rendimiento de tubérculos en peso fresco se determinó una estrecha relación entre las variables ($p<0,0001$, $R^2=0,64$). A partir de la misma, se pudo inferir que los tubérculos extraen 2,2 g B Mg^{-1} de tubérculos frescos a la cosecha (Figura 1a); ubicándose dentro del rango de extracción de B de 1,8-3,6 g B Mg^{-1} en diferentes variedades de papa (Westermann, 2005; Fernandes et al., 2017). También, se determinó una relación lineal entre el B_{ac} y el B_{total} a los 100 ddp, estableciéndose que sólo el 8% del B_{total} se encuentran en los tubérculos a la cosecha ($p<0,0001$, $R^2=0,58$) (Figura 1b). Estos resultados demuestran que una elevada proporción del B absorbido por el cultivo queda en el rastrojo al finalizar el ciclo.

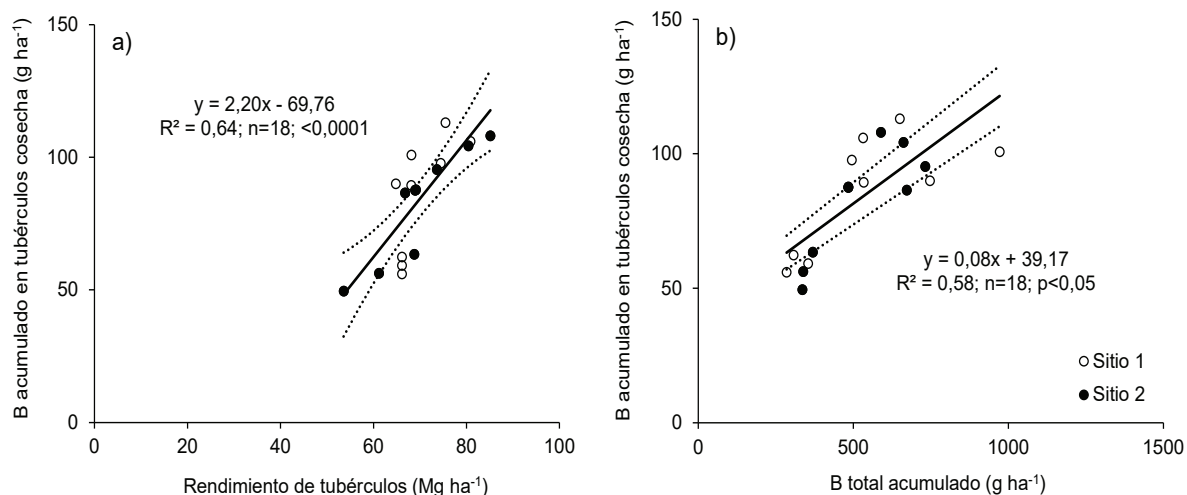


Figura 1. Rendimiento de tubérculos a la cosecha (a) y boro total acumulado a los 100 ddp (b) en función del boro acumulado en tubérculos a la cosecha (B_{ac}), en los dos sitios, campaña 2016/17.

Al relacionar la B_{tubcos} con la concentración de almidón en los tubérculos (Figura 2a) y con la MS (Figura 2b), se estableció una relación lineal significativa entre las variables ($p<0,05$). La B_{tubcos} predice con mayor ajuste la concentración de almidón que la MS. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Mesquita et al. (2007), en ensayos realizados en Brasil en variedades de papa para industria, quienes determinaron que la fertilización con B mejoró la calidad de los tubérculos al aumentar la concentración de almidón en los tubérculos.

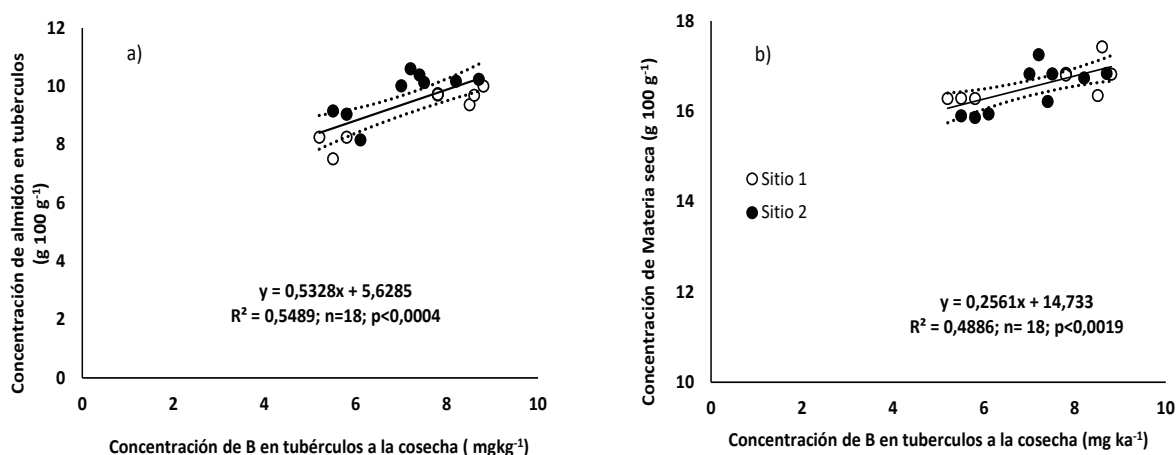


Figura 2. Concentración de boro en tubérculos a la cosecha en función de la concentración de almidón en tubérculos (a), y en función a la concentración de materia seca (b), en ambos sitios, campaña 2016/17.

CONCLUSIÓN

Los resultados permitieron concluir que la fertilización foliar con B mejoró la calidad de los tubérculos de papa al aumentar la B_{tubcos} , el B_{ac} y la concentración de almidón en los tubérculos a la cosecha. Estos son los primeros resultados obtenidos en el Sudeste Bonaerense, por lo tanto, es necesario seguir investigando la respuesta del cultivo de papa a la fertilización con B, utilizando diferentes cultivares y en ambientes con características edafoclimáticas contrastantes.

AGRADECIMIENTOS

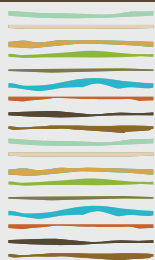
Trabajo financiado por los proyectos ¿La disponibilidad de bases y micronutrientes limitan el rendimiento y la calidad de los tubérculos de papa? (15/A646; AGR642/21) y Métodos de diagnóstico de cationes básicos y



BIBLIOGRAFIA

- Bouzo CA. 2009. El Cultivo de la Papa en Argentina. [en línea] <<http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2009/04/cultivo-de-papa-enargentina.pdf>> [consulta: 3 de agosto de 2022]
- Bray RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:360-361.
- Baritelle AL & GM Hyde. 2003. Gravedad específica y efectos del cultivar sobre la sensibilidad al impacto del tubérculo de papa. *Postharvest Biol. Technol* 29(3):279-286.
- Cassino MN, P Fioriti, CM Giletto, N Reussi Calvo, E Zamuner, S Silva & S Rodriguez. 2020. Diagnóstico foliar de boro en papa para industria. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes. Argentina.
- Dewis J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. *FAO soils Bulletin* 10:36-57.
- Farouk S. 2015. Improving growth and productivity of potato (*solanum tuberosum* L.) by some biostimulants and lithovit with or without boron. *J. Plant Prod, Mansoura Univ.* 6(12):2187-2206.
- Fernandes A, R Peres Soratto, E Cordova de Souza & A Gomes Job. 2017. Nutrient Uptake and Removal by Potato Cultivars as Affected by Phosphate Fertilization of Soils with Different Levels of Phosphorus Availability. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 41: e0160288.
- FEDNA. 2000. Almidón. Método polarimétrico (EWERS). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal España. http://www.fundacionfedna.org/tecnicas_de_analisis/almidon-metodo-polarimetrico-ewers. (2 de abril de 2018).
- Huarte M & S Capezio. 2013. Cultivo de papa. [en línea] <https://www.researchgate.net/publication/256195293_Cultivo_de_papa> [consulta: 18 de julio de 2022]
- John MK, HH Chuah & JH Neufeld. 1975. Application of improve azometina-H method to the determination of boron in soils and plants. *Anal. Lett.* 8:559-568. <https://doi.org/10.1080/00032717508058240>.
- Keeney, DR & DW Nelson 1982. Nitrogen-availability indexes. In: AL Page *et al.* (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2.* 2nd ed, ASA, Madison, Wisconsin. pp. 711-733.
- Liu, Q; R Tarn, D Lynch & N Skjodt. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chem.* 105: 897-907.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* 2a ed. Academic Press Limited. London. pp. 21-40.
- Mesquita H, M Rezende Alvarenga, M Bueno De Paula, J Guedes De Carvalho & J Azevedo Nóbrega. 2007. Produção e qualidade da batata em resposta ao boro. *Ciênc. Agrotec. Lavras* 31(2):385-392.
- SAS Institute. 2001. *The SAS System for Windows.* Release version 6.12. SAS Inst., Cary, NC.
- Sainz Rozas H, M Eyherabide, H Echeverría, P Barbieri, H Angelini, GE Larrea, GN Ferraris & M Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de fertilidad de los suelos argentinos? IPNI. *Actas del Simposio de Fertilidad.*
- Sainz Rozas, H, 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 del Simposio Fertilidad.* Rosario. 141-158.
- Sarkar S, H Benerjee, I Chakraborty, S Ray, D Ghosh & P Deb. 2018. Assessment of growth, yield, tuber quality and profitability of potato upon boron fertilization. *J. Environ. Biol.* 39:365-372.
- Singh SK, M Sharma Reddy & T Venkatesh. 2018. Integrated application of boron and sulphur to improve quality and economic yield in potato. *J. Environ. Biol.* 39:204-210. <https://doi:10.22438/jeb/39/2/MRN-395>.
- Walkley A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- Watson ME. 1998. Chapter 10. Boron. In: *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region.* North Central Regional Research Publication N° 221. Revised October/2012.
- Westermann DT. 2005. Nutritional Requirements of Potatoes. *AJPR.* 82:301-307.





LABRANZA CERO Y CULTIVOS DE COBERTERA PARA QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa*), EN LOS ANDES ECUATORIANOS

Cayambe, K¹., A. Suárez. ^{1*}, J. León¹

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales- Centro experimental del Riego, Riobamba, Ecuador.

*Panamericana Sur km uno y medio, Riobamba-Ecuador alfonso.suarez@epoch.edu.ec

RESUMEN

El aumento de la demanda tanto nacional como internacional ha favorecido la expansión de áreas cultivadas de quinua en Ecuador. La erosión persistente en la zona altoandina ha provocado que los rendimientos disminuyan, generando una dependencia por los insumos externos. Por este motivo el objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de dos cultivos de cobertera vicia (*Vicia stenophylla*) y centeno (*Secale cereale*) en un sistema de labranza cero, con adición de tres dosis (0,75, 150 kg N/ha) de gallinaza (Eco abonazaTM) en el cultivo de quinua orgánica. Previo al ensayo la cobertera fue apisada utilizando un tambor roleador (roller crimper). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcela dividida con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas en quinua fueron: número de plantas, número de panojas y rendimiento. La determinación de número de plantas/m² se realizó un mes antes de la cosecha, obteniendo como resultados 67,5 plantas/m² con el tratamiento relacionado con la asociación vicia x 150 kg N/ha de Eco abonaza, el mejor número de panojas/m² obtenido fue de 80,75 panojas/m² para el tratamiento de Centeno x 150 kg N/ha de Eco abonaza. El mejor rendimiento fue de 1425 kg/ha con el tratamiento de vicia con dosis de Eco abonaza de 150 kg N/ha. Se concluye que el cultivo de cobertera vicia con dosis de Eco abonaza de 150 kg N/ha obtuvo mayor resultado en la variable rendimiento.

Palabras clave: cultivos de cobertura, labranza mínima, quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

INTRODUCCIÓN

La quinua o quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo que tiene sus orígenes en la región de los Andes, varias investigaciones sitúan el origen de la quinua en las inmediaciones del lago Titicaca de Perú y Bolivia y de ahí su expansión a los demás países andinos, países como Bolivia, Perú y Ecuador son los que más han desarrollado la diversidad de este cultivo y logran cumplir aproximadamente la demanda hasta en un 80% (Mujica, 2015; Jacobsen & Sherwood, 2002).

La FAO seleccionó a la quinua como uno de los cultivos destinados a ofrecer seguridad alimentaria en el siglo XXI. Es así que vale considerar su aporte para la subsistencia de los pequeños productores (Rojas et al., 2011).

Según datos del banco central dentro de los principales países exportadores de quinua se encuentra Ecuador ocupando el tercer lugar en la lista de los mayores productores y exportadores de quinua (El Universo, 2013). En el caso de la provincia de Chimborazo es la mayor productora de quinua en la zona centro del país, aquí se cultivan 700 de las 2000 hectáreas que se han registrado a nivel nacional con aproximadamente 2 366 productores.



En el año 2012 en la Sierra centro se contabilizaron 1484 productores de quinua siendo esta un motor de la economía local según las fundaciones Coprobich, Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador (ERPE) y Maquita Cushunchic (MCCH) a nivel nacional se encuentran cerca de 6000 productores (El Universo, 2013). Existen ciertas razones por las que los productores de quinua optan por cultivar quinua orgánica sobre la convencional una de estas es la búsqueda de la rentabilidad en las exportaciones debido a que el costo de la quinua orgánica es superior, solo en el año 2015 el precio de la quinua convencional fue superado en un 28% por el precio de la quinua orgánica (Arias, 2017). Sin embargo, los resultados de la producción orgánica son más bajos comparados con la producción convencional.

Debido a la importancia de la quinua en el mercado nacional e internacional, la economía de los productores y los bajos rendimientos de la agricultura orgánica este trabajo de investigación presenta alternativas al cultivo orgánico como el uso de cultivos de cobertera tales como la vicia (*Vicia stenophylla*) reconocida como un cultivo fijador de nitrógeno y el centeno (*Secale cereale*), empleado como cultivo de cobertera por su alta producción de biomasa (Ortega, 2015). El uso también de labranza mínima como alternativa de conservación del suelo por medio de la poca perturbación del mismo y por último la utilización del abono orgánico comercial de gallinaza (Eco abonaza) para la fertilización y buscar la influencia en el rendimiento de la quinua. (Salinas, Díaz, Garza, & Garza, 2005).

La labranza cero perturba muy poco el suelo y consiste en abrir un pequeño surco con ayuda de maquinaria o manualmente donde se coloca la semilla fuera de este surco el suelo no sufre más alteración y el rastrojo de la anterior cosecha queda en la superficie. La labranza cero constituye una gran alternativa de producción con beneficios directos a corto, mediano y largo plazo permitiendo mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo además de disminuir los costos de producción (L. Rojas, 2001). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos cultivos de cobertera vicia (*Vicia stenophylla*) y centeno (*Secale cereale*) en un sistema de labranza cero, con adición de tres dosis (0,75, 150 kg N/Ha) de gallinaza (Eco abonazaTM) en el cultivo de quinua orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la estación experimental Thunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la variedad INIAP Tunkahuan. Se sembró con un sistema de labranza cero en cultivos de cobertera vicia (*Vicia stenophylla*), centeno (*Secale cereale*), y se aplicó diferentes dosis de gallinaza con el nombre comercial de Eco Abonaza (0, 75, 150 Kg N/ha).

Los cultivos de cobertera (CC) fueron previamente apisados y terminados utilizando un tambor rolerador (roller crimper) adaptando un modelo de Rodale Institute para motocultor (Rodale, 2022). Los cultivos de cobertera fueron terminados en anthesis del centeno.

Para la siembra se utilizó 453,5 gramos de semilla de quinua variedad INIAP Tunkahuan, que se colocó entre 10 a 20 semillas por cada hoyo y se cubrió con tierra a una profundidad, no mayor a 2 cm. La aplicación del abono orgánico Eco abonaza se realizó a inicios de la etapa de floración seguido de una labor de aporque por las condiciones del tiempo, el suelo contaba con baja humedad de inmediato se procedió a la aplicación de riego por aspersión.

La determinación de número de plantas se realizó un mes antes de la cosecha, contando por cada tratamiento el número de plantas que se encuentren dentro de las 3 hileras centrales de cada tratamiento. Por cada tratamiento se contó el número de panojas en las tres hileras centrales de cada tratamiento contando las panojas que tengan una cantidad de grano sobresaliente por cada planta. Tanto número de plantas como número de panojas se reportan por m². Cuando las plantas llegaron al punto de madurez se cosecharon las panojas de la parcela efectiva y se secaron para proceder con la trilla y limpieza de las semillas, se registró el peso en kilogramos por parcela neta y se proyectó a kilogramos por hectárea.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro- Wilks para los residuales de la variable número de plantas/m² y se encontró que los datos presentan un comportamiento normal con un $p = 0,688$. El análisis de varianza realizado para número de plantas/m², presentó diferencia altamente significativa para dosis, con un coeficiente de variación de 11,54 %.

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro- Wilks para los residuales de la variable número de panojas/m² y se encontró que los datos presentan un comportamiento normal con un $p = 0,6386$. El análisis de varianza realizado presentó diferencias altamente significativas para las dosis y la interacción dosis por cultivo de cobertera, con un coeficiente de variación de 8,39 %.

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro- Wilks para los residuales de la variable rendimiento Kg/ha y se encontró que los datos presentan un comportamiento normal con un $p = 0,4028$. El análisis de varianza realizado (Tabla 1), presentó diferencias altamente significativas para los cultivos de cobertera, las dosis y la interacción dosis*CC, con un coeficiente de variación de 7,10%.

Tabla 1: Análisis de varianza para rendimiento de quinua kg/ha

F.V.	gl	F	p-valor	Significancia
Bloques	3	1,55	0,3642	ns
Cultivo de cobertera CC	1	124,25	0,0015	**
Error A	3	0,6	0,6260	
Dosis	2	266,96	<0,0001	**
Dosis*CC	2	6,25	0,0138	**
Error B	12			
Total	23			
CV	7,10			

En la prueba LSD Fisher al 10 % para el rendimiento Kg/ha entre la interacción CC*Dosis (Grafico 2) se determinó el mayor rendimiento para la vicia con dosis de 150 kg N/ha con media de 1425 kg/ha, seguido por el centeno y la vicia con dosis de 150 y 75 kg N/ha respectivamente y medias de 1070 y 1062 kg/ha, respectivamente. Los menores rendimientos se obtuvieron cuando no se aplicó nitrógeno. Cabe indicar el beneficio de la rotación sin aplicación de N es de 135,44 kg/ha de grano.

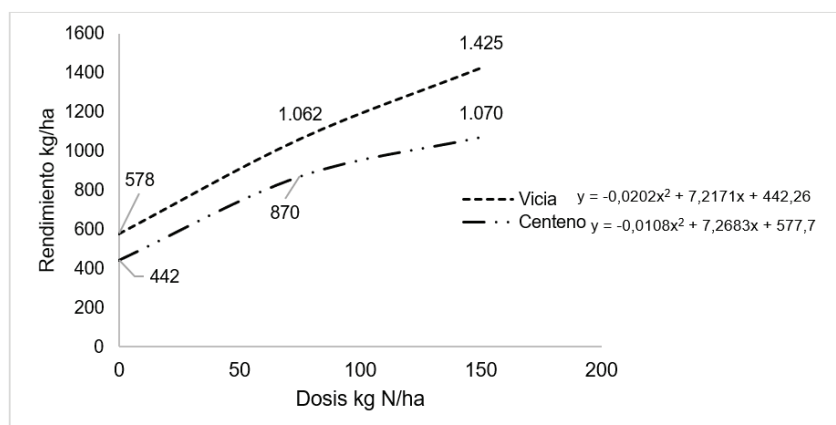


Figura 1. Interacción de Cultivos de cobertera* Dosis con respecto al rendimiento Kg/ha



Con respecto a la relación del rendimiento con el número de plantas por metro cuadrado, el mayor número se obtuvo con el cultivo de cobertera vicia siendo la media de 67,5 plantas/m², por lo que se muestra que existe una relación altamente significativa con el rendimiento lo que se revalida con la prueba de correlación que nos muestra $r = 0,77$ lo que señala que existe asociación entre el número de plantas y el rendimiento, el cultivo de cobertera vicia aportó mayor cantidad de nitrógeno al cultivo de quinua y permitió tener plantas más vigorosas con panojas de mayor tamaño y mayor ramificaciones. Según García et al (2017), la aplicación de Nitrógeno determina el rendimiento de la cosecha, la cantidad suministrada y la disponibilidad de este elemento para la planta se relaciona con el desarrollo de actividades fisiológicas, fenológicas y productivas. Por esta razón las altas aplicaciones tendrán influencia en el metabolismo y aumento en el número de órganos como hojas, tallo y flores lo que se relaciona directamente con la producción, esto se puede comparar con la variable número de panojas donde la cobertera de centeno presentó mayor número de panojas, pero al tener menos aporte de nitrógeno por parte del cultivo de cobertera las plantas presentaron menor tamaño, ramificación y las panojas fueron mayores en número mas no en longitud. La dosis de nitrógeno que obtuvo el mejor rendimiento fue la dosis de 150 kg N/ha con un rendimiento de 1247,8 kg/ha y tomando en cuenta por lo mencionado por Grarcía et al., (2017), este mayor rendimiento está relacionado a que el nitrógeno determina el rendimiento de la cosecha y se relaciona con estudios realizados en el ámbito nutricional de la quinua por (Caballero, 2015), que demuestran que con una cantidad de 283 kg N/ha se obtiene un rendimiento de 2566 kg/ha. En las condiciones de este experimento a 150 kg N/ha el cultivo parece entrar en rendimientos decrecientes tanto con vicia como con centeno.

CONCLUSIONES

Analizando los dos cultivos de cobertera y dosis de Eco abonaza se concluye que la mejor combinación para el cultivo de *Chenopodium quinoa* fue con vicia y dosis de 150 Kg N/ha debido a que con esta combinación se obtuvo el mejor resultado en rendimiento con 1425.3 Kg/ha. De las observaciones en campo se puede concluir que el centeno como cultivo de cobertera presenta ventaja en cuanto a bajo crecimiento de malezas y la alta retención de humedad después del riego o precipitación, por la alta producción de materia seca que queda después del apizado. La dosis de 150 kg N/ha de Eco Abonaza obtuvo los mejores resultados tanto para la cobertera de vicia y centeno alcanzando mayor número de plantas, número de panojas y rendimiento de grano por ha en comparación con las otras dosis.

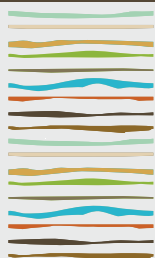
BIBLIOGRAFIA

- Arias, A. (2017). *Fomento a la producción de derivados de quinua y sus para la diversificación de exportaciones no tradicionales en el período 2009-2015*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13681/Disertación final Arias Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13681/Disertación%20final%20Arias%20Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Caballero, A. (2015). *Evaluación de la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo- planta bajo condiciones de riego por goteo y secano en el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa Willd), en el Altiplano Central de Bolivia*. Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13410>
- El Universo. (2013). *13 países hablan del consumo y la producción de la quinua*. Otavalo. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2013/07/12/nota/1150171/13-paises-hablan-consumo-produccion-quinua/#:~:text=Con la participación de más,la Quinoa en Ibarra%2C Imbabura>
- García, M., García, J., Melo, D., & Deaquiz, Y. (2017). Respuesta Agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada-Boyacá. *Cultura científica*, (15), 66–77.
- Jacobsen, S.-E., & Sherwood, S. (2002). *Cultivo de granos andinos en ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto* (Aba-ya-Yala). Ecuador.
- Mujica, Á. (2015). El origen de la quinua y la historia de su domesticación. *Tierra Adentro*, 14–17.
- Ortega, M. (2015). *Diagóstico situacional de la agricultura orgánica en el Ecuador. El comercio justo como alternativa socioeconómica sustentable para los pequeños productores de babano orgánico de la provincia del Oro hacia el mercado europeo*. Universidad de Guayaquil.
- Rodale Institute (2022) Roller crimper blueprints. Recuperado de <https://rodaleinstitute.org/education/resources/roller-crimper-blueprints/>



- Rojas, L. (2001). La labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 209–212. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43712213>
- Rojas, W., Alandia, G., Irigoyen, J., Blajos, J., & Santivañez, T. (2011). La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Oficina Regional para America Latina y el Caribe, FAO*, 37, 66. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>
- Salinas, J. R., Díaz, A., Garza, E., & Garza, I. (2005). Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción de frijol. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(1), 30–34. <https://doi.org/10.1080/11358120509487668>





EFFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE LA INTERACCION DENSIDAD DE SIEMBRA:DOSIS DE NITROGENO EN MAIZ

Cerliani, C.^{1*}, D. Bolinger¹, G. Martínez Bologna¹, M. Fissore¹, R. Naville¹, G.P. Esposito¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto;

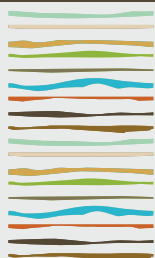
* Ruta Nacional 36, km 601, (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, ccerliani@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El rendimiento de maíz es afectado por la interacción entre la densidad de siembra y la dosis de nitrógeno (N) a aplicar, en estudios previos se encontró que cuando la densidad es la óptima agronómica, la oferta de N por planta (suelo 0-60 cm + fertilizante) se mantienen dentro de un rango que varía entre 1.5 y 3.5 gN pl⁻¹. Una de las posibles causas de esta variación puede ser el efecto del cultivo antecesor, ya que cultivos antecesores como gramíneas que dejen residuos en el lote con una mayor relación C/N pueden generar inmovilización del N. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de distintos cultivos antecesores sobre la respuesta del rendimiento de maíz tardío a la interacción entre la densidad de siembra y la dosis de N aplicado. Para ello, se llevó a cabo un experimento en la región sur de Córdoba (Canals), se sembró el 15 de diciembre de 2021 con el híbrido NEXT 22.6. Se evaluaron 2 cultivos antecesores: Soja y Maíz. Se sembraron 4 densidades de siembra (30000, 60000, 90000 y 120000 semillas ha⁻¹), y en el estadio fenológico de V6 se realizó una re-fertilización con N según 4 niveles: 0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ de N, empleando urea como fuente. Antes de la aplicación de N se realizó un análisis de suelo y se determinó la disponibilidad de N-NO₃⁻ en los primeros 60 cm de suelo. A cosecha se determinó el rendimiento de cada densidad y dosis de N en cada antecesor y con los datos obtenidos se ajustó un modelo de regresión entre rendimiento de maíz y la densidad de siembra, la dosis de N y la interacción de ambas variables. A partir de esta función, mediante la optimización simultánea se obtuvo la densidad óptima económica (DOES), la dosis óptima económica de N (DOEN) y el rendimiento alcanzado con estas dosis.

Los resultados indicaron que en ambos antecesores hubo efecto de la interacción entre la densidad de siembra y la dosis de N sobre el rendimiento de maíz. En el antecesor Soja la DOES fue de 97969 semilla ha⁻¹ y la DOEN de 52 kg ha⁻¹, alcanzando un rendimiento de 11974 kg ha⁻¹; mientras que en el antecesor maíz la DOES fue de 51230 semilla ha⁻¹, la DOEN de 109 kg ha⁻¹ de N y el rendimiento de 10073 kg ha⁻¹. Estos resultados indican que el antecesor soja alcanza un mayor rendimiento que el antecesor maíz, sin embargo, la dosis de N a aplicar fue inferior. El N ofrecido por planta fue de 1.79 g semillas⁻¹ en el antecesor soja y de 4.07 g semilla⁻¹ en el antecesor maíz, indicando una mayor eficiencia de uso de N en el antecesor soja. Estos resultados confirman que el cultivo antecesor afecta la cantidad de N que debe ofrecerse a cada planta cuando está en su densidad óptima económica.

Palabras clave: maíz tardío, N por planta, EUN.



CONCENTRACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO EN SUELOS BAJO DIFERENTES PASTURAS EN EL ESTE CHAQUEÑO

Céspedes Flores, F.E.^{1*}, I.P. Mónaco¹, J.A. Fernández²

¹ EEA Colonia Benítez-INTA;

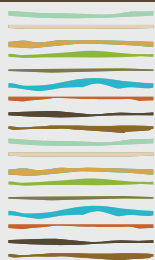
² Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE;

*Av. Marcos Briolini 750, C.P. 3505, Localidad Colonia Benítez, Prov. de Chaco, cespedes.flora@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración de Carbono y Nitrógeno en suelos del este chaqueño. El ensayo se realizó en 13 sitios de muestreos del área de influencia de la E.E.A. INTA Colonia Benítez (Chaco), donde no hay registro de estas mediciones. La zona corresponde al Parque Chaqueño Húmedo, posee un clima templado húmedo sin estación seca. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar. En cada sitio de muestreo se trazaron tres transectas, extrayendo una muestra compuesta de suelo por profundidad (de 0-0,10 m y de 0,10-0,30 m) y por cada sitio de muestreo. Las muestras fueron llevadas a laboratorio, secadas al aire y tamizadas por malla de 0,5 mm, determinándose carbono orgánico por Walkley Black y nitrógeno total por Kjeldhal, se caracterizaron los sitios evaluados mediante la cobertura aérea. Los sitios de muestreo considerados estaban destinados al uso de pasturas de *Chloris gayana* cv. Callide (sitio 1, 9, 10 y 11), *Urochloa brizantha* cv. Marandú (sitio 2), *Chloris gayana* cv. Katambora (sitio 3), *Hemarthria altissima* (sitio 4 y 13), *Setaria sphacelata* cv. Narok (sitio 5), *Chloris gayana* consociación cv. Epica y Fine cut (sitio 6), *Urochloa híbrido* cv. Mulato 1 (sitio 7), *Urochloa híbrido* cv. Mulato2 (sitio 8) y *Brachiaria arrecta* x *Brachiaria mutica* (sitio 12). Los resultados de concentración de Carbono en suelo a 0,10 m de profundidad para el sitio 9 fue el de mayor valor significativo y el sitio 8 fue el de menor valor significativo (0,72 y 2,5 g de C 100 g de suelo⁻¹ respectivamente), el resto de los sitios registraron valores intermedios entre los mencionados. Para la profundidad de 0,20 m los sitios 5 y 9 fueron los de mayor valor significativo (1,3 y 1,33 g de C 100 g de suelo⁻¹ respectivamente), mientras que los sitios 2 y 8 fueron los de menor valor significativo (0,55 y 0,53 g de C 100 g de suelo⁻¹ respectivamente), el resto de los sitios registraron valores intermedios entre ambos. Los resultados de concentración de Nitrógeno en suelo a 0,10 m de profundidad para el sitio 9 fue el de mayor valor significativo (0,23 g de N 100 g de suelo⁻¹), mientras que los sitios 2, 8 y 11 fueron los de menor valor significativo (entre 0,07 y 0,08 g de N 100 g de suelo⁻¹), el resto de los sitios registraron valores intermedios entre éstos. Para la profundidad de 0,20 m el sitio 10 fue el de mayor valor significativo (0,15 g de N 100 g de suelo⁻¹), mientras que los sitios 2, 3, 7, 8, 11, 12 y 13 fueron los de menor valor significativo (registraron valores entre 0,05 y 0,07 g de N 100 g de suelo⁻¹ respectivamente), el resto de los sitios registraron valores intermedios entre los mencionados. En los datos preliminares de concentración de Carbono y Nitrógeno obtenidos, se puede deducir que la potencialidad para almacenar carbono en suelo bajo estas pasturas evaluadas puede limitarse por la baja concentración de Nitrógeno en los mismos.

Palabras clave: reservorio de carbono, almacén de nitrógeno, megatérnicas.



EFFECTOS DEL USO DIGESTATO SOBRE LA CONDICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y QUÍMICA DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ

Chilano, Y.^{1,2*}, M.S. Amín^{1,2}, M.D. Bongiovanni^{1,3}

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad Nacional de Río Cuarto;

² ISTE (UNRC-CONICET); ³ INIAB (UNRC-CONICET);

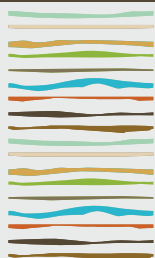
* Ruta Provincial 36, km 601, (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, ychilano@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

Durante los últimos años se incrementó el número de plantas de biogás en distintas regiones de nuestro país, motivados en aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética. En consecuencia también se han incrementado la producción de digestato, un subproducto derivado de la digestión anaeróbica, que es biológicamente estable, de alto valor nutricional para los cultivos y que debe tener un uso final apropiado evitando cualquier impacto ambiental negativo, para que la producción de biogás sea sustentable. Según antecedentes el impacto de la acumulación de digestato puede mitigarse si se lo utiliza como biofertilizantes en la producción agrícola, mejorando algunas propiedades de los suelos y el rendimiento de los cultivos. Los objetivos de la investigación son: evaluar la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de digestato como biofertilizante y determinar si la aplicación de digestato en sistemas agrícolas produce cambios en la condición físico-química y química del suelo. Para ello se estableció, en un suelo clasificado como Haplustol típico ubicado en cercanías de la Ciudad de Río Cuarto (Córdoba), un experimento de campo con 5 tratamientos: D1, D2 y D3 (con aplicación de digestato en dosis de 90, 180 y 270 m³ha⁻¹año⁻¹ respectivamente), F (aplicación de fertilizantes inorgánicos) y T (testigo sin aplicación) en los cuales se sembró un cultivo de maíz. Se monitorearon los efectos de fitotoxicidad y se determinó el rendimiento del cultivo de maíz; en el suelo, al finalizar el ciclo del cultivo, se evaluó conductividad eléctrica (CE) y pH hasta el metro de profundidad; y bases de intercambio en los primeros 20 cm. Los resultados muestran que la aplicación de digestato no produce efectos fitotóxicos en el cultivo. Todos los tratamientos (con aplicación de digestato o fertilizante inorgánico) presentan un rendimiento superior al testigo con diferencias estadísticamente significativas, no encontrándose diferencia entre F y los tratamientos con digestato. En el suelo, no se encontraron cambios significativos en el pH hasta el metro de profundidad, mientras que la CE manifestó un aumento con significancia estadística con respecto al resto de los tratamientos, alcanzando valores máximos de 0,56 dSm⁻¹. La saturación con bases y la saturación con calcio no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a la saturación con magnesio, potasio y sodio, se hallaron aumentos estadísticamente significativos para la dosis más alta de aplicación de digestato. Para las condiciones experimentales establecidas en este ensayo, se comprobó que la aplicación de digestato genera efectos positivos sobre el rendimiento del cultivo de maíz, equiparándose a la fertilización inorgánica, y en el suelo, tiene influencia en la CE y en la proporción de cationes en el complejo de cambio. Si bien, los valores encontrados de CE y saturación con sodio se presentan en un rango adecuado para el desarrollo del cultivo existe la necesidad de monitoreo de los suelos, para impedir procesos de alcalinización y salinización debido a la calidad de los digestatos.

Palabras clave: nutrición, contaminación, bioenergía.





EL USO DE NANOFERTILIZANTES IMPACTA EN EL PORCENTAJE DE MICORRIZACION Y RENDIMIENTO DE SOJA

Ciacci, M. B^{1,2,5}; Giachero, M. L.^{1,3,4}; Rosa, M. ⁶; Guerra da Silva A⁶

¹ INTA-CIAP

² IFRGV,

³ IPAVE,

⁴ CONICET-UFYMA,

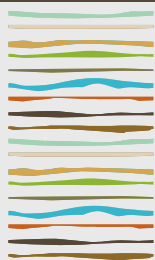
⁵ CONICET-UDEA,

⁶ UNIRV

RESUMEN

El mayor desafío al que se enfrenta la agricultura es el de aumentar la producción de alimentos, garantizando el menor impacto en el medio ambiente. Productores rurales de áreas agrícolas del municipio de Río Verde-Goiás (Brasil) buscan mejorar la productividad del cultivo de soja, poniendo el foco en las condiciones nutricionales del suelo. Una buena condición de fertilidad del suelo implica que los elementos estén presentes en niveles adecuados y que, en caso de incorporarlos de manera externa, no causen contaminaciones. La aplicación de nanofertilizantes (NF) es una tecnología prometedora para mejorar la producción agrícola utilizando menores cantidades de insumos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de NF (MIST-P y MIST TPS) en el desarrollo de soja en áreas agrícolas del municipio de Río Verde-Goiás. Se realizaron 3 tratamientos: manejo tradicional del productor (MTP; T1); MTP+ 3L/ha MIST-P (20,5%) (T2) y MTP + 3 L/ha MIST TPS (Ca 40,6%, Mg 11,9% y S 34,2%) + MIST-P (T3). Se conformaron parcelas de 4 m² siguiendo un diseño completamente aleatorizado con 6 repeticiones por tratamiento. Se evaluó el porcentaje de micorrización, el contenido de fósforo (P) en hoja y raíz y el rendimiento (kg ha⁻¹) 118 días después de la emergencia. Los resultados mostraron un significativo aumento de la micorrización total luego de la aplicación de nanopartículas. El tratamiento T3 alcanzó un 29.8% más de micorrización respecto a T1, con un mayor contenido de P, tanto en hoja (25.8%) como en raíz (29.3%). Los tratamientos con NF (T2 y T3) superaron en rendimiento al manejo tradicional (T1). T3 rindió un 14.6% más respecto a T1 mientras que T2 alcanzó un 10% más. Estos resultados muestran que el uso de NF no solo aumentan el rendimiento del cultivo de soja, sino que también incrementa el porcentaje de micorrización, impactando en el contenido de P en raíz y hoja. Esto nos lleva a pensar que podría ser una alternativa de fertilización eficiente y complementaria a las prácticas de manejo tradicionales.

Palabras clave: Soja, Nanofertilizantes, Micorrizas, Rendimiento.



ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO MÉDIO PARA ESTIMAR A CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DE *ILEX PARAGUARIENSIS*

Chemin, C.¹, G. Naibo², J. Brilhante³, B. Lisboa³, L. Kayser³, J.M. Moura-Bueno⁴

¹Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS, claytonchemin69@gmail.com;

²Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS;

³Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul (SEAPDR);

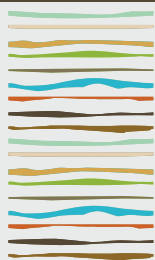
⁴Universidade de Cruz Alta e Pós-doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM;

RESUMO

A espectroscopia para estimar a concentração de nutrientes em tecido vegetal tem sido estudada e utilizada com sucesso para diversas espécies de plantas por ser uma técnica não destrutiva, precisa e rápida. Contudo, sua aplicabilidade ainda não foi estudada para estimar a concentração de micronutrientes em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), utilizada nas bebidas mais emblemáticas da América Latina, tais como o mate e o tererê. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso da espectroscopia de infravermelho médio (IVM) acoplada com modelos multivariados e técnicas de pré-processamento para estimar a concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em tecido vegetal de erva-mate. Coletou-se 111 amostras de tecido foliar em ervais localizados no Rio Grande do Sul, Brasil, nos polos ervateiros da região do Alto Taquari (n= 53), Alto Uruguai (n= 19), Nordeste Gaúcho (n= 19), Missões (n= 14) e região dos Vales (n= 6). As amostras foram compostas pela coleta de quatro folhas em cada quadrante da copa de pelo menos dez árvores, tomadas de forma aleatória, por erval. Estas foram secas em estufa a 60°C, moídas e peneiradas em malha de 2,0 mm e submetidas a digestão ácida com HNO₃ e HClO₄ concentrados para determinar Zn, Cu, Mn e Fe, e queima em forno “mufla” para B. Nos extratos, os teores de Cu, Fe, Zn e Mn foram determinados por espectrometria de absorção atômica e B por calorimetria. Os espectros de IVM (de 2500 a 18000 nm) das amostras de tecido foram obtidas em espectrômetro FTIR *Spectrum Two Perkin-Elmer*. Para avaliar a eficiência dos espectros em prever o teor dos micronutrientes nas amostras, utilizou-se três técnicas de pré-processamento espectral [*Detrend* (DET), *Savitsky-Golay derivative* (SGD) e *Standard Normal Variate* (SNV)] além dos dados brutos (RAW); e dois modelos de calibração multivariada [*Partial Least Squares Regression* (PLSR) e *Support Vector Machine* (SVM)]. O desempenho foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R²) e relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ). A concentração mínima, média, máxima e o desvio padrão para os micronutrientes foram: 30, 69, 141 e 22 mg kg⁻¹ para B, 0, 14, 30 e 4 mg kg⁻¹ para Cu, 0,156, 420 e 69 mg kg⁻¹ para Fe, 0, 1,5, 4,7 e 1,0 mg kg⁻¹ para Mn, 0, 73, 379 e 71 mg kg⁻¹ para Zn, respectivamente. O modelo SVM acoplado com o pré-processamento SGD resultou em melhores previsões comparado ao PLSR em todos os elementos avaliados: B com R² 0,99 e RPIQ 15,1, Cu com R² 0,99 e RPIQ 10,3, Fe com R² 0,99 e RPIQ 9,6, Mn com R² 0,99 e RPIQ 14,7, e Zn com R² 0,99 e RPIQ 10,3. Os resultados evidenciam que a combinação de diferentes métodos de calibração e pré-processamentos espectrais tem maior acurácia nas estimativas, quando comparados com os espectros brutos sem aplicação de pré-processamentos espectrais. Os micronutrientes B, Zn, Cu, Mn e Fe podem ser estimados por meio da espectroscopia de refletância difusa na faixa espectral infravermelho médio com alta acurácia.

Palavras chave: erva-mate, elementos químicos, métodos multivariados.





XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

FERTIRRIEGO CON MACRO Y MICRONUTRIENTES EN EL CULTIVO DE LIMONERO (*Citrus limón*) EN TUCUMÁN

Correa, O.R.^{1*}, F.A. Sosa¹, G.A. Sanzano¹, R.F. Madrid¹, I. Fernández Landaburu², H.S. Salas Lopez¹

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. William Cross 3150. (T4101XAC) Las Talitas, Tucumán.

²Nutriterra S.A.

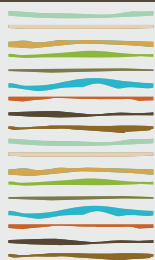
*rcorrea@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La fertilización del limonero en la provincia de Tucumán se basa en el aporte anual de nitrógeno y fósforo en etapas tempranas. Este manejo se fundamenta en experiencias realizadas en secano. El riego complementario permite incorporar áreas con limitantes climáticas y edáficas. La incorporación del fertirriego en estos suelos aumenta la producción, optimiza el uso de los recursos y plantea nuevos interrogantes referidos a la demanda de nutrientes y el efecto de la práctica sobre el medio edáfico. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento productivo del limonero a la aplicación de distintos nutrientes aplicados por fertirriego y su efecto en el suelo. Se estableció un ensayo en limonero Lisboa injertado sobre Citrange C35 de cinco años desde plantación, irrigado por goteo mediante un lateral por fila, e implantado en un suelo franco con presencia de carbonatos. Se evaluaron combinaciones de aportes de nitrógeno (N); fósforo (P); potasio (K); magnesio (Mg) y zinc (Zn). Los tratamientos fueron: N, NP, NK, NPK y NPKMgZn. Las dosis por ha y año de edad fueron 18,7; 2,8; 4,7; 15,6 y 0,3 kg para N, P, K, Mg y Zn respectivamente. Se establecieron tres etapas de aplicación, la distribución de los nutrientes se realizó según su demanda por parte de la planta en estos periodos. Las fertilizaciones se realizaron con soluciones nutritivas de reacción ácida a una frecuencia promedio de 15 días. Se utilizó un diseño estadístico en bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela consistió de una fila de 21 plantas. Las variables estudiadas fueron rendimiento cultural, concentración de nutrientes en hoja, pH y carbonatos totales en suelo en el bulbo de humedecimiento. Estas variables se registraron anualmente durante tres campañas. Los resultados fueron analizados mediante análisis de la varianza y la comparación de medias se realizó con el test de DGC ($p < 0,05$). Las sumatorias del rendimiento estimado ($Tn\ Ha^{-1}$) de las dos últimas campañas fueron 87,4; 91,6; 103; 104 y 104,4 $Tn\ Ha^{-1}$ para N, NP, NPKMgZn, NK y NPK respectivamente. NK, NPK y NPKMgZn no se diferenciaron significativamente entre sí, pero sí lo hicieron respecto a N y NP. No se encontraron diferencias significativas entre N y NP. La composición foliar no fue afectada significativamente por los tratamientos ensayados, los valores encontrados fueron los esperados para altas producciones en limonero Lisboa. No se observaron diferencias entre tratamientos en el pH y la concentración de carbonatos del suelo, sin embargo, estas variables se redujeron significativamente desde el primer año. La inclusión de K en el programa de fertilización incrementó significativamente los rendimientos de fruta fresca. La práctica del riego y/o fertirriego redujo los parámetros edáficos pH y contenido de carbonatos, lo que podría causar mejoras en la absorción de P y micronutrientes estimulando de esta manera la nutrición de las plantas.

Palabras clave: suelo calcáreo, potasio.





FONTES DE NUTRIENTES EM VINHEDOS ORGÂNICOS VISANDO O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE UVAS

Costa, V.F.^{1*}, L.H. Bandera¹, P.P. Rauber¹, A.A.S. Kokkonen², T.L. Tiecher³

^{1*}Graduando (a) em Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - vanessinhacosta2000@hotmail.com;

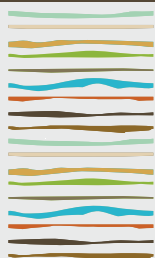
² Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM;

³ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Rio Grande do Sul – IFRS, campus Restinga.

RESUMO

A vitivinicultura é uma atividade de grande importância no Rio Grande do Sul, estado com maior produção de uvas e vinhos, com destaque para a região da Serra Gaúcha. Parte dos vitivinicultores da região adotam sistemas orgânicos de produção, utilizando fontes orgânicas para adubação, como compostos e vermicompostos. Contudo, não se conhece suficientemente as melhores fontes de nutrientes para se obter maior produtividade e qualidade de uvas. O objetivo deste estudo foi testar diferentes fontes de nutrientes em videiras cultivadas em sistemas orgânicos de produção, visando a obtenção de maiores produtividades e qualidade das uvas. O vinhedo foi conduzido em sistema de latada, com a cultivar 'Isabel' (*Vitis labrusca*), enxertada sobre o porta-enxerto 'Paulsen 1103'. Durante a condução do experimento, as videiras foram adubadas com diferentes tratamentos: controle (Ct), composto (Co), vermicomposto (Vc), adubação mineral, com fosfato natural e sulfato de potássio (Mi), composto mais suplementação mineral (Co+Mi) e vermicomposto mais suplementação mineral (Vc+Mi). O composto e vermicomposto referidos têm origem do bagaço da uva da produção local. A dose de fertilizante orgânico foi de 40 kg N ha⁻¹. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, com três repetições para cada tratamento e cinco plantas por parcela. Foram avaliadas as safras 2020/2021 e 2021/2022. Em cada safra, na colheita, foi pesado a massa da produção de uvas das três plantas avaliadas, usando balança digital para determinação da produtividade. Os sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), antocianinas e compostos fenólicos foram determinados nas bagas. A produtividade de uvas foi diferente entre os tratamentos, independentemente da safra, sendo maior nos tratamentos controle e Co em relação aos demais, que não diferiram entre si. Quanto ao efeito de safra, a média da produtividade da safra 2021/22 foi 33,4% menor que a da safra 2020/21. A composição química das bagas não apresentou diferença entre os tratamentos para os parâmetros SST, ATT e concentração de compostos fenólicos. Porém as médias foram 15,7%, 17,1% e 11,3% maiores na safra 2021/22 em comparação à safra 2020/21, respectivamente. A concentração de antocianinas, entretanto, não diferiu entre safras, mas foi menor nos tratamentos controle e Co em comparação aos demais, que não diferiram entre si. A diferença entre safras se deve às variações climáticas de cada ano. Portanto, conclui-se até o momento, que não é possível fazer uma recomendação prévia sobre qual fertilizante orgânico garante melhor qualidade e maior produtividade dos vinhedos, visto que a curto prazo o tratamento controle teve maiores produtividades em relação aos demais tratamentos.

Palavras chave: Agricultura orgânica; vitivinicultura; fertilidade do solo.



EFFECTO DE VICIA COMO CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL RENDIMIENTO DE CEBADA

Crespo, C.^{1,2*}, J. Igarza¹, G. Divito³, P. Barbieri^{2,4}

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

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

³ Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID),

⁴ Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce (INTA)

* Ruta Nacional 226, km 73,5, (B7620BKL) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, ccrespo@mdp.edu.ar

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más condiciona el rendimiento y la calidad de la cebada (*Hordeum vulgare* L.). La utilización de vicia (*Vicia Villosa* R.) como cultivo de cobertura (CC) antecesor a la cebada podría disminuir los requerimientos nitrogenados de la cebada. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la vicia sobre el rendimiento del cultivo de cebada en un establecimiento del Sudeste Bonaerense. El diseño experimental del ensayo fue en parcelas divididas con tres repeticiones. A la parcela principal se le asignó el factor "Antecesor" (Vicia y Testigo (barbecho químico) y las sub-parcelas el factor "fertilización nitrogenada de cebada" (0, 140, y 250 kg N ha⁻¹). En el suelo se determinó el contenido de N de nitrato (N-NO₃⁻) y el N mineralizado en anaerobiosis (Nan); en la vicia se determinó la acumulación de materia seca (MS) en biomasa aérea y el N en biomasa aérea; y en la cebada se midió el índice de verdor (IV), rendimiento en grano y concentración de proteína en grano. El cultivo de vicia acumuló 4 Mg MS ha⁻¹ y 137 kg N ha⁻¹. El N-NO₃⁻ a la siembra de la cebada no varió entre antecesores, pero el Nan fue casi un 50% superior en el tratamiento de vicia. Ambos antecesores mostraron incrementos en el IV ante aumentos en la dosis de N, sin embargo, la magnitud de dicho incremento fue mayor en la situación de Testigo. El rendimiento del testigo aumentó con el agregado de N, pero con antecesor Vicia, no se observó respuesta a la fertilización. Se determinó una interacción entre el antecesor y la dosis de N sobre la concentración de proteína en grano. Realizar una siembra temprana del cultivo de vicia, permitió acumular N que luego pueden ser utilizado por el cultivo siguiente.

Palabras clave: cultivos de cobertura, cebada, N-NO₃⁻.

INTRODUCCION

En zonas templadas como el Sudeste Bonaerense, el uso de leguminosas como cultivos de cobertura (CC) ha cobrado gran relevancia. Entre las que presentan mejor adaptación como CC se encuentran las vicias (*Vicia Villosa* R. y *Vicia Sativa* L.). La utilización de dichas especies puede tener un rol en el mantenimiento de la productividad del suelo a través de la fijación de nitrógeno (N) y recuperación de nutrientes en profundidad (Ruffo y Parsons, 2004). La temperatura óptima de crecimiento de vicia es entre 20-25 °C (Teasdale et al., 2004), mayor a la requerida por otras especies de crecimiento invernal. Así, para lograr un buen establecimiento del cultivo y que el mismo pueda expresar sus beneficios al sistema, debe ser sembrada temprano en otoño. Por este motivo, un adelanto en la fecha de siembra favorecería la producción de materia seca (MS) previo al otoño, pudiendo ser utilizada como antecesor para cultivos de invierno.

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en la Provincia de Buenos Aires representa el 84,5% de la producción nacional, con una participación del Sudeste Bonaerense del 38% (MAGPyA, 2021). El N es el nutriente que más condiciona el rendimiento y la calidad de la cebada, por lo tanto, es necesario contar con una oferta



adecuada de este nutriente para garantizar la productividad de la cebada. La utilización de vicia como cultivo antecesor a la cebada podría disminuir los requerimientos nitrogenados de la cebada, disminuyendo los costos de fertilización, y aumentando la eficiencia de uso de N. El objetivo de este trabajo fue, para una rotación vicia-cebada creciendo en el Sudeste Bonaerense cuantificar la respuesta en rendimiento en grano y contenido de proteína del cultivo de cebada a la fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en un establecimiento ubicado en el partido de Necochea, provincia de Buenos Aires, Argentina, en el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2020. El suelo es una asociación compuesta por Argiudol típico (serie Necochea 80% y serie Semillero Buck 10%) y Argiudol típico y petrocálcico (serie Tres Arroyos 10%) (Soil Survey Staff, 2014; INTA, 1979), con 3,6% de materia orgánica y 22,6 ppm de fósforo extractable. El diseño experimental del ensayo fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con tres repeticiones. A la parcela principal se le asignó el factor el factor "Antecesor" con dos niveles: Vicia y Testigo (barbecho químico). A las sub-parcelas se les asignó el factor "fertilización nitrogenada de cebada" con tres niveles: 0, 140, y 250 kg N ha⁻¹. La vicia se sembró el 30 de enero con una densidad de 20 kg ha⁻¹. Por su parte, el tratamiento testigo se mantuvo libre de malezas mediante el control químico de las mismas. El secado químico de la vicia se realizó el 11 de mayo, se aplicaron 2 L ha⁻¹ de glifosato. La siembra de la cebada se realizó el 16 de julio. Se utilizó la variedad Andreia, y se sembró con una densidad de 165 kg ha⁻¹ y una fertilización de 110 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico. La fertilización nitrogenada del cultivo de cebada se realizó en el estadio de 3 hojas, en los tratamientos correspondientes, con Urea. La cebada fue cosechada el 15 de diciembre.

Se realizaron las siguientes determinaciones: 1) en el suelo: contenido de N-NO₃⁻ por colorimetría con el método del ácido fenoldisulfónico (Keeney y Nelson, 1982) a la siembra (0-20 y 20-40 cm) y N anaeróbico (Nan) mediante el método de incubación anaeróbica corta (7 días) a 40 °C (Waring y Bremner, 1964); 2) en la vicia: Acumulación de materia seca (MS) en la biomasa aérea, N en la biomasa aérea, y relación carbono (C)/N; 3) en la cebada: el estatus nitrogenado en espigazón mediante la medición del índice de verdor (IV, medidor de clorofila Minolta SPAD 502), la acumulación de N en grano según el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y rendimiento en grano. Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) como el cociente entre el promedio de las 20 lecturas de IV realizadas en cada tratamiento, y el valor más alto de índice de verdor determinado en el ensayo. Se utilizó un factor de corrección de 6,25 para transformar los valores de N en %proteína en grano.

Se realizaron análisis de la varianza utilizando el procedimiento ANOVA incluido en el programa estadístico R (R Core Team, 2018). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSION

La precipitación total del período de estudio (918 mm) fue mayor que la mediana histórica (577 mm) (Figura 1a). Las precipitaciones durante el ciclo de la vicia (febrero-mayo) fueron 202 mm superiores a la mediana histórica. En el ciclo del cultivo de cebada (julio-diciembre), las precipitaciones fueron inferiores a la mediana histórica para los meses de agosto y noviembre (Figura 1a). En general, las precipitaciones en el período crítico fueron elevadas, aunque en la segunda mitad del mismo se ve un leve déficit hídrico (Figura 1b). Por su parte, en el período de llenado de granos el déficit fue mayor, en especial en la segunda década de noviembre pudiendo haberse afectado en alguna medida el rendimiento de la cebada.



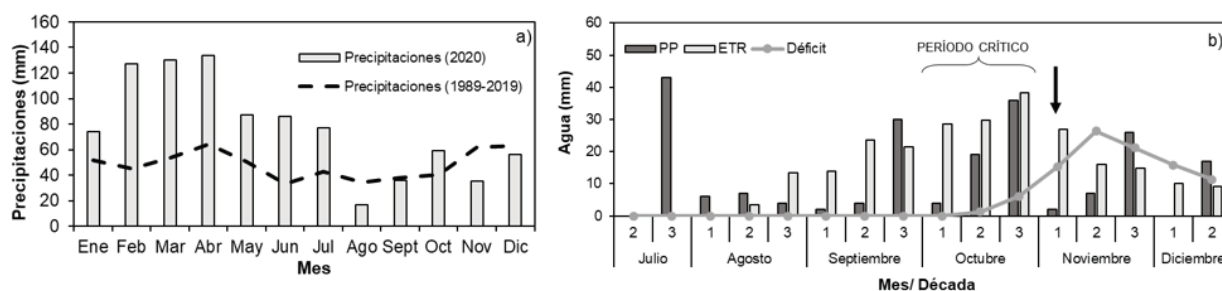


Figura 1: Precipitación (PP) mensual del periodo enero a diciembre 2020 y mediana mensual histórica del periodo 1989-2019 (a) y PP evapotranspiración real (ETR) y déficit hídrico decádico durante el ciclo del cultivo de cebada. La flecha indica el momento de floración.

La MS acumulada por la vicia fue de aproximadamente 4 Mg MS ha⁻¹. Resultados similares fueron presentados por Diez (2012) (4,5 Mg MS ha⁻¹) y Eliceche (2019) (3 a 5 Mg MS ha⁻¹) en el Sudeste Bonaerense, pero en muestreos realizados en septiembre-octubre y sobre cultivos sembrados en abril-mayo. La acumulación de N fue 137,1 kg N ha⁻¹. En general, los trabajos de esta región reportan resultados similares, y las variaciones se dan por la acumulación de MS y no por la concentración de N, que es relativamente constante durante el ciclo del cultivo (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Por su parte, la relación C/N fue baja, y se podría esperar que ante condiciones ambientales apropiadas se produzca mineralización del N contenido en tejidos vegetales (Echeverría y Sainz Rozas, 2015), aumentando su disponibilidad para la cebada.

Tabla 1: Materia seca (MS) de la biomasa aérea, nitrógeno (N) acumulado (Nac) y relación carbono (C) / N en la biomasa de vicia.

MS	Nac	Relación C/N
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
4166	137,1	13,1

El contenido de N-NO₃⁻ a la siembra del cultivo de cebada no mostró diferencias significativas entre el antecesor vicia y el testigo, encontrándose ambos tratamientos cercanos a 50 kg N ha⁻¹ (Tabla 2). Se encontraron diferencias significativas entre antecesores en el Nan a la siembra de cebada (Tabla 2), siendo mayor el valor en vicia. Este resultado indica que el potencial de mineralización con dicho antecesor es más alto que el testigo, lo cual se explica por las características del residuo de vicia (Tabla 1).

Tabla 2: Contenido de nitrógeno (N) como nitrato (N-NO₃⁻) y nivel de N anaeróbico (Nan) en el suelo a la siembra del cultivo de cebada. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre antecesores, según el test de mínima diferencia significativa ($p < 0,05$). Los valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

	N-NO ₃ ⁻		Nan	
	Testigo	Vicia	Testigo	Vicia
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----	
0-20 cm	28,68 (2,01) a	26,15 (4,05) a	43,47 (3,54) B	78,09 (6,55) A
20-40 cm	11,96 (3,24) a	15,43 (3,04) a		
40-60 cm	8,10 (1,96) a	10,99 (2,86) a		

Se determinó interacción significativa entre el antecesor y la fertilización nitrogenada para el ISN (Figura 2). En líneas generales, con ambos antecesores, se determinaron incrementos en el ISN ante aumentos en la dosis de N. Sin embargo, la magnitud de dicho incremento fue mayor en la situación de Testigo que con Vicia. En este sentido, el Testigo mostró una mejora del 25% entre 0 y 250 kg N ha⁻¹, mientras que Vicia presentó cambios de 10% entre tratamientos. Si bien el mayor valor de índice de suficiencia de N se registró en el tratamiento de Testigo con 250 kg N ha⁻¹, en los tratamientos con vicia los residuos de dicho CC podrían haber liberado N al sistema a través de procesos de mineralización disminuyendo así la respuesta al fertilizante.



Esto es particularmente marcado en los tratamientos sin N (0,83 vs. 0,74 para Vicia y testigo, respectivamente) que ponen en manifiesto el efecto del antecesor sobre este parámetro.

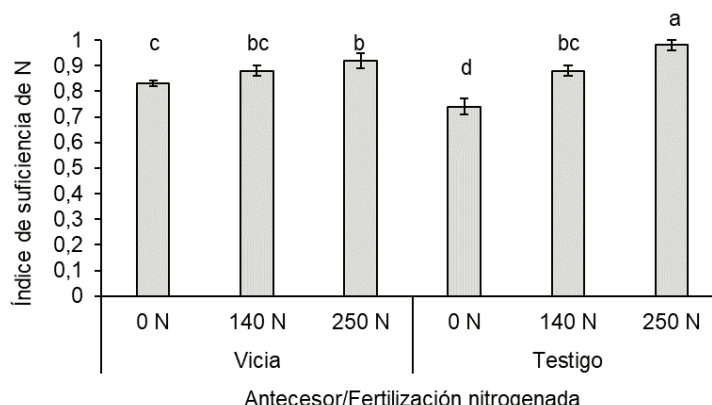


Figura 2: Índice de suficiencia de nitrógeno (N) en floración del cultivo de cebada para distintas dosis de N y antecesores. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test de mínima diferencia significativa ($p < 0,05$). Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media.

Se determinaron efectos significativos del antecesor y la fertilización con N sobre el rendimiento de cebada. En líneas generales, al comparar antecesores, se determinó un incremento en el rendimiento del 25% cuando el mismo era vicia respecto al testigo. La utilización de una leguminosa resulta beneficiosa en el aporte de N para el cultivo de cosecha posterior, ya que el residuo de las leguminosas se descompone rápidamente aportando N inorgánico para el cultivo siguiente, principalmente en las primeras etapas de su ciclo de crecimiento (Miguez y Bollero, 2005). Esto se relaciona a la calidad de dicho residuo, dada por una alta concentración de N y una baja relación C/N (Tabla 1). Cuando se comparó el rendimiento de los tratamientos sin N, se determinó una diferencia de 2600 kg ha⁻¹ entre antecesores. De este modo, se puede concluir que el uso de vicia como antecesor del cultivo de cebada suplió las necesidades nitrogenadas de dicho cultivo. Al comparar el efecto de la fertilización nitrogenada, se determinó un incremento en rendimiento en grano en tratamientos con agregado de N (Tabla 3). La dosis de 140 kg N ha⁻¹ mostró los rendimientos más altos, sin diferenciarse significativamente de la dosis más elevada.

Tabla 3. Rendimiento en grano (kg ha⁻¹) de cebada para distintas dosis de N y antecesores. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre dosis de N, y letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre antecesores, según el test de mínima diferencia significativa ($p < 0,05$). Los valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Antecesor	Fertilización Nitrogenada	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	
Testigo		5425 (456)	B
Vicia		6795 (309)	A
	0 N	5520 (632)	b
	140 N	6783 (448)	a
	250 N	6326 (389)	ab

Se determinó interacción significativa entre el cultivo antecesor y la dosis de N (Figura 3) sobre el %proteína en grano. Para el antecesor vicia, las dosis de 140 y 250 kg N ha⁻¹ superaron el umbral de 12%, y el tratamiento sin N se ubicó por debajo del valor mínimo (9,5 %) requerido por la industria. En cambio, para el antecesor Testigo, tanto 0 como 140 kg N ha⁻¹ presentaron valores inferiores al mínimo, y el tratamiento de 250 mostró más de 12% de proteína. Se ha determinado que la fertilización con N puede derivar en respuestas en el contenido de proteína, dependiendo de la disponibilidad inicial, la dosis y el momento de aplicación (Prystupa, 2005; Orcellet *et al.*, 2015). En este ensayo, la disponibilidad y el momento de aplicación fue igual para ambos antecesores, sin embargo, la respuesta en proteína varió entre dosis en función del antecesor (Figura

2). Prystupa *et al.* (2008) informaron que la fertilización en estadios avanzados del cultivo suele determinar incrementos en la proteína de los granos. Es probable que los residuos del cultivo de vicia hayan llevado a un incremento en el nivel de N edáfico en etapas tardías del ciclo de cebada, destinándose a la síntesis de proteínas, e incrementando los niveles de este componente en el grano.

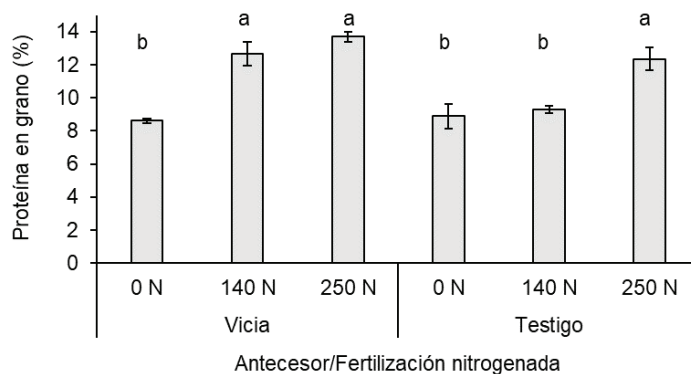


Figura 3: Proteína en grano (%) del cultivo de cebada para distintas dosis de N y antecesores. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test de mínima diferencia significativa ($p < 0,05$). Las barras verticales en cada columna indican error estándar de la media.

CONCLUSIONES

La utilización de CC en el Sudeste Bonaerense ha crecido marcadamente en los últimos años. Vicia es la leguminosa más utilizada en la zona, sin embargo, es planteada como un CC otoño-invernal, previo a la siembra de cultivos de verano. La inclusión de vicia en rotaciones que incluyen gramíneas de invierno, como la cebada, resultó de gran utilidad para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados, necesarios para cubrir los requerimientos de dicha gramínea.

Los antecedentes generados en este trabajo muestran que, ante una desocupación temprana del lote, se puede realizar una siembra temprana del cultivo de vicia, obteniendo buena cobertura, y acumulando N que luego pueden ser utilizados por el cultivo siguiente.

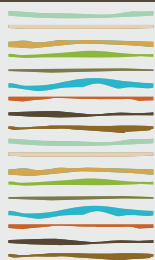
BIBLIOGRAFIA

- Azcón-Bieto, J & M Talón (Eds). 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw Hill-Interamericana, Madrid, España. 522 p.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. En: AL Page (ed.). Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Diez, SN. 2012. Uso de una leguminosa como alternativa de provisión de nitrógeno para mejorar la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L). Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. En: HE Echeverría; FO García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. pp. 227-276. Ediciones INTA.
- Eliceche, M. 2019. Efecto de cultivos de cobertura sobre la disponibilidad de nitrógeno y azufre en maíz. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. En: AL Page; RH Miller & DR Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Miguez, FE & GA Bollero. 2005. Review of corn yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. Crop Sci. 45:2318-2329
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2021. Estimaciones Agrícolas [Dataset] <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/> (Acceso: Septiembre de 2021)
- Orcellet, JM; NI Reussi Calvo; HE Echeverría; HT Sainz Rozas; N Diovisalvi & A Berardo. 2015. Eficiencia de uso de nitrógeno en cebada en el sudeste bonaerense: efecto de aplicaciones divididas. Ciencia del Suelo. 33: 97-105.



- Prystupa, P. 2005. Fertilización Nitrogenada y Azufrada en Cebada Cervecera. Módulo de Investigación del Proyecto Fertilizar ACINTA Informe de los resultados de la campaña.
- Prystupa, P. 2008. Fertilización nitrogenada de la cebada en la provincia de Buenos Aires. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Fac. de Agronomía, U.B.A.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. [En línea] < www.r-project.org > [consulta: 28 marzo 2018].
- Ruffo, ML & A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 21:13-15.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. Washington DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. pp. 290-372.
- Teasdale, JR; TE Devine; JA Mosjidis; RR Bellinder & CE Beste. 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. Agron. Journal. 96: 1266-1271.
- Waring, SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged condition as an index of nitrogen availability. Nature. 20: 951-952.





PRODUCCIÓN EXTENSIVA DE GARBANZO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL ARGENTINA

Dalmasso, L.P.^{1*}, M. Díaz Zorita¹

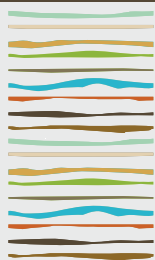
¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa;

* Ruta Nacional 35, km 334, (6300) Santa Rosa, Provincia de La Pampa, dalmassolucas@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

Los cultivos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) se realizan mayormente en zonas áridas y semiáridas. En la región semiárida pampeana central se describieron relaciones positivas entre la capacidad de retención de agua o los contenidos de materia orgánica con los rendimientos de cultivos invernales tales como trigo (*Triticum aestivum* L.) y cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). En parte esta relación positiva se explicaría por diferencia en el almacenaje y disponibilidad de agua como a la mayor oferta de nitrógeno por mineralización. La información sobre la influencia de las propiedades de los suelos y la producción de garbanzo no es abundante. La condición de producción de secano en ambientes semiáridos sugiere la relación positiva con la proporción de materiales finos de los suelos y en menor medida con los contenidos de materia orgánica dado que en parte sus requerimientos de nitrógeno serían aportados por la fijación biológica en simbiosis con rizobios. El objetivo fue describir la relación entre propiedades de suelos y componentes del rendimiento de garbanzo cultivado en condiciones de secano en la región semiárida central argentina. En las campañas 2020/21 y 2021/22 se seleccionaron 29 cultivos de garbanzo realizados en condiciones extensivas en sitios próximos a Santa Rosa, Speluzzi y Colonia Inés y Carlota (La Pampa). En cada caso se identificaron condiciones contrastantes de paisaje (Loma vs Bajo) y se cosecharon manualmente en 4 estaciones de evaluación sobre 2 surcos apareados de 1,5 m de longitud. Se determinó densidad de plantas, peso individual de granos y rendimiento total y se tomaron muestras compuestas de suelos (0 a 20 cm) para determinar conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO, Walkley y Black) y textura (Bouyoucos). El indicador de calidad de sitio IMO se estimó a partir del cociente entre la concentración de MO y la suma de las proporciones de arcilla y de limo. Los rendimientos variaron entre 336 kg/ha y 3284 kg/ha. En promedio los rendimientos fueron mayores en la campaña 2021/22 (2217 kg/ha) que en la 2020/21 (1804 kg/ha). Esta diferencia sería porque, en esta última, 3 de los casos, se desarrollaron en suelos con altos contenidos salinos y rindieron en promedio 636 kg/ha. Al no considerar estos sitios, la producción media en la campaña 2020/21 fue de 2054 kg/ha. Parte de las diferencias de producción entre ambas campañas podría atribuirse la extensión en más de 15 días del período de llenado de granos durante la campaña 2021/22 explicada por la menor temperatura media primaveral. Al prolongarse el llenado de los granos, además de formarse mayor cantidad de granos (546 vs 572 granos/m²) estos fueron más pesados (379 vs 399 mg/grano). Los rendimientos, sólo considerando las posiciones de lomas, decrecieron al aumentar la proporción de arenas, pero no mostraron diferencias significativas al modificarse los contenidos de MO tanto en valores absolutos como relativos (IMO). En promedio, la producción disminuyó a razón de 50 kg/ha por cada unidad de aumento en el porcentaje de arena. En los sitios de bajos, los rendimientos medios fueron mayores e independientes de la textura superficial.

Palabras clave: Leguminosa invernal, textura, agricultura de secano



QUANTITATIVE AND QUALITATIVE WHEAT RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION IN THE ARGENTINEAN PAMPAS: A SYNTHESIS ANALYSIS

Damianidis, D.^{1,*}, N. Reussi Calvo^{2,3,8}, F. García³, C. Álvarez⁴, P.A. Barbieri^{2,3}, H. Sainz Rozas^{2,3}, M.R. Barraco⁵, A.M. Brach⁶, J.J. Boero⁷, J. Castellarin¹, G. Ferraris⁹, F.M. Gómez¹⁰, V. Gudelj¹¹, F.H. Gutiérrez-Boem¹⁰, H.R. Kruger¹², T. Loewy¹², A.G. Manlla¹, D. Melion¹³, H. Videla Menesegue¹⁴, L.F. Pagnan¹⁵, J.M. Pautasso¹⁶, P. Prystupa¹⁰, G.R. Pugliese¹⁷, L. Ventimiglia¹⁸, M. Diaz-Zorita¹⁹, A. Correndo²⁰, F. Salvagiotti^{1,2*}

^{1*} EEA INTA Oliveros, Ruta Nacional 11, km 353, (2206) Oliveros, Prov. de Santa Fe, Argentina, damianidis.damianos@inta.gob.ar, salvagiotti.fernando@inta.gob.ar;

² CONICET;

³ Unidad Integrada FCA UNMDP-EEA INTA Balcarce;

⁴ EEA INTA Manfredi;

⁵ EEA INTA Gral. Villegas;

⁶ EEA INTA Reconquista;

⁷ Universidad Nacional de Luján;

⁸ Laboratorio de Suelos Fertilab;

⁹ EEA INTA Pergamino;

¹⁰ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, INBA-CONICET;

¹¹ EEA INTA Marcos Juárez;

¹² EEA INTA Bordenave;

¹³ AER INTA Bragado;

¹⁴ AER INTA Laboulaye;

¹⁵ AER INTA Justiniano Posse;

¹⁶ AER INTA Diamante;

¹⁷ BUNGE Argentina SA;

¹⁸ AER INTA 9 de Julio;

¹⁹ Universidad Nacional de La Pampa;

²⁰ Kansas State University, Department of Agronomy.

ABSTRACT

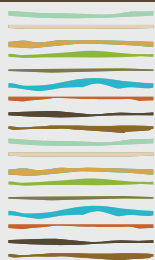
Nitrogen (N) management in wheat is crucial to sustain high yields and maintain/improve grain protein content. Wheat response to N management has been extensively studied in Argentina under particular soil-crop-climate conditions, thus, limiting the space for inference and decision-making. A database was compiled with nitrogen fertilization experiments in wheat conducted between 1990 and 2021. The experiments included at least one control and one N fertilized (N_f) treatment with a minimum of two replicates. Information on yield, grain protein, soil nitrates at planting (60 cm; N_{init}), management practices, and soil type were collected. The database comprised 182 environments (year-location-experiment combinations), each characterized by a maximum yield (R_{max}). Relative yield (RY) per environment was calculated as the ratio between the yield of a fertilization treatment and the yield obtained with the maximum dose of N_f . The average yield was 4809 (range: 881-9799; interquartile range (IQR) 3715-5959) kg ha⁻¹, while N_{fs} ($N_f + N_{init}$) ranged between 9-419 kg N ha⁻¹ with a mean equal to 128 kg N ha⁻¹. The RY range was 37-125% (mean: 86%; IQR: 78-97%) and grain protein content 7.02-18.00% (average: 11.13%; IQR: 9.71-12.40%). Global analysis indicated that both the quadratic-plateau and linear-plateau models explained more than 34% of the variability between RY and N_{fs} , with N_{fs} thresholds of 243 and 164 kg N ha⁻¹. To investigate the effect of environment, soil type, and management on wheat RY response to N_{fs} the database was divided into: 1) three potential yield environments based on the cumulative probability distribution of R_{max} (low < 4600, medium: 4600 – 6230, and high > 6230 kg ha⁻¹); 2) three soil textural groups (coarse, medium, and fine), and 3) the previous crop in the crop sequence (corn, soybean, and sunflower). The quadratic-plateau (linear-plateau) model explained 29 (30), 33 (34), and 55 (55)%



of the observed variability in the RY for the low, medium, and high R_{\max} groups, with N_{fs} thresholds equal to 215 (115), 235 (132), and 247 (174) kg ha^{-1} . The linear-plateau model fit by soil group showed N_{fs} thresholds of 253, 142, and 170 kg N ha^{-1} for fine ($R^2 = 0.26$), medium ($R^2 = 0.34$), and coarse ($R^2 = 0.34$) textures. Grouping by the previous crop improved the fit of the linear-plateau model (R^2 between 38 and 64%) for RY response to N_{fs} , with N_{fs} thresholds of 141 (sunflower), 173 (soybean), and 180 (corn) kg ha^{-1} . Wheat grain protein was negatively associated with yield (global analysis, $R^2 = 0.06$); grouping by cultivar quality index (1 = high, 2 = intermediate, 3 = inferior quality) indicated a positive (slope = $0.00043 \text{ \% kg}^{-1} \text{ ha}$) and negative (slope = $-0.00063 \text{ \% kg}^{-1} \text{ ha}$) linear relationship for groups 1 and 2. A positive linear relationship between grain protein concentration and N_{fs} was observed for all three groups. This synthesis-analysis suggests that modern wheat cultivars may respond to higher levels of available N than previously determined. A further investigation of the interactions between soil texture, potential environment, and management may further fine-tune the N fertilization prescriptions in wheat.

Keywords: yield, protein, texture.





STOCK DE CARBONO: RELACIÓN CON LA HUMEDAD Y MACRONUTRIENTES DE SUELOS ENMENDADOS CON ALPERUJO

de Bustos, M.E.^{1*}, J.F. Fernández¹, A.E. Bellanich¹, J. Cólica²

¹ INTA EEA Catamarca;

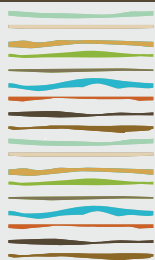
² INTA AER Andalgalá;

* Ruta Provincial 33, km 4.5, (4707) Sumalao, Valle Viejo, Prov. de Catamarca, debustos.maria@inta.gob.ar

RESUMEN

La aplicación agrícola de residuos orgánicos representa una importante forma de recuperación y reserva del carbono en los suelos, además de ser fuente de nutrientes para las plantas. El alperujo (AL), es un subproducto de la industria del aceite de oliva, cuya fase sólida está formada por materia orgánica como principal componente, por ello es de gran interés utilizarlo como enmienda orgánica para los suelos pobres como los que caracterizan a la provincia de Catamarca; además de presentar una forma sustentable de eliminarlo de las almazaras. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del enmendado con AL sobre el stock de carbono en dos suelos de la provincia de Catamarca y determinar la relación de esta variable con la humedad y los macronutrientes en los suelos evaluados. Para ello, se sacaron muestras de suelo a 0-20 cm y a 20-40 cm de profundidad de un suelo clasificado como Ustifluvent típico con cultivo de olivo (var. Arbequina) donde se aplicaron por cinco años consecutivos dosis de AL (30, 50 y 100 Mg ha⁻¹) en la taza de riego, con dos modalidades: incorporado y extendido sobre la superficie; y en un Torriortent típico con Almendro (var. Marinada) con un año de aplicación de AL incorporado (10 Mg ha⁻¹) regado por goteo; en ambos suelos se incluyó el testigo (sin AL). En laboratorio se realizaron determinaciones de carbono orgánico total (COT; %), nitrógeno total (Nt; %), fósforo extractable (Pe; ppm), potasio intercambiable (Ki; meq/100 gr suelo), densidad aparente (δ_p ; Mg m⁻³) y humedad de saturación (H°; %). Con las variables de suelo (carbono orgánico total, densidad y profundidad de la muestra) se estimó la reserva de carbono del suelo a través del cálculo de stock (SC; Mg ha⁻¹) a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). Posteriormente se realizó un análisis multivariado de componentes principales y un análisis de regresión lineal con el software estadístico Infostat 2020. Los resultados muestran que independiente del tipo de suelo el stock de carbono aumenta con dosis mayores a 30 Mg ha⁻¹ de AL aplicado al suelo y ésta variable se relacionó lineal y positivamente con el contenido de Nt, Pe, Ki y H° de los suelos estudiados. Con dichos resultados, se puede concluir que el AL es una enmienda importante en los suelos catamarqueños y puede contribuir a la reserva de carbono en el suelo, mejorando algunas propiedades físico químicas.

Palabras clave: reserva de carbono, residuos orgánicos, enmiendas orgánicas. gestión ambiental.



EXPERIENCIA EN COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL PROVENIENTE DEL BARRIDO DE CORRALES DE FEEDLOT

Diez, M¹, Rizzo, P², Sardiña, M.C¹, Barrios Barón, M. P³, Mattaini, J.³

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA General Villegas;

²Estación Experimental Agropecuaria INTA Mendoza, Agrotecnología Sostenible;

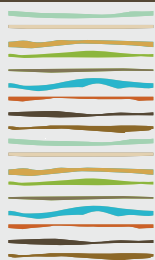
³Agropecuaria La Criolla; General Villegas, Buenos Aires, Argentina,

*diez.marianela@inta.gob.ar

RESUMEN

El compostaje es una forma de gestionar el estiércol en feedlot ya que permite lograr un producto estable, inocuo, con valor agregado y con fines agronómicos. Consiste en un proceso aeróbico con etapas definidas según la temperatura: fase mesófila, fase termófila, fase de enfriamiento o mesófila II y fase de maduración. El objetivo de este experimento fue monitorear la temperatura y humedad en cada fase del proceso de compostaje con remoción mecánica en un feedlot comercial ubicado en el Partido Rivadavia, Pcia. de Buenos Aires. Se confeccionaron tres pilas de 2 m de ancho por 1 m de alto y 130 m de largo de un material proveniente del barrido y limpieza de corrales del establecimiento. Se evaluaron cuatro tiempos de muestreo: **T0** (mesófila inicial), **T1**= termófila, **T2**= mesófila II y **T3**= maduración. El armado de las pilas se realizó el 30-06-2021. La remoción mecánica de las pilas se realizó utilizando un volteador de compost marca Deisa. Se realizaron seis volteos cada 27 días de promedio. Se aplicaron 9 láminas de riego de 10000 litros c/u en cada pila en la semana 1, 2, 3, 6, 7, 9 y 10, para mantener la humedad de las pilas entre 45-60%. El registro de temperatura (°C) y humedad (%) se realizó dos veces por semana en tres sectores de cada pila. Además, se registró el promedio diario de temperatura ambiente y las precipitaciones in situ. El período de evaluación del experimento fue de 168 días (24 semanas). El promedio de temperatura durante todo el proceso fue de 36,03±6,61°C con un máximo de 48,5±6,61°C y un mínimo de 26,8±6,61°C. Los incrementos de temperatura se detectaron a los 10 (42,4°C), 30 (48,5°C) y 64 (46,1°C) días desde el inicio del proceso. Se registraron 330 mm de precipitaciones durante todo el experimento siendo el mes de octubre el de mayor registro (123 mm). El % de humedad promedio fue de 30,07±3,03%; con máximo de 36,7±3,03% (19-11-2021) y un mínimo de 18,6±3,03% (11-08-2021). Se concluye que en todo el proceso evaluado la humedad fue deficiente y el incremento de temperatura fue limitado y demorado. Posiblemente esta condición de humedad limitó los requisitos de higienización propuesto por la normativa de Senasa para la Producción, Registro y Aplicación de compost (sumatoria de 15 días por encima de 55°C). La calidad del compost obtenida en la fase T3 del proceso resultó de: 8,2 de pH, 3,8 de conductividad eléctrica, 68% de materia seca, 12,6 % de materia orgánica, relación C/N= 17,3, fósforo total= 0,27%, nitrógeno total= 0,56, índice de germinación= 112% y relación NH₄ / NO₃= 0,06. De acuerdo a la normativa el producto final logrado es apto para ser utilizado con un fin agronómico (sin restricción).

Palabras clave: temperatura, compostaje, feedlot



XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

SUPERFOSFATO SIMPLES EM SUBSTITUIÇÃO AO GESSO AGRÍCOLA EM ARGISSOLO NO SUL DO BRASIL

Eckert, D.J.^{1*}, M.F. Menegat², G. Frosi¹, T.C. Coser³, T. Tiecher¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

²Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

³Yara Brasil Fertilizantes,

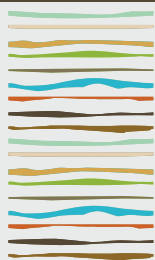
*Avenida Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre-RS, dayanaeckert.14@gmail.com

RESUMO

O superfosfato simples (SFS), fonte de fósforo (P) e enxofre (S), tem sido cada vez menos utilizado devido à preferência dos agricultores pelo superfosfato triplo (SFT) – que é mais concentrado em P e não contém S – o que resulta em maior rendimento operacional. Ao mesmo tempo, tem sido cada vez mais frequente observar baixos rendimentos das culturas em áreas de plantio direto devido à deficiência de S e toxicidade de alumínio (Al^{3+}) em subsuperfície. Nesse cenário, a aplicação de gesso agrícola ($CaSO_4$) pode aumentar a produtividade de grãos, uma vez que pode servir como fonte de S e como mitigador da toxicidade do Al^{3+} em camadas mais profundas do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição de cálcio (Ca) e S via SFS em cada cultura e via aplicação única de gesso agrícola na disponibilidade de Ca e S em um Argissolo subtropical sob plantio direto. O experimento foi conduzido no município de Eldorado do Sul-RS, em um Argissolo Vermelho, com 22% de argila na camada de 0-10 cm. Os tratamentos consistem em cinco doses de gesso (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 Mg ha⁻¹) aplicadas apenas no início do experimento combinado com SFT e outro tratamento sem gesso, mas, com aplicação do SFS em cada cultivo. Após 6 e 18 meses da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas quais foram avaliados os teores de S disponível e Ca e magnésio (Mg) trocáveis. A aplicação de gesso agrícola aumentou linearmente o teor de S disponível até a profundidade de 40 cm logo nos 6 primeiros meses, o que era esperado, visto que o SO_4^{2-} liberado do gesso possui de média a alta mobilidade no solo. Entretanto, esta facilidade de movimentação ocasionou a redução do nutriente em superfície (0-10 cm) depois de 18 meses. Já o teor de Ca trocável foi distribuído até 20 cm apenas aos 18 meses. Taxas acima de 4,0 Mg ha⁻¹ de gesso reduziram o teor de Mg trocável abaixo do nível crítico para as culturas nas duas épocas de avaliação. A entrada de grande quantidade de Ca no solo através do gesso, força o deslocamento do Mg para a solução do solo, que, ao fazer par iônico com o SO_4^{2-} , migra para profundidades maiores, podendo ser lixiviado. Em relação às fontes de P, o uso de SFS aumentou o teor de S até a camada de 40 cm nos 6 primeiros meses, e os manteve mesmo após 18 meses de avaliação. O uso de SFS em cada cultivo foi suficiente para elevar e manter o S disponível acima dos níveis críticos no solo.

Palavras chave: Disponibilidade de enxofre, plantio direto, fertilizantes fosfatados.





EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE SERVICIO SOBRE EL AGUA Y EL NITRÓGENO EN MAÍZ TEMPRANO

Eclesia, R.P.^{1,*}, V.C. Gregorutti¹, F. Sörenson², M. Di Napoli²

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná;

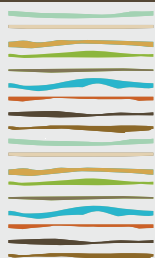
² Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA);

* Ruta Provincial 11, km 12,5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, eclasia.roxana@inta.gob.ar

RESUMEN

El maíz de siembra temprana representa más del 95% de la superficie de maíz en Entre Ríos, por lo que interesa evaluar la posibilidad de intensificar la rotación a partir de la inclusión de un cultivo de servicio (CS) previo. En otras regiones de Argentina se ha evaluado ampliamente el uso de CS previo a maíz tardío, y es escasa la información generada para temprano. Si bien, entendemos que la intensificación impacta positivamente en diferentes propiedades del suelo, es necesario analizar si en un período estrecho de crecimiento el CS puede aportar o restringir algunos servicios ambientales que afecten el rendimiento del cultivo de renta. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de CS base de *Vicia villosa* sobre la disponibilidad de nitrógeno (N) y agua y su impacto en el rendimiento de maíz de siembra temprana. Durante 3 campañas (desde 2018/19 a 2021/22), se condujeron 7 ensayos en campos de producción donde se compararon franjas de barbecho tradicional vs diferentes CS de *Vicia villosa* pura o mezcla con avena o colza (proporción ~10-15%), como antecesor a maíz temprano. La mayoría de las situaciones provenían de antecesor soja, con siembra del CS previo a la finalización del ciclo de la soja (estado fenológico R7). Las fechas de supresión de los CS se realizaron dentro de la segunda quincena de agosto y la siembra de maíz en la primera quincena de septiembre. A la supresión se realizaron muestreos de biomasa y de suelo hasta 1m de profundidad para evaluar humedad de suelo por gravimetría. Del mismo modo, a la siembra del cultivo de maíz se tomaron muestras de suelo para humedad (0-1 m) y para análisis de nitratos (0-60 cm) en tratamientos sin fertilización nitrogenada. A la supresión, la biomasa promedio de los CS antecesores fue de $3509 \pm 1928 \text{ kg ha}^{-1}$, mientras que la diferencia de humedad de suelo a favor de la situación barbecho fue de 38 mm. El lapso entre supresión y siembra fue de 16 ± 6 días y las lluvias en ese período de $43 \pm 23 \text{ mm}$, en promedio. A la siembra de maíz las diferencias de humedad se redujeron a 16 mm promedio, mientras que la diferencia de N-nitratos fue de 15 kg ha^{-1} mayor con antecesor barbecho. La diferencia de rendimiento de maíz fue de 1236 kg ha^{-1} inferior con antecesor CS respecto al barbecho. Estas diferencias de rendimiento fueron explicadas por las diferencias de humedad de suelo y de nitratos a la siembra a partir de una regresión conjunta ($R^2=0,84$; $p=0,01$). Los CS condicionaron el rendimiento del cultivo de maíz, en parte, a causa de restricciones en la disponibilidad de N y agua, en tanto, es necesario seguir analizando estrategias que amplíen el período entre la supresión del CS y la siembra de maíz de modo de lograr una mayor acumulación de agua y/o que promuevan el aporte de N por parte del CS.

Palabras clave: cultivo de cobertura, nitratos, humedad de suelo.



¿QUE CONSIDERAR AL ELEGIR CULTIVOS DE SERVICIO COMO ANTECESOR A MAÍZ TEMPRANO?

Eclesia, R.P.^{1*}, M. Kahl², F. Sörenson³, F. Barolín⁴

¹ INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Paraná;

² INTA Agencia de Extensión Rural (AER) Crespo;

³ Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA);

⁴ Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER;

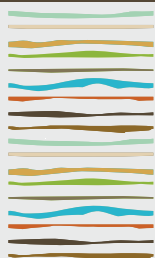
* Ruta Provincial 11, km 12,5, (3101) Oro Verde, Prov. de Entre Ríos, eclasia.roxana@inta.gob.ar

RESUMEN

Está ampliamente demostrado que la intensificación de la secuencia de cultivos impacta de manera positiva en las propiedades del suelo, para lo cual, los cultivos de servicio (CS) surgen como una estrategia afín. La secuencia trigo/soja 2^{da}-maíz 1^{ra} está ampliamente difundida en el centro oeste de Entre Ríos, representando un desafío el análisis de la inclusión de un CS previo al maíz. El objetivo del trabajo fue evaluar diferentes CS como antecesores a maíz temprano, analizando algunas variables de suelo y su impacto en el rendimiento. Se instalaron dos experimentos con 7 tratamientos antecesores a maíz (6 CS y 1 barbecho como testigo), uno en el Dpto. Tala sobre un Peluderte árgico crómico y otro en el Dpto. Victoria (Entre Ríos) sobre un Hapludol típico. Los tratamientos de CS fueron: *Vicia villosa*, *Vicia sativa*, *Avena sativa* sin N, *Avena sativa* con N, *Raphanus sativus* y Policultivo (mezcla de todas las especies). Los CS se sembraron alrededor del 20/04/21 con sembradora de grano fino, en macroparcelas de 6 m de ancho x 300 m de largo. El 19/08/21 y el 23/08/21 se realizó el muestreo de biomasa en Victoria y Tala, respectivamente, previo a la supresión de los CS. En el laboratorio, se analizó el N (%) de la biomasa de los CS. El 23/09/21 y el 26/09/21 se sembró el maíz en Victoria y Tala, respectivamente. Se realizaron los muestreos para evaluar humedad por gravimetría hasta 1 m y para análisis de nitratos hasta los 60 cm de profundidad. Se realizó una ANOVA para evaluar la diferencia de la biomasa, el N-biomasa y el rendimiento y se realizaron regresiones para evaluar la asociación entre las diferencias de variables ambientales (N y agua) y rendimiento para situaciones con y sin CS. La biomasa promedio de los CS fue de 5784 kg ha⁻¹ y 1954 kg ha⁻¹ en Victoria y Tala respectivamente, donde las gramíneas se diferenciaron por ser más productivas que el resto. Sin embargo, al considerar el N-biomasa, las vicias fueron las más productivas, dado a un mayor %N en su composición. Al asociar el N-biomasa con el N-nitratos a la siembra de maíz se logró un ajuste de 0,79 ($p < 0,05$). El rendimiento promedio de maíz sin fertilización nitrogenada fue de 4340 kg ha⁻¹ y de 2088 kg ha⁻¹ en Victoria y Tala, respectivamente. No hubo una tendencia clara por efecto antecesor en el sitio de Tala, debido a las restricciones hídricas extremas, sin embargo, en Victoria se observaron diferencias de 2700 kg ha⁻¹ superiores en las vicias y el testigo respecto al resto de los tratamientos. La diferencia en el N-nitratos explicó parte de las diferencias de rendimiento entre las situaciones con CS y el barbecho ($R^2=0,63$; $p < 0,05$), pero no así el agua a la siembra. Al elegir un CS como antecesor a maíz temprano se debe considerar aquellas situaciones que generen menor inmovilización de nitratos a la siembra. En este sentido las vicias puras podrían cumplir ese rol.

Palabras clave: cultivo de cobertura, nitratos, humedad de suelo.





WATER AND NITROGEN AVAILABILITY AFFECTS DIFFERENTIALLY SENESCENCE AND SEED WEIGHT IN SOYBEAN GENOTYPES WITH DIFFERENT PROTEIN CONCENTRATION

Ergo, V.^{1,2,*}, F. Salvagiotti^{2,3}, T. Nigro⁴, L. Rossiano⁴, C.S. Carrera^{1,2}

¹ Unidad de Estudios Agropecuarios (UDEA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA);

² CONICET;

³ Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros;

⁴ Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

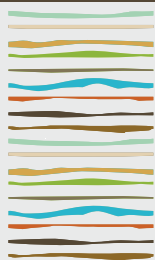
* Camino 60 cuadas km 5.5, Córdoba 5119, Argentina, ergo.veronica@inta.gob.ar

ABSTRACT

In general, increases of available soil N have been linked to delay of senescence, increasing the duration of the active photosynthesis period, which in turn might result in increases of crop production. The objective of our study was to evaluate if increasing N availability during reproductive stages delays the onset of the senescence and increases the seed weight (SW) in soybean genotypes contrasting in seed protein concentration growing under contrasting water availability scenarios. We conducted two field experiments (2020-2021 and 2021-2022) testing two non-transgenic genotypes: high (HP) and low (LP) seed protein under irrigation and drought conditions (soil water content $\leq 25\%$ of field capacity from beginning of R5 stage), and two N levels: control-N (non-fertilized) and +N (receiving 600 kg N ha⁻¹ as fertilizer equally split at V1, R1 and R3 stages). The senescence was quantified as crop cycle duration (CCD) between emergence and full maturity and characterized through the SPAD values (indirect indicator of leaf chlorophyll content) dynamic during the seed filling period. The effect of water levels, nitrogen levels and year were significant for CCD, SPAD and SW. Since the response directions of mentioned variables were similar across years, data from the two experiments were pooled. Under drought, the CCD was reduced 12 days compared to the irrigated treatment, regardless of genotypes and N levels. At the beginning of seed filling (R5, around 95 days after the crop emergence, DAE) the +N treatment increased 4% the SPAD value respect to non-fertilized treatment, both under irrigated and drought conditions and independently of genotypes. Despite this SPAD increase, the +N treatment did not delay the onset of senescence under drought at full seed stage (R6, around 110 DAE), which was visualized as a significant decrease in SPAD values in both genotypes, but more accentuated in LP (23%) than in the HP (5%) genotype. Regardless of water and N levels, the HP genotype, exhibited greater (22%) SW than the LP, and independently of genotypes and N levels, drought reduced 34% the SW. A positive and significant relationship ($p < 0.01$; $R^2 = 0.76$) was observed between CCD and SW. As expected, the lowest SW and CCD values corresponded to drought conditions and the highest under irrigation conditions. Under drought, the +N treatment in LP shortened the CCD (4 days) but surprisingly the SW was not different to that of control-N (111 vs 105 mg seed⁻¹, respectively), whereas in HP the +N treatment increased the SW respect to the non-fertilized one (145 vs 128 mg seed⁻¹, respectively) with no modifications in CCD. In contrast, under irrigation conditions, the +N treatment reduced SW by 11% as compared to control-N (174 mg seed⁻¹) in both genotypes and in the LP genotype it also shortened the CCD in 2 days. Therefore, we rejected our hypothesis that stated that under drought conditions an increase in N availability delays the senescence and increases the SW to a more extent in a HP genotype than in LP genotype.

Keywords: seed filling, water stress, Glycine max (L.) Merr.





APLICACIÓN DE ESTIERCOL BOVINO EN MORINGA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN DE N-P-K

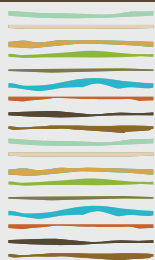
Fatecha, D.A.¹, M.S. Lesme¹, J.W. Rasche¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción,
Ruta II Mariscal Estigarribia Km 10,5, Campus Universitario, San Lorenzo- Paraguay, dfatecha@agr.una.py

RESUMEN

La moringa es una planta a la que se le atribuyen varias propiedades benéficas, tanto a la salud humana como al ambiente, siendo las hojas el lugar donde se concentra su mayor riqueza, el alto contenido de nutrientes que son extraídos del suelo, no repuestos en su totalidad la mayoría de las veces, siendo el estiércol bovino una buena alternativa para su reposición, fundamental para una alta producción de hojas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de dosis de estiércol bovino y su efecto en la producción y extracción de N-P-K de hojas de moringa de cuarto año. La hipótesis menciona que la aplicación de dosis de estiércol bovino aumentará la producción y extracción de N-P-K de hojas de moringa de cuarto año. El experimento fue realizado en la finca Tekove Green, situada en el distrito de Piribebuy, departamento de Cordillera, Paraguay, durante el periodo de agosto de 2020 a julio de 2021, en un cultivo de moringa de cuarto año de producción. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar, donde fueron aplicadas 0, 5, 10 y 15 t ha⁻¹ de estiércol bovino, con cuatro repeticiones, totalizando 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo representada por un área de 3 m x 3 m, constituida por 3 hileras distanciadas a 1,5 m de cada una entre plantas, totalizando 9 plantas, de las cuales fueron evaluadas 3 plantas al azar de cada parcela. La superficie total del experimento fue de 144 m². Las variables evaluadas fueron altura de rebrote de la planta, número de hojas por planta, diámetro del tallo, rendimiento de masa verde, rendimiento de masa seca, concentración foliar de N-P-K, cantidad de N-P-K adicionado, cantidad de N-P-K exportado y el balance de nutrientes. Fueron realizadas dos cosechas, a los 120 y 180 días después del rebrote. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias, utilizando el test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión mediante el programa estadístico AgroStat. La aplicación de estiércol bovino provocó un aumento lineal significativo en la altura de rebrote de la planta, en el diámetro del tallo, en el número de hojas por planta, en el rendimiento de masa fresca y en el rendimiento de masa seca con valores máximos de 202 cm, 4,10 cm, 13,82, 903 kg ha⁻¹ y 277 kg ha⁻¹ en la primera cosecha y 152 cm, 5,40 cm, 14,40, 803 kg ha⁻¹ y 238 kg ha⁻¹ en la segunda cosecha respectivamente, en tanto el número de rebrotes no fue influenciado por el fertilizante orgánico. La concentración de nutrientes varió de 28,09 g kg⁻¹ a 29,05 g kg⁻¹ para N, 2,36 g kg⁻¹ a 2,71 g kg⁻¹ para P, 7,23 g kg⁻¹ a 10,22 g kg⁻¹ para K. Hubo mayor exportación de N, P y K en función al aumento del estiércol bovino. La aplicación del estiércol bovino aumentó la producción de hojas de moringa.

Palabras clave: *Moringa oleífera* Lam., fertilización orgánica, rendimiento de hojas.



INDICADORES DEL POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO PARA MAÍZ DE SEGUNDA

Fernández, D.¹, C. Crespo^{1,2*}, L. Bassi^{1,2}, P. Barbieri^{1,2,3}, J. Romero¹, N. Wyimgaard^{1,2}

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

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

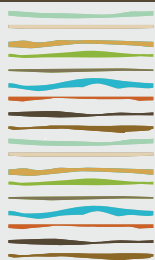
³ Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce (INTA)

Ruta Nacional 226, km 73,5, (B7620BKL) Balcarce, Prov. de Buenos Aires. crespo.cecilia@inta.gob.ar

RESUMEN

El cultivo de maíz sembrado luego de cultivos de invierno (maíz de segunda) ha cobrado relevancia en el sudeste bonaerense (SEB) en los últimos años. Sin embargo, la productividad de dicho cultivo es limitada por la disponibilidad de nitrógeno (N) en el suelo. En los sistemas de producción en donde el maíz se siembra en fechas tardías, la tasa de mineralización del N desde la materia orgánica será mayor debido a que el cultivo se implantará en una época de mayores temperaturas. Por lo tanto, el aporte de N por mineralización cobra relevancia para poder predecir la respuesta a la fertilización con N del maíz de segunda. La metodología más utilizada regionalmente para estimar el potencial de mineralización de N de un suelo es la determinación del contenido de N-NH_4^+ producido en incubación anaeróbica (N_{an}). Recientemente han cobrado especial atención dos metodologías para estimar el potencial de mineralización de N, que tendrían gran potencial para ser utilizadas en modelos de predicción de respuesta a N en maíz e insumen menos tiempo que N_{an} : el máximo N hidrolizable (N_{hidr}) y la determinación de la tasa de liberación de CO_2 desde muestras de suelo secas y rehumedecidas (N_{CO_2}). La calibración N_{hidr} y N_{CO_2} podría ayudar a estimar la mineralización a campo de N y mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de N para el cultivo de maíz de segunda para el SEB. De este modo, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de predicción de respuesta en rendimiento en grano al agregado de N de los índices de mineralización de N (N_{an} , N_{hidr} y N_{CO_2}). Se realizaron 5 ensayos en distintos sitios experimentales del SEB. En cada sitio, se evaluaron 2 dosis de N (0 y 120 kg ha⁻¹) en maíz de segunda. A la siembra del cultivo de maíz, en cada sitio experimental se realizó un muestreo de suelo y se determinaron N_{an} , N_{hidr} y N_{CO_2} . En madurez fisiológica se cosechó el maíz y se determinó el rendimiento en grano y la respuesta a la fertilización. Los rendimientos de maíz variaron entre 2300 y 10389 kg ha⁻¹. El maíz incrementó su rendimiento ante el agregado de N en 4 de 5 sitios, con una respuesta de hasta 4300 kg ha⁻¹. Se determinó una estrecha correlación entre el N_{an} y el N_{CO_2} ($r = 0,66$) y entre el N_{an} y el N_{hidr} ($r = 0,84$). Tanto el N_{an} como el N_{CO_2} mostraron una asociación negativa con la respuesta a la fertilización nitrogenada ($r = -0,62$ y $r = -0,57$, respectivamente). Esto indicaría que, en aquellos sitios con mayor potencial de mineralización de N, la provisión de dicho nutriente al maíz se incrementa, disminuyendo la respuesta al agregado de fertilizante. Contrariamente, el N_{hidr} no se asoció con la respuesta a la fertilización. De este modo, tanto el N_{an} como el N_{CO_2} mostraron ser promisorios indicadores de la disponibilidad de N para maíz de segunda a partir de la mineralización.

Palabras clave: maíz, mineralización, fertilización nitrogenada.



COMPARACIÓN DE FERTILIZANTES ÓRGANO-MINERALES PELLETIZADOS VS. INORGÁNICOS EN TRIGO: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO

Ferrari, J.L.¹, W Carciochi², L. Orden³, J. Galantini⁴

¹ INTA Bariloche;

² INTA Balcarce;

³ INTA Ascasubi;

⁴ CIC, CERZOS-CONICET Bahía Blanca

ferrari.javier@inta.gob.ar, CC227 (8400) INTA Bariloche. Te: 02944-42273

RESUMEN

La fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P) es una práctica común para incrementar el rendimiento y mejorar la calidad de granos de los cultivos como el trigo. Los fertilizantes órgano-minerales (FOM) pelletizados son una tecnología relativamente nueva, que combinan compuestos orgánicos y minerales generando un producto capaz de maximizar la eficiencia agronómica y productividad de los cultivos sin descuidar la salud y fertilidad del suelo. El objetivo del trabajo fue comparar el uso de fertilizantes inorgánicos vs. FOM como fuente de N y P en el cultivo de trigo, evaluando su impacto sobre el rendimiento, sus componentes y la calidad de los granos. Se realizó un ensayo en condiciones de campo en la localidad de Balcarce donde se evaluaron en el cultivo de trigo cinco tratamientos: i) T (testigo sin fertilización), ii) 30P(i)+150N(i), iii) 13P(om)+150N(i), iv) 30P(om)+150N(i) y v) 30P(om)+150N(om), donde 30P y 13P indican los kg de P ha⁻¹, 150N los kg de N ha⁻¹, "om" los FOM e "i" los fertilizantes inorgánicos (MAP y urea). A cosecha del trigo se determinó el rendimiento en grano y sus componentes y se determinó en ellos grano el peso hectolítrico, y concentración de proteína y gluten. La fertilización incrementó 42% el rendimiento sin observarse diferencias entre fuentes de fertilizante y dosis. El número de granos mostró un comportamiento similar al del rendimiento y el peso de los granos un comportamiento inverso (mayor peso de granos en el testigo). La fertilización incrementó el peso hectolítrico, proteína (40%) y gluten (102%) de los granos, sin diferir entre tratamientos de fertilización. Se propone el uso de FOM como una opción promisorio que permite obtener rendimientos y granos de calidad similar a la obtenida con fertilizantes inorgánicos.

Palabras clave: nutrientes, reciclado, compost

INTRODUCCIÓN

La fertilización es una práctica corriente para suplir las deficiencias de nutrientes de los cultivos en suelos de baja fertilidad natural o por haber sido intensamente cultivados (Ciampitti & García, 2007). El nitrógeno (N) y fósforo (P) son los nutrientes mayormente limitantes para la producción de cultivos, incluido el trigo (*Triticum aestivum* L.); y son aportados principalmente mediante fertilizantes inorgánicos como MAP (15-52-0) y urea (46-0-0), respectivamente. Los fertilizantes inorgánicos son insumo costoso y de muy bajo o nulo nivel de reciclado en la agricultura convencional. Los compost y abonos podrían reciclar parte del N y P, además de aportar carbono al suelo (Power & Doran 1984), intentando mitigar la pérdida de materia orgánica debido a la agriculturización (Sainz Rozas *et al.*, 2019). Sin embargo su uso en producción de cultivos en áreas cercanas a la zona de acumulación de abonos y compost, es más un depósito que una fertilización benéfica (Bernal *et al.*, 2009). La pelletización de los mismos permite aplicarlos con maquinarias convencionales con lo cual podría ampliarse la escala de utilización (Ferrari *et al.*, 2018). La baja concentración de N y P implicaría utili-



zarlos en altas dosis, lo que podría ser una limitante para su uso en agricultura extensiva (Ferrari *et al.*, 2022). Sin embargo, el compost puede mezclarse con fertilizantes inorgánicos durante la pelletización, conformando fertilizantes organo-minerales (FOM), los cuales podrían mejorar las propiedades de los componentes individuales. El uso de FOMs pelletizados es una tecnología relativamente nueva, por lo que la información respecto a su uso en cultivos extensivos y condiciones de campo es escasa (Smith *et al.*, 2020). La nutrición del cultivo de trigo puede afectar no solo el rendimiento sino también la calidad de sus granos. El contenido de proteína y gluten determinan la calidad panadera del trigo y junto con el peso hectolítrico afectan el precio del grano. El objetivo del trabajo fue comparar el uso de fertilizantes inorgánicos vs. FOM como fuente de N y P en el cultivo de trigo, evaluando su impacto sobre el rendimiento, sus componentes y la calidad de los granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2021 se realizó un ensayo en el campo de la Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, sobre un Argiudol Típico serie Mar del Plata. El suelo se caracterizó por tener un contenido de materia orgánica de 53 g kg⁻¹, pH de 5,7, P-Bray de 25,5 mg kg⁻¹, N mineralizado en incubación anaeróbica (Nan) de 57 mg kg⁻¹ y la cantidad de N-nitrato disponible previo a la siembra del trigo (0-60 cm) fue de 51,1 kg N ha⁻¹. A la siembra del cultivo, el suelo se encontraba a capacidad de campo (210 mm de agua útil disponible) y las precipitaciones durante el ciclo del trigo fueron de 256,2 mm.

Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones (tamaño de parcela 1,4 x 6 m), donde se evaluaron cinco tratamientos (Tabla 1): i) T: testigo sin fertilización, ii) 30P(i)+150N(i): fertilizado inorgánico con 30 kg P ha⁻¹ y 150 kg N ha⁻¹, iii) 13P(om)+150N(i): P órgano-mineral a igual dosis de fertilizante (130 kg fertilizante ha⁻¹) que equivale a 13 kg P ha⁻¹ y N inorgánico (150 kg N ha⁻¹), iv) 30P(om)+150N(i): P órgano-mineral a igual dosis de nutriente (30 kg P ha⁻¹) y N inorgánico (150 kg N ha⁻¹), y v) 30P(om)+150N(om): fertilizado órgano-mineral con 30 kg P ha⁻¹ y 150 kg N ha⁻¹. En todos los casos la fuente de P inorgánica fue fosfato monoamónico (MAP, 11-52-0) y de N inorgánica fue urea (46-0-0). Los pellets órgano minerales se realizaron a partir de compost y la fuente inorgánica en proporción 50-50 (m/m). Así, para los pellets utilizados como fuente de P se mezcló 50% de compost y 50% de MAP, y en los empleados como fuente de N se mezcló 50% de compost y 50% de urea. Los pellets se realizaron en INTA Bariloche con materiales provistos por la empresa Daasons Fertilizantes. La fertilización fosfatada tanto inorgánica como órgano-mineral se realizó a la siembra, incorporando el fertilizante en la línea de siembra, mientras que el N (ambas fuentes) se aplicó al voleo en superficie en dos macollos (Z22, Zadoks *et al.*, 1974). El 5 de julio se sembró trigo var. ACA 603 con una densidad de 300 plantas m⁻² y a una distancia entre surcos de 20 cm.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en el cultivo de trigo.

Tratamiento	Dosis de nutriente (kg ha ⁻¹)		Dosis de fertilizante (kg ha ⁻¹)	
	P	N	P	N
T	0	0	0	0
30P(i)+150N(i)	30	150	130	326
13P(om)+150N(i)	13	150	130	326
30P(om)+150N(i)	30	150	300	326
30P(om)+150N(om)	30	150	300	652

En madurez fisiológica (Z90) se cosecharon manualmente las espigas presentes en 2 m lineales de los 4 surcos centrales de cada parcela y se trillaron en una trilladora estacionaria, determinando su contenido de humedad para expresar el rendimiento al 13,5% de humedad. A partir de las muestras de grano se determinaron los componentes del rendimiento (peso de mil granos y número de granos). También se determinaron parámetros de calidad de grano: i) peso hectolítrico empleando una balanza Schopper, ii) proteína: se cuantificó la concentración de N en grano mediante método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y se multiplicó



por el factor 6,25, iii) gluten: mediante espectroscopía de infrarrojo cercano utilizando el TEC-NIR 256 (TecnoCientífica, Buenos Aires, Argentina). También se determinó la concentración de P en grano.

Se calculó el balance de N y P como los kg ha^{-1} de cada nutriente aplicados mediante fertilización menos los kg ha^{-1} de nutrientes acumulados en grano. También se calculó la eficiencia agronómica de cada nutriente como: $(\text{rendimiento del tratamiento} - \text{rendimiento del testigo}) / \text{kg ha}^{-1}$ de nutriente aplicado.

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre cada una de las variables analizadas se realizaron análisis de la varianza mediante el software estadístico R. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test Tukey de comparación de medias ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento y componentes

La fertilización con N y P incrementó el rendimiento del cultivo de trigo en promedio en un 42% (1961 kg ha^{-1}), desde 4692 kg ha^{-1} en el testigo hasta 6652 kg ha^{-1} en los tratamientos fertilizados (Figura 1a). Además, no se observaron diferencias entre los tratamientos de fertilización, lo cual sugiere que:

i) es posible reducir la dosis de P de 30 a 13 kg ha^{-1} manteniendo la dosis de fertilizante [30P(i)+150N(i) vs. 13P(om)+150N(i)]. Los FOM con menores dosis de P podrían hacer un uso más eficiente de este nutriente mediante la interacción con la materia orgánica del compost, siendo menos fijado en el suelo (Bouhria *et al.*, 2022). Los estudios de la interacción organo-mineral y el suelo podrían esclarecer los mecanismos que expliquen estos resultados.

ii) es posible utilizar FOM en reemplazo de los fertilizantes inorgánicos, ya que no se observaron diferencias entre fuentes de nutrientes (FOM vs. MAP y urea).

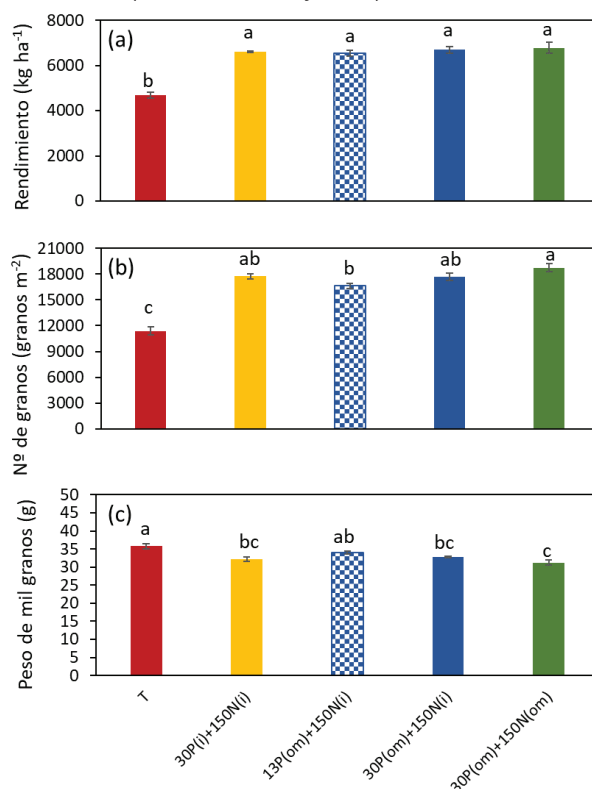


Figura 1. Rendimiento en grano (a) y sus componentes: número de granos m^{-2} (b) y peso de mil granos (c) en el cultivo de trigo con distintos tratamientos de fertilización de N y P (T, testigo; "P" y "N" indican los kg ha^{-1} de fósforo y nitrógeno, respectivamente, "i" indica que la fuente es inorgánica (fosfato monoamónico o urea) y "om" indica fuente órgano-mineral).

El número de granos por unidad de superficie siguió una tendencia similar a la observada para rendimiento, siendo esta variable 56% superior en los tratamientos fertilizados respecto del testigo (Figura 1b). Esto se debe a que el número de granos es el principal componente de rendimiento (Abbate *et al.*, 1994). Dentro de los tratamientos fertilizados, el mayor número de granos m^{-2} se dio con FOM con N y P [30P(om)+150N(om)] y el menor con 13P(om)+150N(i). Por su parte, el peso de mil granos mostró una relación inversa con el rendimiento, observándose el mayor valor en el testigo (36 g) y el menor valor con N y P de FOM (31 g) (Figura 1b). Esto es explicado porque la fertilización genera una mayor proporción de granos provenientes de macollos y posiciones apicales de la espiga, los cuales son de menor tamaño (Magliano *et al.*, 2014).

Calidad de granos

No se observaron diferencias entre tratamientos de fertilización con N y P sobre el peso hectolítrico del trigo (rango 78,5 a 80,0 $kg\ hl^{-1}$) (Figura 2a). Si bien, los tratamientos 13P(om)+150N(i) y 30P(om)+150N(om) incrementaron el peso hectolítrico respecto del testigo en 1,5 $kg\ hl^{-1}$, no se observa una diferencia marcada gráficamente. Todos los tratamientos de fertilización incrementaron la concentración de proteína en grano respecto del testigo (40% de incremento relativo, 8,4 vs 12,0% de proteína), sin observarse diferencias entre los tratamientos de fertilización (Figura 2b). Similares resultados fueron reportados por Antille *et al.* (2017) quienes no observaron diferencias en concentración de N en grano (proteína) entre FOM y fertilizantes inorgánicos. Tal como se observó para proteína, la concentración de gluten en grano aumentó 102% por la fertilización con P y N, sin observarse diferencias entre tratamientos de fertilización (Figura 2c).

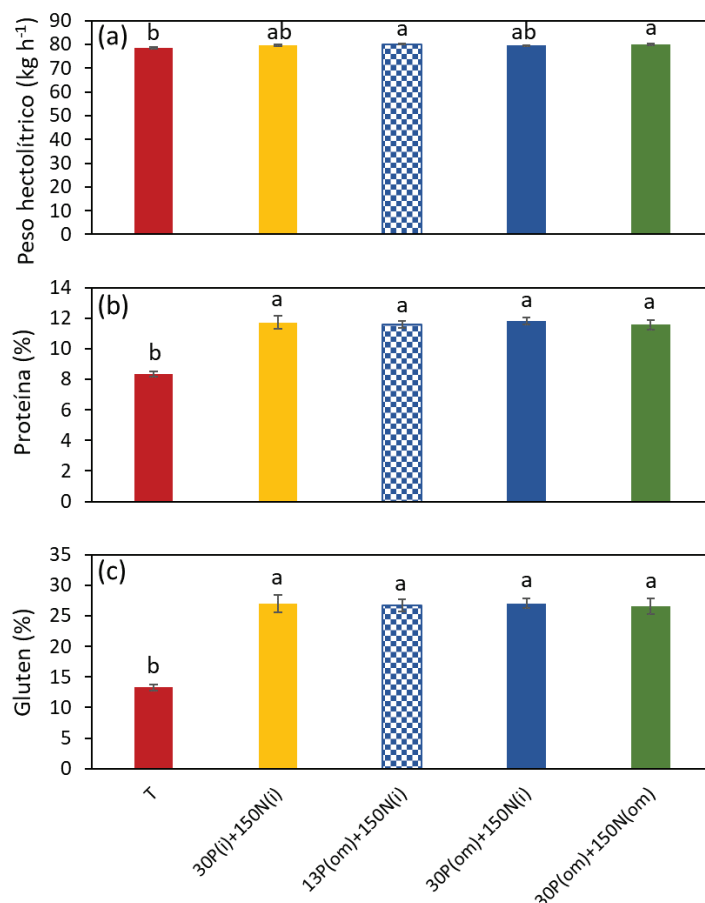


Figura 2. Peso hectolítrico (a), concentración de proteína (b) y concentración de gluten (c) en granos de trigo con distintos tratamientos de fertilización de N y P (T, testigo; "P" y "N" indican los $kg\ ha^{-1}$ de fósforo y nitrógeno, respectivamente, "i" indica que la fuente es inorgánica (fosfato monoamónico o urea) y "om" indica fuente órgano-mineral).

Balance y eficiencia agronómica de N y P

El tratamiento T mostró un balance negativo de N de $-54\ kg\ N\ ha^{-1}$, mientras que no hubo diferencias entre tratamientos de fertilización en el balance de N ($+43\ kg\ N\ ha^{-1}$ en promedio) (Figura 3a). Tampoco se obser-

varon diferencias entre tratamientos en eficiencia agronómica de N, variando la misma entre 12,3 kg kg⁻¹ en 13P(om)+150N(i) y 13,9 kg kg⁻¹ en 30P(om)+150N(om) (Figura 3b). Respecto al P, el balance fue negativo en T (-14 kg ha⁻¹) y en 13P(om)+150N(i) (-3 kg ha⁻¹) y positivo en los restantes tratamientos (Figura 3c). La eficiencia agronómica del P fue 114% superior en 13P(om)+150N(i) respecto a los demás tratamientos (Figura 3d). Los resultados sugieren que, en situaciones como las del presente ensayo, podrían emplearse dosis de FOM similares a la de los fertilizantes inorgánicos, haciendo un uso más eficiente del P. Sin embargo, es necesario prestar atención a los balances de nutrientes, que en este caso fue ligeramente negativo, para lo cual resulta clave el monitoreo mediante análisis de suelos.

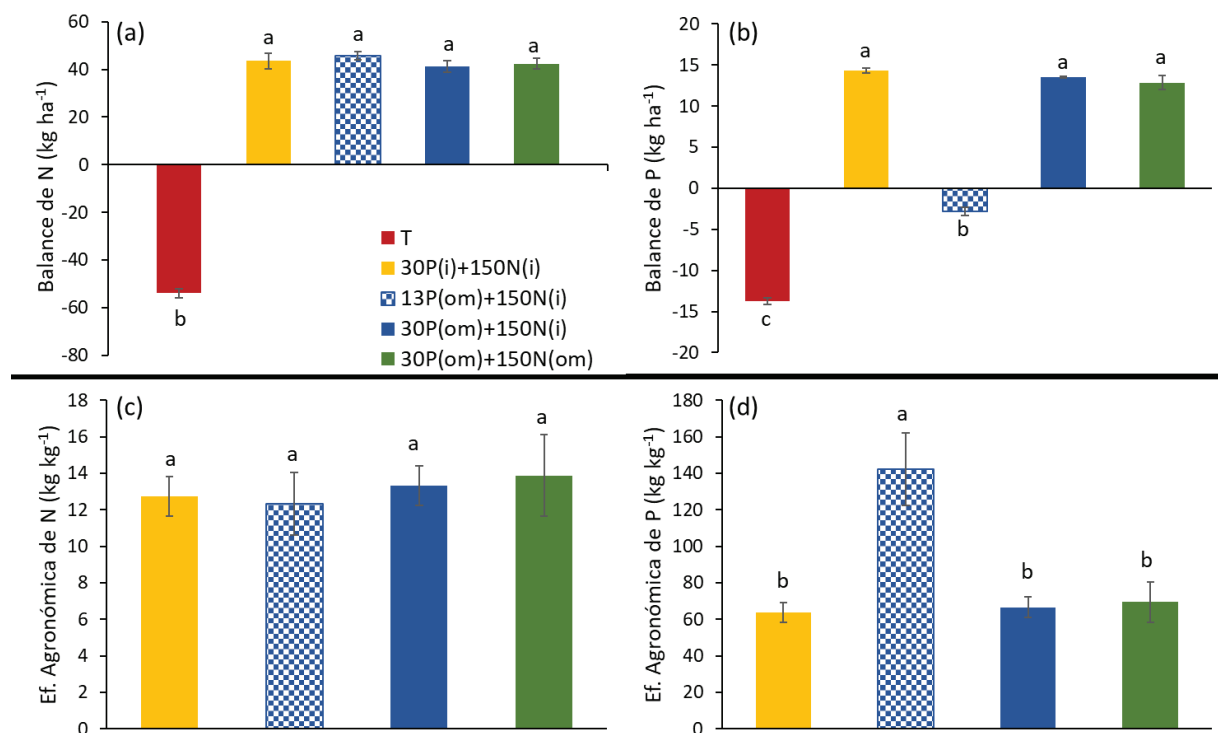


Figura 3. Balance de nitrógeno (N) (a) y fósforo (P) (b) y eficiencia agronómica de N (c) y P (d) en el cultivo de trigo con distintos tratamientos de fertilización de N y P (T, testigo; "P" y "N" indican los kg ha⁻¹ de fósforo y nitrógeno, respectivamente, "i" indica que la fuente es inorgánica (fosfato monoamónico o urea) y "om" indica fuente órgano-mineral).

CONCLUSIONES

El uso de FOM enriquecidos con N y P son una opción viable para nutrir el cultivo de trigo, permitiendo obtener rendimientos y granos de calidad similar a la obtenida con fertilizantes inorgánicos. Así, los FOM pueden emplearse en cultivos extensivos como el trigo, permitiendo reciclar el N y P e incorporando pequeñas dosis de materia orgánica a los suelos. Estudios de largo plazo sobre la materia orgánica del suelo y sus fracciones podrían comprobar si es un aporte apreciable en los sucesivos ciclos de aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Ensayo realizado con Fondos de Valorización Tecnológica N° 294 (INTA- DAASONS S.A.) INTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Argentina).

BIBLIOGRAFÍA

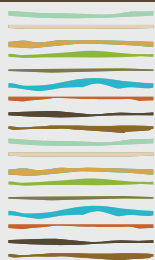
Abbate, PE; FH Andrade & JP Couletot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133. 17 p

Antille, DL; RJ Godwin; R Sakrabani; S Seneweera & SF Tyrrel. 2017. Field-scale evaluation of biosolids-derived organomineral fertilizers



- applied to winter wheat in England. *Agron. J.* 109(2): 654–674.
- Bernal, MP; JA Alburquerque & R Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *BioresTech.* 100, 22, 5444-5453.
- Bouhia, Y; M Hafidi; Y Ouhdouch; MEM El Boukhari & C Mphatso. 2022. Conversion of waste into organo-mineral fertilizers: current technological trends and prospects. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 21(2): 425–446.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: Page, A.L. (ed). *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. *Agron. Monog* 9, pp. 595-624.
- Ferrari, JL; AM Dosanto; PA Tiftonell, PA; R Reuque & JI Gazzotti. 2018 Aplicación de fertilizantes orgánicos-pellets con sembradoras convencionales. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Tucumán.
- Ferrari, JL; L Orden; W Carciochi; J Galantini & R Moral. 2022. Evaluación de nuevos biofertilizantes pelletizados en trigo: ensayo en macetas. In: *Proceedings IX Congreso Ibérico de Ciencias del Suelo*, Lisboa, Portugal, Jun 2022, pp. 163-166.
- Magliano, PN; P Prystupa & FH Gutiérrez-Boem. 2014. Protein content of grains of different size fractions in malting barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 347–352.
- Power, JF & JW Doran. 1984. Nitrogen use in organic farming. Pages 585-598 in *Nitrogen management and quality of crop and environment. Nitrogen in crop production.* ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wis.
- Rajasekar Karunanithi, AA. Szogi, Nanthi Bolan, Ravi Naidu, Paripurnanda Loganathan, Patrick G. Hunt, Matias B. Vanotti, Christopher P. Saint, Yong Sik Ok & Sathya Krishnamoorthy. 2015. Chapter Three - Phosphorus Recovery and Reuse from Waste Streams, Editor(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 131, pp 173-250.
- 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. In: *Proceedings Simposio Fertilidad*. Rosario, Argentina, May 2019, pp. 141–158.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.





ADUBAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO FEIJÃO COMUM CULTIVADO NO CERRADO BRASILEIRO

Flores, R.A.^{1*}; A.S. Vascurado², L.R. Marchão², A.M. Bueno³, M.F.N. Xavier³, R.T. do Carmo³, M.L. Lima⁴, F.R.S. de Lima³

¹ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

² Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

* Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900, rilner@ufg.br

RESUMO

O atual sistema de produção do feijoeiro comum tem apresentado baixos índices produtivos e qualidade dos grãos. A utilização de elementos benéficos como o Si como suplementação nutricional pode promover ganhos em qualidade e produtividade de grãos na cultura. Dessa forma o objetivo do estudo foi avaliar a aplicação foliar de Si na produção de feijão comum cultivado em sistema irrigado por pivô central. A cultivar utilizada foi a BRS Estilo e o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, composto por cinco doses de Si (0, 300, 600, 900 e 1200 g de Si ha⁻¹), aplicadas na forma de silicato de potássio, com quatro repetições. Foram avaliadas o estado nutricional da cultura por meio do índice relativo de clorofila (IRC), índice de balanço de nitrogênio (NBI), teores foliares de nutrientes e silício. Também foram avaliadas as variáveis fisiológicas: índice de superfície de clorofila (CHL), índice de antocianinas (ANTH) e índice de flavonoides (FLAV), bem como a produtividade de grãos. A maior produtividade de grãos do feijoeiro comum, 3758,6 kg ha⁻¹, foi obtido com o uso da maior dose de Si aplicada nas folhas, 1200 g ha⁻¹ de Si, divididas em três pulverizações, ou seja, um incremento de 19% em relação ao tratamento sem adição de Si. Estes dados estão semelhantes ao obtido pelo índice de balanço de nitrogênio, NBI, sugerindo que o maior equilíbrio nutricional das plantas foi capaz de promover maiores índices de produtividade de grãos pela cultura avaliada.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*; mitigação de estresses abióticos; elemento benéfico; silicato de potássio.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), com produção inferior apenas aos países de Mianmar, Índia (FAOSTAT, 2021). O feijão-comum é uma das culturas de grande relevância no aspecto econômico, nutricional e cultural no Brasil. De acordo com a Conab (2021), a produção média da cultura no país na safra 21/22 foi de 2,9 t ha⁻¹.

A produção do feijoeiro comum na terceira safra, sob cultivo irrigado, pode aumentar a susceptibilidade a estresses bióticos e abióticos, principalmente a fatores edafoclimáticos quanto altas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica. Em ambientes tropicais, os solos são geralmente ácidos, com baixa fertilidade natural, neste sentido, o Si é capaz de promover o aumento na eficiência do aproveitamento do fósforo do solo, bem como a tolerância à toxidez por Al, Mn e Fe (Tisdale et al., 1993).

Na planta, o Si é capaz de aumentar a capacidade fotossintética, a resistência ao acamamento, o incremento no diâmetro do caule e número de folhas, além da redução da taxa transpiratória e estímulo da resistência



das plantas a pragas e doenças (Malavolta, 2006). Este efeito ocorre, pois o Si atua como ativador de genes e sinalização na biossíntese de compostos de defesa (Fawe et al., 2001). Segundo Fauteux et al. (2005), o silício (Si) interage com componentes importantes capazes de induzir a expressão gênica de enzimas antioxidantes, aumentando a resistência aos estresses abióticos (Mir et al., 2022).

Neste contexto, tendo em vista todos os benefícios do silício (Si) para a produção da cultura de feijão-comum, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de diferentes doses de silício na forma de silicato de potássio em relação a produtividade de grãos do feijoeiro comum cultivado em sistema irrigado no Cerrado brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°35'48" S e 49°16'63" O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018), sob sistema de irrigação por aspersão em pivô central. O solo da área é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distroférrico de acordo com Santos et al. (2018). Para fins de caracterização e análise da fertilidade atual, foi realizada a amostragem de solo segundo as recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), e análise química seguindo metodologia proposta por (Silva, 2009) e, análise granulométrica conforme (Teixeira et al., 2017), na profundidade de 0,0-0,20, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m antes da instalação do experimento. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Profundidade (m)	Argila	Areia	Silte	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	pH
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹	(CaCl ₂)
0,0 – 0,20	340	580	80	1,8	25,0	57,0	3,3	18,0	4,7
Profundidade (m)	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	m	V
	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----%-----		
0,0 – 0,20	8,7	72,0	2,2	1,0	3,5	0,2	6,9	5,6	49,2

M.O.: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; m% e V%: Saturação por alumínio e por bases.

Para o plantio, o solo foi preparado conforme sistema de semeadura direta na palha. As adubação de plantio foi realizada conforme a indicação para a cultura com base na análise química inicial, conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004), sendo: 270 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e, 70 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCL). Aos 25 dias após a emergência, foram realizadas as adubações de cobertura com N, nas quantidades de 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. O experimento foi instalado no campo com a cultivar BRS Estilo, com 90% de germinação e as sementes tratadas com inseticida Standak Top (200 mL de calda para 100 kg de sementes).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, composto por cinco doses de Si (0, 300, 600, 900 e 1200 g de Si ha⁻¹) aplicados na forma de silicato de potássio, estabilizado com sorbitol (10%) (Si = 107 g L⁻¹; K₂O = 35,7 g L⁻¹; pH = 11,5). Em cada tratamento contendo Si, foram equilibradas as concentrações de potássio (K), na forma de cloreto de potássio, para eliminar o efeito deste nutriente na solução. As adubações foliares contendo Si foram divididas em três pulverizações, nos estágios V4, R5 e R7, utilizou-se também o tratamento adicional. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, e cada unidade experimental com cinco linhas de 5 m, espaçadas a 0,45 m, totalizando 11,25 m².

As avaliações fisiológicas das plantas de feijão foram realizadas no início do florescimento, por meio da amostragem foliar (folha diagnóstico +3: primeira folha amadurecida a partir da ponta da haste principal) em cada unidade experimental, segundo procedimentos proposto por Oliveira (2004). Em seguida, foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas (NuPlant) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e



analisados os teores de macro e micronutriente conforme métodos propostos por Silva (2009) e os teores de silício por metodologia proposta por Kraska & Breitenbeck (2010). No mesmo momento, foram realizadas as avaliações do índice relativo de clorofila (IRC) e dos índices fisiológicos com o Dualex (teor de clorofila - CHL, teor de antocianina - ANTH, teor de flavonóis - FLAV e índice de balanço de nitrogênio - IBN).

Para a avaliação da produtividade realizou-se a colheita manual das unidades experimentais considerando as três linhas centrais, descartando-se os 0,5 metros de cada extremidade, para efeito de bordadura, totalizando 5,4 m² colhidos por parcela, sendo posteriormente transformados para kg ha⁻¹, com umidade corrigida para 14%. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o software estatístico AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de silício não influenciou os teores de nutrientes nas plantas de feijão na avaliação realizada no florescimento, exceto para os teores de Ca, conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Contudo, ao realizar o desdobramento da análise de regressão, observa-se que os maiores teores de Ca (17,15 g kg⁻¹) são obtidos com a aplicação de 681 g ha⁻¹ de Si (Figura 1a).

Tabela 2. Teores de macronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Dose de Si g ha⁻¹						
0	43,21	3,24	20,40	15,12b	4,32	2,32
300	44,90	3,38	20,30	15,95b	4,47	2,54
600	45,50	3,23	20,85	18,05a	4,70	2,65
900	44,82	3,33	21,82	16,25b	4,27	2,71
1200	44,41	3,01	21,25	16,10b	4,22	2,63
F	0,30 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,38 ^{ns}	3,78*	0,79 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Média Geral	44,57	3,24	20,92	16,29	4,40	2,57
CV	7,06	5,92	9,77	6,77	9,79	14,42

**, *, ns – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Quando se avalia os parâmetros fisiológicos das plantas avaliadas no florescimento, observa-se que somente o índice de balanço nitrogenado na planta apresentou influência dos tratamentos aplicados (Tabela 4), onde houve um ajuste linear, tendo o maior índice de 9,82 obtido com o uso da maior dose de Si aplicada, 1200 g ha⁻¹ (Figura 1b). De modo semelhante, os teores de Si nas plantas de feijão, também foram influenciadas pelas doses de Si aplicadas (Tabela 4), com incrementos com ajustes quadráticos, os quais atingiram 1,37 g kg⁻¹ com a aplicação de 1136 g ha⁻¹ de Si (Figura 1c). Neste sentido, a produtividade de grãos do feijoeiro-comum também foi influenciada pela aplicação foliar de Si, conforme pode ser observado na Tabela 4, onde houve um ajuste linear, sendo obtido 3758,6 kg ha⁻¹ de grãos com a aplicação de 1200 g ha⁻¹ de Si (Figura 1d).



Tabela 3. Teores de micronutrientes das plantas de feijão-comum em função da aplicação foliar de silício, cultivado em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Dose de Si g ha ⁻¹					
0	28,10	11,61	87,12	103,33	35,47
300	29,64	11,03	87,39	108,86	35,23
600	28,69	11,03	84,28	105,75	35,65
900	28,78	10,82	87,15	106,16	35,43
1200	28,14	11,51	88,25	104,74	35,25
F	0,34 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Média Geral	28,67	11,20	86,83	105,77	35,40
CV	7,50	9,25	7,78	8,10	6,51

^{**}, ^{*}, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Índice relativo de clorofila (IRC), índice balanceado de nitrogênio (NBI), índices de antocianina (ANTH), flavonóis (FLAV), clorofila (CHL), teor de Si e produtividade de grãos de feijão cultivados em condições edafoclimáticas de Cerrado. Goiânia, GO, Brasil, 2021.

Tratamentos	IRC	NBI	ANTH	FLAV	CHL	Si		Produção
						g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
Dose de Si g ha⁻¹								
0	22,04	8,8b	0,21	3,47	31,58	0,64e		3090,22d
300	22,12	9,4a	0,21	3,45	30,32	1,07d		3336,56c
600	22,34	8,95b	0,23	3,55	31,04	1,18c		3530,22b
900	22,87	9,95a	0,23	3,53	31,98	1,28b		3688,42a
1200	22,47	9,68a	0,22	3,44	31,05	1,38a		3658,69a
F	0,18 ^{ns}	6,20 ^{**}	1,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,19 ^{ns}	87,98 ^{**}		55,47 ^{**}
Média Geral	22,36	9,35	0,22	3,49	31,19	1,11		3460,82
CV	6,87	4,14	7,20	7,36	9,10	5,51		1,93

^{**}, ^{*}, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Silva (2013a) observaram efeitos sinérgicos entre a aplicação de nitrogênio e de silício em plantas de milho, com maior eficiência na absorção de Si, quando aplicado maiores doses de adubação nitrogenada. Este comportamento este associado à maior atividade da redutase do nitrato, uma importante enzima na planta ligada ao metabolismo do N. Mir et al. (2022) relatam que o Si é capaz de promover a indução da resistência das plantas ao estresse abiótico, principalmente devido a maior expressão gênica de enzimas antioxidantes, tais como prolina, glucina, catalase, peroxidase, dismutase da superóxido, bem como reduzir o acúmulo excessivo de sódio, comum em fertilizantes potássicos, bastante utilizado em lavouras comerciais brasileiras. Este comportamento do Si na planta, justifica o maior incremento na produtividade de grãos linearmente, mesmo na cultura do feijoeiro comum que não é considerada acumuladora de Si. Assim, o uso do Si nos programas de adubação em ambientes tropicais surge como uma alternativa viável para incrementos na produtividade e mitigação de efeitos deletérios provocados pelos estresses bióticos e abióticos, principalmente pelo déficit hídrico comuns na região do presente estudo.

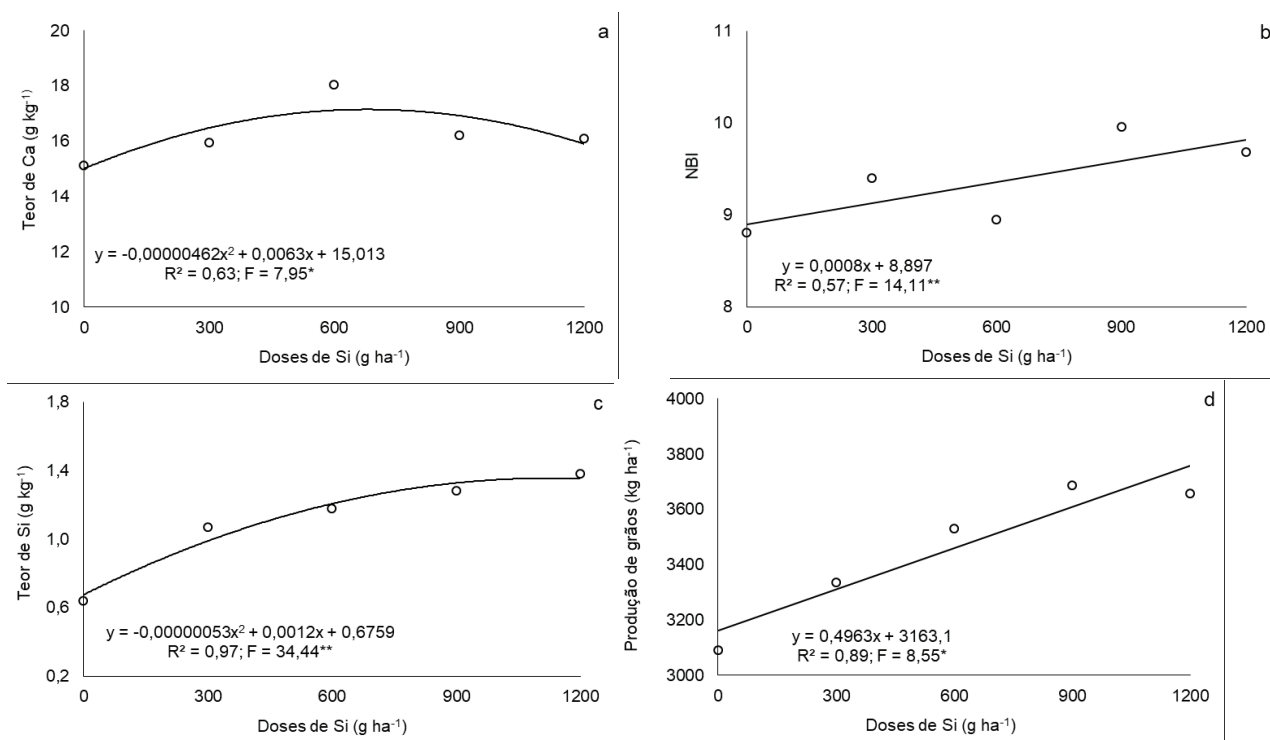


Figura 1. Teor de cálcio nas folhas (a), índice de balanço de nitrogênio – NBI (b), teor de silício nas folhas (c) e produtividade de grãos (d) do feijão comum cultivado em condições edafoclimáticas de cerrado. Goiânia, GO, Brasil.

CONCLUSÕES

As pulverizações foliares contendo silício aumentaram os teores deste elemento na planta, onde as doses superiores a 900 g ha⁻¹ de Si, divididas em três pulverizações, foram capazes de melhorar o balanço de nitrogênio na planta, refletindo em maiores rendimentos produtivos de grãos do feijoeiro comum.

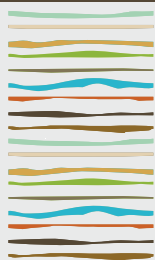
BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP. 396 pp.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves-Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247–256.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2021/22, nº12. Set/2021.
- FAOSTAT. **Crops**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- Fauteux, F; W Remus-Borel; JG Menzies & RR Bélanger. 2005. Silicon and plant disease resistance Against pathogenic fungi. **Microbiology Letters**, 249(1):1-6.
- Fawe, A; JG Menezes; M Chérif & RR Bélanger. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE & GH Snyder (Eds.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier.
- Kraska, JE & GA Breitenbeck. 2010. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 41:2075–2085.
- Malavolta, E. 2006. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Ceres, 443p.
- Mir, RA; BA Bhat; H Yousuf; ST Islam; A Raza; MA Rizvi; S Charagh; M Alabaqami; PA Sofi & SM Zargar. 2022. Multidimensional role of silicon to activate resilient plant growth and to mitigate abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, 13:819658.
- Oliveira, SA. 2004. Análise foliar. In: Sousa DMG & E Lobato (eds). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.245-256.



- Silva, ED. 2013. **Efeito das concentrações de nitrogênio e silício em plantas de milho e de trigo sob cultivo hidropônico**. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista – Unesp.
- Silva, FC. 2009. **Manual of chemical analyzes of soils, plants and fertilizers** (2 th). Embrapa Informação Tecnológica. 627pp.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds). 2004. **Cerrado: correção e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416pp.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3 th). Embrapa. 574pp.
- Tisdale, SL; WJ Nelson; & JD Beaton. 1993. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, p.202-331.





EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SILICATADA NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA

Flores, R.A.^{1,*}; S.R. Conceição², F.S.R. de Lima³, M.F.N. Xavier³, R.T. do Carmo³, M.L. Lima⁴ e N.P.R. Reges³

¹ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

² Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

* Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900, rilner@ufg.br

RESUMO

Responsável por mais de 10% do faturamento do setor agropecuário brasileiro, a cultura do milho possui destaque econômico e social. A adequada nutrição nitrogenada irá determinar o crescimento das plantas de milho, com reflexos no rendimento produtivo da cultura. O silício é um importante aliado na mitigação de estresses bióticos e abiótico em lavouras em regiões tropicais, promovendo melhoria nos rendimentos e qualidade nutricional das plantas. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros produtivos e o teor de proteína nos grãos do milho de segunda safra em função de fontes nitrogenadas e da adubação foliar contendo silício. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2022, em área experimental da Escola de Agronomia da UFG, no município de Goiânia, GO, Brasil. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitrato) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1.350 e 1.800 g ha⁻¹), divididas em três pulverizações, com seis repetições. Foram avaliados os parâmetros produtivos como stand de plantas, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira na espiga, produção de grãos, peso de 1.000 grãos e o teor de proteína nos grãos do milho de segunda safra. As fontes apresentaram comportamentos diferentes entre os parâmetros avaliados, sendo a maior produtividade de grãos, obtidas com o uso do nitrato (7.029 kg ha⁻¹) em relação ao uso da ureia (6.280,2 kg ha⁻¹). A adubação foliar com silício promove ganhos produtivos de grãos com o uso do nitrato, atingindo 7.579,5 kg ha⁻¹ de grãos com o uso de 1.030 g ha⁻¹ de Si, divididos em três pulverizações.

Palavras chave: *Zea mays*, mitigação de estresses abióticos, Cerrado brasileiro.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) produzido no Brasil é uma das espécies anuais cultivadas cuja a principal finalidade é a colheita dos grãos para a destinação à alimentação humana e, sobretudo, para composição de ração para a criação de animais (Resende et al., 2019). De acordo com 12º levantamento da Conab, há previsão de uma produção total de 113,3 milhões de toneladas de milho, um aumento de 30,1% comparado à safra anterior. Para o Estado de Goiás, os rendimentos produtivos variaram entre produtividades superiores a 7.200 kg ha⁻¹ até mesmo perdas de lavouras ocasionadas pelas condições edafoclimáticas da região, como principal fator o déficit hídrico na fase reprodutiva da cultura (CONAB, 2022).

O adequado aporte nitrogenado para a produção do milho de segunda safra é um fator primordial para garantir a formação de plantas vigorosas, mais resistentes aos estresses e maior potencial produtivo (Resende et al., 2019). Isto deve-se ao fato do nitrogênio (N) estar relacionado aos processos bioquímicos das plantas, sendo um constituinte de enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos, proteínas e clorofila (Cantarella, 1993).



Neste sentido, o uso de técnicas que permitam melhorar a eficiência de aproveitamento do N aplicado no solo torna-se imprescindível reduzir custos, aumentar a produtividade e promover a preservação ambiental, uma vez que os fertilizantes nitrogenados são um dos mais aplicados na agricultura. Atualmente, a ureia e o sulfato de amônio são os mais aplicados no solo como fonte nitrogenada, os quais possuem alto potencial de perdas por meio da lixiviação, escoamento superficial, volatilização da amônia ou imobilização na biomassa microbiana (Fernandes, 2019). O uso do nitrato de amônio e cálcio (nitrato) possui menor solubilidade e surge como fonte alternativa bastante viável, por não haver perdas por redução de amônio e não promover a acidificação do solo (Barros, 2019).

A produção de milho de segunda safra na região central do Brasil enfrenta dificuldades quanto à disponibilidade hídrica e às altas temperaturas comuns entre os períodos secos do ano. Neste sentido, o uso do silício (Si) em lavouras tem demonstrado importantes resultados, principalmente na mitigação de estresses abióticos. Isto ocorre devido a redução dos danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs), aumentando a atividade enzimática antioxidante, como a superóxido dismutase, a catalase, a ascorbato peroxidase e a peroxidase (Flores et al., 2019). Os mesmos autores afirmam ainda que o Si está relacionado ao efeito bioquímico na síntese de prolina, lignina, ao incremento de clorofila, na redução da taxa transpiratória, além de modular, de forma eficiente, a expressão de proteínas relacionadas a assimilação de CO_2 /fotossíntese e síntese de proteína.

Nesse sentido, o adequado manejo nutricional nitrogenado e o estudo sobre a viabilidade técnica do uso do silício torna-se importante para a produção do milho de segunda safra na região central do Brasil, principalmente devido às condições climáticas que favorecem os estresses abióticos como o estresse hídrico e altas temperaturas. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros produtivos e o teor de proteína nos grãos do milho de segunda safra em função de fontes nitrogenadas e da adubação foliar contendo silício.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás ($16^{\circ}35'48''$ S e $49^{\circ}16'63''$ O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018). O período de condução do estudo foi durante a segunda safra (entre março e julho de 2022).

O solo da área é classificado seguindo os procedimentos propostos por Santos et al. (2018), como LATOSSOLO AMARELO Distroférrico. Para fins de caracterização e análise da fertilidade atual, foi realizada a amostragem de solo segundo as recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), e análise química seguindo metodologia proposta por (Silva, 2009) e, análise granulométrica conforme (Teixeira et al., 2017), na profundidade de 0,0-0,20 e 0,2-0,4 m, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Para o plantio, o solo foi preparado conforme sistema de cultivo convencional após o preparo do solo, sendo realizada gradagem seguida de grade niveladora, 10 dias após estes procedimentos foi feita a dessecação das plantas espontâneas com a aplicação de $5,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Roundup Original® distribuídos em um volume de calda de 120 L ha^{-1} . As adubações de plantio foi realizada conforme a indicação para a cultura com base na análise química inicial, conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004), sendo: 210 kg ha^{-1} de N – ureia ou nitrato (30 kg ha^{-1} no plantio e 180 kg ha^{-1} em duas coberturas, a primeira com as plantas contendo entre 4-6 folhas e a segunda as plantas contendo entre 8-10 folhas) e 150 kg ha^{-1} de K_2O – cloreto de potássio (60 kg ha^{-1} no plantio, e o restante em duas coberturas, a primeira com as plantas contendo entre 4-6 folhas e a segunda as plantas contendo entre 8-10 folhas) e 170 kg ha^{-1} de P_2O_5 – fosfato monoamônico (MAP).



Tabela 1. Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m antes da instalação do experimento.

Prof. (m)	Argila	Areia	Silte	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	pH	S
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³
0 – 0,2	420	510	70	2,0	44,0	37,0	5,0	16,0	5,0	2,0
0,2 - 0,4	450	440	110	1,5	65,6	19,2	3,1	13,0	5,3	15,0
Prof. (m)	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	B	V	Na
	mg dm ⁻³			-----cmol _c dm ⁻³ -----				mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³
0 – 0,20	9,2	70,8	2,7	1,3	2,9	0,0	7,09	0,43	59,15	3,2
0,2 - 0,4	3,4	15,9	2,6	1,2	1,8	0,0	5,66	0,28	68,11	3,5

M.O.: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; V%: Saturação por bases.

A cultivar utilizada foi o híbrido B2782PWU. O plantio foi realizado para atender uma população de 65.000 plantas ha⁻¹. No decorrer do experimento foram realizadas, sempre que necessário, capinas manuais para o controle de plantas daninhas, para evitar possíveis efeitos fitotóxicos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, composto por um esquema fatorial 2x5, onde os componentes principais serão as fontes de adubação nitrogenada (Nitratop (27% de N) e Ureia (45% de N)), e nos componentes secundários serão compostos pelas doses de silício aplicados de forma foliar (0-controle, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹ de Si, aplicados na forma de silicato de potássio), ambos com 6 repetições. Ressalta-se que as adubações foliares contendo o Si foram divididas em três momentos, sendo a primeira em V6, a segunda em V8 a terceira em v10. Para cada tratamento contendo a adubação silicatada houveram o equilíbrio na quantidade de potássio aplicada via forma de silicato de potássio de forma que houvessem as variações somente dos teores de Si. As pulverizações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal com CO₂ de forma que a vazão fosse constante, calibrada para uma calda de 150 L ha⁻¹. Cada unidade experimental foi composta por 7 linhas de 20 m, espaçadas a 0,45 m, totalizando 63 m².

Antes da colheita, foram analisados o stand de plantas por área, o número de fileiras de grãos por espiga e o número de grãos por fileira na espiga, a partir de 15 plantas amostradas por unidade experimental. Para a avaliação de produtividade, foi realizada a colheita manual das unidades experimentais considerando as três linhas centrais, descartando-se os 0,5 metros de cada extremidade, para efeito de bordadura. As parcelas colhidas foram trilhadas manualmente e realizada a separação das impurezas das sementes com auxílio de peneiras. As amostras das sementes colhidas foram pesadas, e com base no peso obtido foi determinada a produtividade dos tratamentos em kg ha⁻¹, corrigida para 16% de umidade. Ainda, logo após a avaliação da produtividade foram avaliados o peso de mil grãos (PMS) e os teores de proteína (%).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Para os dados significativos foi realizado o estudo da regressão linear e polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fonte nitrogenada influenciou nos parâmetros produtivos do milho de segunda safra, bem como no rendimento produtivo de grãos, independentemente da dose de Si aplicada (Tabela 2). Nota-se que o stand de plantas por metro quadrado e a produção de grãos foram maiores quando utilizado o nitratop como fonte nitrogenada, enquanto que o número de grãos por fileira na espiga e o número de fileiras de grãos por espiga do milho foram maiores quando utilizado a ureia. Já os teores de proteína nos grãos não foram influenciados pelas fontes nitrogenadas aplicadas no solo. Quando se avalia de forma isolada o efeito da aplicação foliar de Si, observa-se que apenas o número de grãos por fileira na espiga do milho e no teor de proteínas foram afetados (Tabela 2).



Tabela 2. Stand de plantas, número de grãos por fileira na espiga, número de fileiras por espiga, produção de grãos, peso de mil grãos e teor de proteínas nos grãos do milho de segunda safra, ano agrícola 2022. Goiânia, GO, Brasil.

Tratamentos	Stand	Grãos por Fileira	Fileiras por Espiga	Produção de Grãos	PMS	Proteína
	m ²		kg ha ⁻¹	g		%
Fonte de N						
Ureia	6,09b	31,04a	15,77a	6.280,21b	406,20	30,59
Nitrato	7,01a	30,56b	15,21b	7.029,15a	407,52	31,70
F	172,33**	5,11*	31,88**	27,57**	0,10 ^{ns}	2,25 ^{ns}
Dose de Si (g ha⁻¹)						
0	6,51	30,64	15,40	6.182,61	402,00	28,42
450	6,57	30,34	15,49	6.603,16	405,00	31,64
900	6,56	31,07	15,60	7.419,80	413,80	32,28
1350	6,51	30,64	15,38	6.581,52	409,00	31,29
1800	6,62	31,31	15,59	6.486,33	404,50	32,09
F	0,31 ^{ns}	2,62*	0,88 ^{ns}	8,30**	1,00 ^{ns}	3,57*
Interação FxD						
F	0,12 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,65 ^{ns}	5,93**	0,33 ^{ns}	0,94 ^{ns}
Média Geral	6,55	30,80	15,49	6.654,68	406,86	31,17
CV	4,16	2,67	2,46	8,30	3,93	9,24

**, *, ^{ns} – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para o número de grãos por fileira da espiga, houve um incremento com ajuste linear, atingindo 31,19 grãos por fileira com o uso de 1800 g ha⁻¹ de Si, divididos em três pulverizações (Figura 1). Já os teores de proteína nos grãos houveram um ajuste quadrático, atingindo 32,88% com o uso de 1425 g ha⁻¹ de Si, independentemente da fonte nitrogenada aplicada no solo (Figura 1). Quando se avalia o rendimento produtivo de grãos, observa-se efeito positivo da interação entre as fontes nitrogenadas e a adubação foliar contendo Si (Tabela 2). No entanto, quando se realiza o desdobramento da interação, observa-se que a adubação foliar com Si não afetou a produtividade de grãos quando a fonte nitrogenada era a ureia, os quais apresentou a produtividade média de 6.280,00 kg ha⁻¹ de grãos (Figura 1). Já quando a fonte nitrogenada aplicada no solo foi o nitrato, houve efeito com ajuste quadrático, sendo o máximo de 7.579,5 kg ha⁻¹ de grãos com o uso de 1.030 g ha⁻¹ de Si, divididos em três pulverizações (Figura 1).

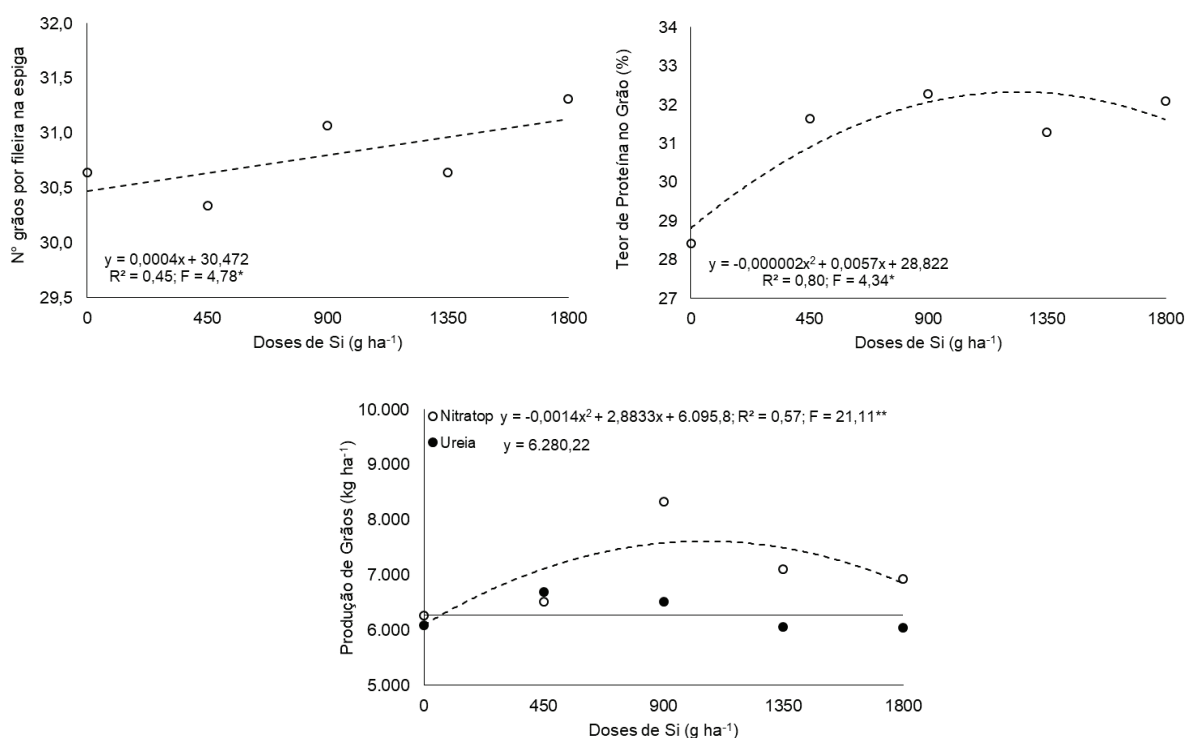


Figura 1. Número de grãos por fileira na espiga, teor de proteína no grão e produção de grãos do milho cultivado em segunda safra, ano agrícola 2022. Goiânia, GO, Brasil.

A obtenção de altos rendimentos produtivos associado a uma alta eficiência do uso do N é de fundamental importância para a produção de grãos de milho cultivado em segunda safra. Cantarella et al. (2018) relata que o uso eficiente de N-fertilizantes está se tornando cada vez mais importante para a produção moderna do milho devido aos custos ambientais e econômicos associados à adubação nitrogenada. O que observava-se no presente estudo é que a fonte nitrogenada que possui a menor solubilidade promove melhores rendimentos produtivos (Tabela 2). Este efeito, sugere que a planta consegue aproveitar de forma mais eficiente o N que é liberado de forma mais lenta para o solo, com prováveis menores perdas no sistema. O efeito da aplicação foliar contendo silício na produtividade de grãos também foi relatado por Amin et al. (2015), principalmente quando as plantas estavam sob condição de déficit hídrico devido à melhoria do aparato fotossintético, do estado hídrico foliar e do ajuste osmótico das plantas. Por mais que estes parâmetros não tenham sido avaliados, as condições edafoclimáticas comuns nesta região durante este período, sugere que o Si possa ter mitigado os efeitos deletérios dos estresses abióticos e promovido ganhos em rendimento produtivo do milho de segunda safra.

CONCLUSÕES

As fontes apresentaram comportamentos diferentes para o rendimento produtivo de grãos, sendo as máximas obtidas com o uso do nitratop (7.029 kg ha⁻¹) em relação ao uso da ureia (6.280,2 kg ha⁻¹). A adubação foliar com silício promove ganhos produtivos de grãos com o uso do nitratop, atingindo 7.579,5 kg ha⁻¹ de grãos com o uso de 1.030 g ha⁻¹ de Si, divididos em três pulverizações.

BIBLIOGRAFIA

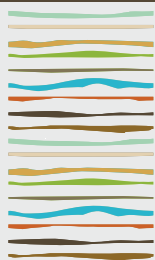
- Amin, M; R Ahmad; A Ali; M Aslam & DJ Lee. 2015. Silicon fertilization improves the maize (*Zea mays* L.) performance under limited moisture supply. **Cereal Research Communications**, 44(1): 172-185.
- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP. 396 pp.
- Barros, DTS. 2019. **Produção de milho doce sob fontes e doses de nitrogênio em associação à *Azospirillum brasilense***. 72f. Dissertação



(Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal de Alagoas (UFA).

- Cantarella, H. 1993. Calagem e adubação do milho. In: Bühl, LT & Cantarella, H. (Eds). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, p.147-198.
- Cantarella, H; R Otto; JR Soares & AGB Silva. 2018. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. **Journal of Advanced Research**, 13:19-27.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves-Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247–256.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). 2022. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – 12º levantamento**. Brasília 12:1-87.
- Fernandes, VC. 2019. **Calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada em sistema plantio direto: características químicas do solo, estado nutricional e produtividade do milho**. 57f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Flores, RA; JP Souza-Junior; AS Santos; FJR Cruz; CNS Campos; GB Silva-Junior & RM Prado. (2019). Importância do silício na bioquímica e fisiologia das plantas. In: Flores RA; PP Cunha; RL Marchão & MF Moraes (Eds.). **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. Goiânia: Cegraf/UFG. p.75-93.
- Resende, AV; MM Gontijo-Neto; E Borghi; EP Simão; DC Martins; FC Santos & AM Coelho. 2019. Nutrição e adubação do milho na região do Cerrado. In: Flores RA; PP Cunha; RL Marchão & MF Moraes (Eds.). **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. Goiânia: Cegraf/UFG. p.75-93.
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumberreras; MR Coelho; JA Almeida; JC Araújo-Filho; JB Oliveira & TJF Cunha (Eds). 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Silva, FC. **Manual of chemical analyzes of soils, plants and fertilizers** (2 th). 2009. Embrapa Informação Tecnológica. 627pp.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds). 2004. **Cerrado**: correção e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416pp.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3 th). Embrapa. 574pp.





FACTORES EDAFOCLIMÁTICOS Y CRECIMIENTO DEL *Austrocedrus chilensis* (CIPRÉS DE LA CORDILLERA) EN NEUQUÉN, ARGENTINA

Frugoni M.C., A.L. Rabino, R.F. González Musso, A. Medina, J. Muñiz Saavedra, A. Suárez, J.C. Salazar, L. Echenagucia Istillarte¹

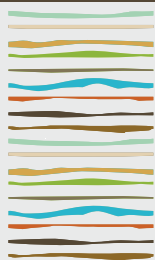
¹ Universidad Nacional del Comahue, Asentamiento Universitario San Martín de los Andes;
Pasaje de la Paz 235, (8370) San Martín de los Andes, Prov. del Neuquén, crisfrugoni@gmail.com}

RESUMEN

Los bosques de *Austrocedrus chilensis* integran el Distrito Caducifolio de la Provincia Subantártica, acompañados de especies arbóreas menores como *Maytenus boaria* y *Lomatia hirsuta* y presenta un estrato arbustivo y herbáceo como *Berberis microphylla* y *Discaria articulata*. El objetivo del trabajo fue explorar distintas variables edafoclimáticas que pudieran influenciar en el crecimiento de esta especie en situaciones geográficas contrastantes. Los sitios de muestreo se localizaron en sentido Norte-Sur a lo largo de la provincia del Neuquén. En cada localización se establecieron dos sitios a una latitud similar: uno ubicado en el extremo oeste de la distribución natural del ciprés y el otro en el este. A campo, se realizó una descripción completa del suelo y se tomaron muestras con barreno de Pressler para realizar lectura de anillos de crecimiento y calcular los crecimientos en área basal (m^2): incremento total (IT), Incremento Medio anual (IMA) e Incremento Periódico Anual (IPA). La información climática se confeccionó a partir de la sistematización de una base de datos basada en registros diarios de 4 variables: precipitaciones, temperatura máxima, media y mínima en 75 estaciones meteorológicas para un período de 10 años. Se realizó un Análisis de Regresión Múltiple (ARM) para determinar qué factores del sitio explican mejor el crecimiento de Ciprés. Como resultado, se observó que el *A. chilensis* se desarrolla sobre tres órdenes de suelos: andisoles, molisoles y entisoles. Los andisoles son dominantes al oeste del área de estudio, mientras que los molisoles y entisoles predominan al este. Están en suelos someros -en el norte de la provincia- o con gran profundidad en los sectores centro y sur. El régimen hídrico en el norte y centro es xérico, en cambio al sur, los sitios oeste poseen mayoritariamente régimen údico. Se observan patrones distintos de crecimiento en función de la ubicación geográfica. En los sitios más próximos al límite de distribución natural (este), el Ciprés expresa crecimientos más lentos alcanzando el punto de máxima producción con un porte arbóreo más pequeño comparado con la muestra obtenida a la misma latitud, pero al oeste. Con respecto al ARM, el mismo requiere de un tamaño de muestra significativamente mayor del que se disponía. A pesar de eso y siendo significativa la probabilidad, el análisis se puede asumir como orientativo. Respecto a la posición geográfica, el contraste de ANOVA para los factores latitud y longitud dan un error de alfa del 0,1 aproximadamente, lo que indicaría un contraste importante al 90% de probabilidad. Para las variables del suelo como la profundidad efectiva y del clima como la precipitación media, también se obtuvieron significancias cercanas al 90%. Si bien los resultados no son concluyentes, los mismos son bastante alentadores en cuanto a crecimientos y la modelización. De validarse el modelo ensayado, sería una herramienta fundamental para la confección de un mapa interactivo para la aptitud forestal de esta y otras especies y su distribución en Neuquén, el cual puede servir de base para la toma de decisiones en la definición de políticas forestales actuales y futuras.

Palabras clave: relaciones suelo-bosque, suelos volcánicos, modelación de crecimiento forestal.





AISLAMIENTOS DE ENDÓFITOS EN NODULOS DE ALFALFA EN HAPLUSTOLES SALINOS Y ANEGABLES

Gallace, M.E.^{1*}, C. M. Vigna¹, L. P. Dalmasso¹, F. Porta Siota^{1,2}, M. Díaz-Zorita¹

¹ Facultad de Agronomía- UNLPam;

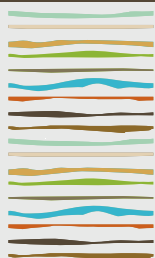
² INTA EEA Anguil;

* Ruta Nacional 35, km 334, (6300) Santa Rosa, Prov. de La Pampa,
gallace@agro.unlpam.edu.ar

RESUMEN

La frecuencia de anegamiento y presencia de sales en los suelos, es una situación de creciente expansión en ambientes cultivados, que modifican la disponibilidad de recursos y generan variaciones en las condiciones de crecimiento de las plantas y sobre la actividad biológica de la rizosfera. La efectividad de fijación biológica de nitrógeno en plantas de alfalfa estaría en parte relacionada con la actividad de los rizobios en los nódulos. Hay antecedentes que muestran que en los nódulos se pueden encontrar más de una cepa de rizobios y otros microorganismos endófitos. Esta característica contribuye a la diversidad funcional y así a la sustentabilidad de los agroecosistemas. El objetivo de este trabajo fue describir la diversidad de endófitos aislados de nódulos de alfalfa según la posición de las plantas en el paisaje y de los nódulos en el perfil del suelo y su relación con algunas propiedades edáficas. Se seleccionaron 4 sitios con pasturas de alfalfas implantadas de un año de producción, aledaños a Macachín (La Pampa) con suelos profundos (sin presencia de tosca hasta un metro de profundidad). En cada uno se identificaron ambientes contrastantes de estrés sobre la producción de las pasturas. En el lote 1 y 2 posiciones de loma y de bajo (con frecuente encharcamiento superficial temporario) y en los lotes 3 y 4 áreas con y sin afloramientos salinos por ascenso del agua freática. En cada caso se seleccionaron 3 sectores representativos y dentro de estos, 3 plantas al azar para recolectar los nódulos en 2 profundidades (0 a 20 cm y mayor de 50 cm) y tomar muestras de suelo para determinar pH en agua, conductividad eléctrica, materia orgánica, textura y fósforo extractable (BK1). Los nódulos fueron procesados y a partir de macerados se estrió en medio de cultivo agar extracto de levadura manitol para obtener colonias aisladas y puras. En promedio, cada planta de alfalfa presentó entre 2 y 6 aislamientos de microorganismos endófitos en los nódulos con diferencias entre su posición en la raíz y entre sitios. Los nódulos superficiales mostraron mayor diversidad que los ubicados en profundidad (27% más de aislamientos, $p \leq 0,001$). En los sitios con anegamientos superficiales frecuentes (bajos y ambientes salinos-sódicos) los aislamientos fueron 9% menores que en ausencia de estos y 11% mayores en condiciones sin ascenso de agua freática salina. Los aislamientos de endófitos fueron mayores al aumentar el fósforo extractable y no mostraron relaciones significativas con el resto de las propiedades edáficas evaluadas. Concluimos, que tanto la presencia de limitantes edáficas asociadas a la salinidad y la frecuencia de anegamientos, como la profundidad de los nódulos en raíces de alfalfa en producción modifican la diversidad de microorganismos endófitos.

Palabras clave: *Medicago sativa*, diversidad microbiana, estrés.



CONDICIONAMENTO DE NEOSSOLO QUARTZARÊNICO À RESÍDUOS ORGÂNICOS DE BAIXO VALOR ECONÔMICO PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

Galvão C. M. B.^{1*}, P. P. N. Chaves¹, J. A. S. Alves¹, B.V.G. Steffler¹, A. P. Umbelino¹, T. L. Nunes¹

¹Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação - SECITECI, Escola Técnica Estadual De Educação Profissional e Tecnológica de Poxoréu - ETE Poxoréu, Rodovia MT 260 - Km 05- Rural, Poxoréu - Mato Grosso, Brasil (CEP 78800-000), carlossedu13@gmail.com

RESUMO

Neossolos Quartzarênicos são considerados ecologicamente muito frágeis. Para o uso sustentável desses solos torna-se imprescindível a manutenção e o aumento dos teores de matéria orgânica do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade de hortaliças em Neossolos Quartzarênicos condicionados a resíduos orgânicos de baixo valor econômico. O experimento foi desenvolvido na área experimental, localizada na latitude 15° 48' 4" S, longitude 54° 26' 47" W e altitude de 344 m. O preparo do solo procedeu-se com aração, calagem, adubação corretiva, gradagem e posterior levantamento dos canteiros. Os tratamentos consistiram no uso de 20 t ha⁻¹ de resíduos orgânicos para adubação. Tratamento 1 - serragem de cedro e cedrinho (granulometria grossa); tratamento 2 - resíduos de capina (parte aérea de plantas daninhas); tratamento 3 - galhos e folhas de eucalipto (diâmetro maior que 0,5 cm); tratamento 4 - serragem de cedro e cedrinho granulometria fina; tratamento 5 - composto orgânico artesanal; tratamento 6 - testemunha (apenas adubação corretiva). Como variável, foi avaliada a produtividade (t ha⁻¹) de cada cultura. Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). A partir dos resultados é possível afirmar que todas as culturas tiveram bom desenvolvimento no tratamento 5, o que implica dizer que o solo arenoso, quando foi condicionado ao composto orgânico artesanal promoveu melhorias no desenvolvimento das plantas. Esse resultado foi explicado pelo nível de decomposição e granulometria do composto orgânico artesanal e pelo fato do seu enriquecimento com sulfato de potássio e fosfato natural reativo, o que contribuiu na liberação de nutrientes e melhoria das condições físico-hídricas do solo. O condicionamento de Neossolo Quartzarênico com 20 t ha⁻¹ de composto orgânico artesanal melhora a qualidade do solo arenoso e favorece o incremento na produtividade das hortaliças.

Palavras chave: Retenção de água, compostagem, alelopatia.

INTRODUÇÃO

As hortaliças são produtos de alto valor nutricional para o organismo (Andrade, 2012), por isso a Política Nacional de Alimento e Nutrição (PNAN) no Brasil, tem entre suas prioridades o aumento do consumo de hortaliças, que está relacionado a prevenção e controle de enfermidades (Camargo, 2018). O cultivo de hortaliças possibilita ao agricultor a produção de grande quantidade de alimentos por área, principalmente quando as olerícolas são de ciclo curto e permitem várias safras no ano, porém a dinâmica de cultivo das hortaliças demanda teores elevados de nutrientes do solo.

Na região do Cerrado é comum o uso agrícola de solos arenosos com pecuária e/ou produção de hortaliças pela agricultura familiar. Pois, os Neossolos Quartzarênicos ocupam 30 milhões de ha do Cerrado brasileiro, correspondendo aproximadamente 15% da área do referido Bioma (Caetano, 2013). Contudo, os solos



arenosos são considerados ecologicamente muito frágeis (Zuo et al, 2008), o que pode acarretar prejuízos relacionados a problemas ambientais (Sales, 2010).

Para o uso sustentável desses solos é imprescindível a manutenção ou até mesmo o aumento gradativo dos teores de matéria orgânica do solo – MOS (Caetano, 2013), podendo ser obtido, por exemplo, com a incorporação de resíduos de origem animal e vegetal no solo. Haja vista, que a elevação da MOS promove o aumento do valor da CTC dos solos de Cerrado (Araújo et al., 2007; Campos et al., 2011), efeito esse mais perceptível nos Neossolos Quartzarênicos (Frazão et al., 2008), onde a susceptibilidade ao processo erosivo e de lixiviação de cátions e perda de MOS é maior. Nesse sentido, a utilização de resíduos de origem animal e vegetal no condicionamento de Neossolos Quartzarênicos além de contribuir para o seu uso agrícola sustentável, também pode diminuir o custo de produção das hortaliças, devido a liberação de nutrientes no solo. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade de hortaliças em Neossolos Quartzarênicos condicionados a resíduos orgânicos de baixo valor econômico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo no período de fevereiro a setembro de 2022, na área experimental da Escola Técnica Estadual De Educação Profissional E Tecnológica no município de Poxoréu - MT, localizado na latitude 15° 48' 4" S, longitude 54° 26' 47" W e altitude de 344 m.

Os resultados da análise do Neossolo Quartzarênico, na camada de 0–20 cm de profundidade foram: textura - areia: 85,5% silte: 4% e argila: 10,5%; pH em CaCl_2 : 4,6; Al: 0,27 cmolc dm^{-3} ; Ca: 0,9 cmolc dm^{-3} ; Mg: 0,4 cmolc dm^{-3} ; P: 7,2 mg dm^{-3} ; K: 29,3 mg dm^{-3} e saturação por bases de 31,6%. Para a correção da acidez foi utilizado 3 t ha^{-1} de calcário calcítico, com objetivo de elevar a saturação por bases do solo para 80%, como recomendado para hortaliças.

O preparo do solo procedeu-se com aração, gradagem e posterior levantamento dos canteiros (15 cm), que foram submetidos a adubação corretiva do solo de acordo com as recomendações para hortaliças, utilizando-se 400 t ha^{-1} N-P-K (formulação 10-10-10), 13 kg ha^{-1} de coquetel de micronutriente (Molibdênio-0,1%, Boro-1,8%, Cobre-0,8%, Manganês-2% e Zinco-7%). Foram realizadas adubações de cobertura e capinas, no tempo e em quantidade adequada, para atender a necessidade de cada cultura olerícola

Ao longo do experimento foram realizadas irrigações duas vezes ao dia para o fornecimento de água de acordo com as condições climáticas e o estágio fenológico das culturas. Os demais tratamentos culturais limitaram-se a capinas manuais, raleamento de plantas e cobertura dos canteiros com serragem de madeira não tratada, visando manter a umidade do solo, controlar o desenvolvimento de plantas daninhas e evitar contato entre solo e hortaliças folhosas.

Os tratamentos consistiram no uso de 20 t ha^{-1} de resíduos orgânicos para adubação do Neossolo Quartzarênico, sendo eles: tratamento 1 - serragem de cedro e cedrinho com granulometria grossa, tratamento 2 - resíduos de capina em estágio de decomposição avançado (parte aérea de plantas daninhas resultando de capinas); tratamento 3 - galhos e folhas de eucalipto em início de decomposição (diâmetro maior que 0,5 cm); tratamento 4 - serragem de cedro e cedrinho granulometria fina em estágio de decomposição avançado; tratamento 5 - composto orgânico artesanal com 120 dias (25% de esterco bovino; 75% de restos vegetais de *Licania tomentosa* e *Eucalyptus*, 01% de sulfato de potássio e 1% de fosfato natural reativo); tratamento 6 - testemunha (apenas adubação mineral).

As eficiências dos diferentes resíduos orgânicos foram testadas por meio da produtividade das culturas da alface, beterraba, cebolinha, couve e rabanete. A colheita da alface ocorreu aos 64 dias após o transplântio de mudas, após 20 dias de viveiro. A cebolinha foi colhida 60 dias após o transplântio de mudas, produzidas via propagação vegetativa. A colheita da beterraba e rabanete ocorreram, respectivamente, aos 80 e 25 dias após a semeadura direta no canteiro. A colheita da couve ocorreu de forma que as repetições (R1, R2, R3 e R4) fossem obtidas no tempo, realizadas aos 60, 70, 80 e 90 dias após o transplântio de mudas com 25 dias de viveiro.



O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com sete tratamentos e três repetições, sendo cada unidade experimental representada por uma parcela de 2,0 x 1,2 m (2,4 m²) e a área útil para avaliação compreendeu todas as plantas da cultura excetuando-se as primeiras e últimas plantas de cada linha de cultivo.

Após a colheita das plantas foi avaliada a massa da matéria fresca comercial (t ha⁻¹) de cada cultura, eliminando-se as plantas danificadas ou sem valor comercial. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1 é apresentada, respectivamente, a produtividade da alface, beterraba, cebolinha, couve e rabanete, cultivadas em Neossolo Quartzarênico condicionado a diferentes adubações com resíduos orgânicos. A partir dos resultados é possível afirmar que todas as culturas tiveram bom desenvolvimento no tratamento 5, o que implica dizer que o solo arenoso, quando foi condicionado ao composto orgânico artesanal promoveu melhorias no desenvolvimento das plantas.

Esse resultado foi explicado pelo nível de decomposição e granulometria do composto orgânico e também pelo fato do seu enriquecimento com sulfato de potássio e fosfato natural reativo. Desta forma, o composto orgânico artesanal além de contribuir na liberação de nutrientes no solo, também colaborou nas condições físico-hídricas do Neossolo Quartzarênico. Primavesi (2002) e Mataix (2007) enfatizam que os atributos e a qualidade do solo são melhorados com aumento da matéria orgânica, por favorecer as condições físico-hídricas do solo. Além disso, a adição de matéria orgânica promove o enriquecimento de macronutrientes para as culturas e, também, aumenta a atividade microbiana do solo (Rodrigues, 2011).

Tabela 1. Produtividade de hortaliças em Neossolo Quartzarênico adubado com resíduo de baixo valor econômico

Hortaliças	Tratamentos						⁷ CV %
	1	2	3	4	5	6	
	Produtividade (t ha ⁻¹)						
Alface	1,17b	23,29a	2,01b	24,91a	24,25a	5,17b	20,65
Beterraba	10,33 d	39,77a	16,28c	37,67a	37,81a	31,61b	8,66
Cebolinha	1,12d	10,21b	4,66cd	5,50c	16,14a	11,73b	19,77
Couve	2,01d	4,49b	2,37d	3,82c	5,09a	3,40c	6,25
Rabanete	1,72d	13,4b	10,69c	10,86bc	16,05a	11,18bc	10,63

Médias seguidas de letras na linha não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. 1 - Serragem de cedro e cedrinho (granulometria grossa); 2 - Resíduos de capina; tratamento. 3 - Galhos e folhas de eucalipto (diâmetro de galhos maior que 0,5 cm); tratamento 4 - Serragem de cedro e cedrinho (granulometria fina); tratamento. 5 - Composto orgânico artesanal com 120 dias (25% de esterco bovino e 75% de restos vegetais de Licania tomentosa e Eucalyptus); tratamento 6 - Testemunha (apenas adubação mineral). 7 - Coeficiente de variação.

O desenvolvimento das hortaliças foi prejudicado quando o Neossolo Quartzarênico foi adubado com serragem de cedro e cedrinho com granulometria grossa e em estágio de decomposição inicial (Tratamento 1). De modo geral, o tratamento 1, mostrou-se menos eficiente que a testemunha (apenas adubação mineral), o que comprovou o potencial alelopático do cedrinho sobre o desenvolvimento de hortaliças. Kaneko (2006), verificou que o material cedrinho apresenta forte efeito alelopático e inibe a germinação das sementes de coentro e o estabelecimento de plantas de cebolinha. Contudo, por meio deste estudo foi possível verificar que a alface, a beterraba, a couve e o rabanete, também apresentaram problemas no seu estabelecimento e desenvolvimento em virtude do potencial alelopático do cedrinho.

A granulometria grossa da serragem do tratamento 1 é outro fator que pode ter contribuído para a menor produtividade de hortaliças no Neossolo Quartzarênico, o que, possivelmente, estimulou o processo de percolação da água no solo, refletindo em maior condutividade e menor disponibilidade de água às plantas, principalmente, nos estádios de germinação/emergência das culturas de semeadura direta, como beterraba e rabanete. Esse fato também foi percebido no tratamento 3, em que o material vegetal foi composto de galhos e folhas de eucalipto em início de decomposição e com diâmetro maior que 0,5 cm. Nesse sentido,



a adubação de solos arenosos com resíduos vegetais de granulometria grosseira é indicativo de diminuição da sua capacidade de retenção de água.

A produtividade da alface e da beterraba em solo arenoso condicionado com resíduos de capina em estágio de decomposição avançado (tratamento 2), foi igual a produtividade obtida no tratamento 5 (Composto orgânico artesanal com 120 dias). Porém, o resíduo de capina apresentou banco de semente elevado, o que tornou necessário várias capinas manuais ao longo do ciclo das culturas. Larney e Hao (2007) e Pereira (2013) explicam que o processo de compostagem promove a eliminação de sementes de plantas invasoras, em função da elevada temperatura durante o processo de compostagem.

CONCLUSÃO

O condicionamento de Neossolo Quartzarênico com 20 t ha⁻¹ de composto orgânico artesanal melhora a qualidade do solo arenoso e favorece o incremento na produtividade das hortaliças.

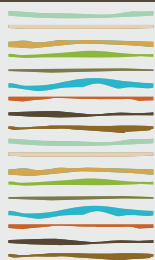
O uso de resíduos orgânicos de granulometria acima de 0,5 cm e em estágio de decomposição inicial não é indicado para o condicionamento de solos arenosos cultivados com hortaliças.

A serragem de cedrinho em estágio inicial de decomposição não é alternativa viável para o condicionamento de Neossolo Quartzarênico, devido seu alto poder alelopático.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, E. M. G.; SILVA, H. S.; SILVA, N. S.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FURTADO, G. F. (2012). Adubação organomineral em hortaliças folhosas, frutos e raízes. *Revista Verde, Pombal*, v.7, n.3, p.7-11.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. (2007). Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1099-1108.
- CAETANO, J.O.; BENITES, V. de M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R. da; ASSIS, R.L. de; CARGNELUTTI FILHO A. (2013). Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1245-1255.
- CAMARGO JUNIOR, O. A.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; SANTOS, H. S.; FREITAS, P. S. L. (2018). Hortaliças-fruto: aspectos gerais e uma estimativa da produção científica. *EDUEM, Maringá*: p. 23-35.
- CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B.F. & NÓBREGA, J.C.A. (2011). Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46:1681-1689.
- FRAZÃO, L.A.; PÍCCOLO, M.C.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. (2008). Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:641-648.
- KANEKO, Márcia Gonçalves. (2006). Produção de coentro e cebolinha em substratos regionais da Amazônia à base de madeira em decomposição (PAU). 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Universidade de Brasília, Brasília.
- LARNEY, F. J.; HAO, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 3221-3227.
- MATAIX, C. (2007) - Técnicas de revegetación de taludes. In: Restauración de Ecosistemas Mediterráneos/José M^a Rey Benayas; Tiscar Espigares Pinilla; José Manuel Nicolau Ibarra (eds.). Universidad de Alcalá, p 189-214.
- PEREIRA, D. C.; WILSEN NETO, A.; NÓBREGA, L. H. (2013). Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. *Varia Scientia Agrárias*, v. 3, n. 2, p. 159-174.
- RODRIGUES, P.N.F., ROLIM, M.M., BEZERRA NETO, E. (2011). Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.8, p.788-793.
- SALES, L.E. de O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G.C. de; FERREIRA, M.M. (2010). Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes usos agrícolas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.667-674.
- ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. (2008). Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil & Tillage Research, Amsterdam*, v.99, n.2, p.202-212.





NITRÓGENO MINERALIZADO EN ANAEROBIOSIS (NAN) EN DOS DÍAS COMO INDICADOR DE LA NUTRICIÓN DEL TRIGO

García, G.V.^{1,2,*}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}, N. Wyngaard^{1,2}, G.A. Studdert¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce;

² Comisión 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 (N) mineralizado en anaerobiosis (NAN) en 7 días (NAN_{7d}) permite estimar la disponibilidad potencial de N del suelo a partir de su relación con aspectos productivos del cultivo. No obstante, la determinación de NAN_{7d} requiere de más de una semana, lo que representa un inconveniente para realizar fertilizaciones inmediatas. Una disminución en el tiempo de incubación permitiría obtener una herramienta más accesible para ajustar la fertilización. El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación de NAN con 2 días de incubación (NAN_{2d}) con aspectos productivos del cultivo en comparación con NAN_{7d} . En 2018, se realizaron ocho ensayos en trigo en el sudeste bonaerense con dos niveles de fertilización nitrogenada: sin N (0N) y con N. Se tomaron muestras de suelo y de planta y se determinó NAN_{7d} y NAN_{2d} , rendimiento en grano 0N (RG_{0N}), biomasa aérea total 0N (BA_{0N}), N (NTP_{0N}) y fósforo (PTP_{0N}) total en planta 0N y respuesta en rendimiento en grano a la fertilización nitrogenada (R_{TA}). El NAN_{2d} estuvo positivamente relacionado con NAN_{7d} ($R^2=0,65$). Tanto NAN_{2d} como NAN_{7d} se relacionaron lineal y positivamente con todos los aspectos productivos del cultivo, excepto con R_{TA} . El NAN_{2d} presentó una capacidad de predicción menor que la de NAN_{7d} para RG_{0N} ($R^2=0,36$ vs. $0,42$, respectivamente), NTP_{0N} ($R^2=0,29$ y $0,38$, respectivamente) y PTP_{0N} ($R^2=0,31$ y $0,45$, respectivamente), y levemente mayor para BA_{0N} ($R^2=0,23$ y $0,19$, respectivamente). El reducido número de situaciones y la escasa variabilidad explorada pudieron haber limitado los resultados. Esto pone de manifiesto la necesidad de seguir investigando la posibilidad de reducir el tiempo de incubación de 7 a 2 días para determinar NAN y su utilidad con fines de diagnóstico de fertilidad nitrogenada.

Palabras clave: rendimiento en grano, nitrógeno total en planta, fósforo total en planta.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes que más influye sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los cultivos (Echeverría & Sainz Rozas, 2014). Por tal motivo, es importante considerar la capacidad de provisión de N del suelo. La disponibilidad de N en forma de nitrato ($N-NO_3^-$) a la siembra de los cultivos ha sido frecuentemente utilizada para ello (Sainz Rozas et al., 2008), pero no contempla en forma directa el aporte de N por mineralización desde el suelo durante el ciclo de los cultivos (García & Reussi Calvo, 2014). Los indicadores de la mineralización de N permiten conocer la capacidad de provisión de N del suelo y adecuar la fertilización nitrogenada. Uno de ellos es el N mineralizado en anaerobiosis (NAN) determinado con una incubación del suelo de 7 días (NAN_{7d}) (Keeney, 1982). Se ha reportado que NAN_{7d} se relaciona con el rendimiento en grano de maíz (*Zea mays* L.) (Orcellet et al., 2017), trigo (*Triticum aestivum* L.) (Reussi Calvo et al., 2013) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Queirolo, 2018). La incorporación del NAN_{7d} a los métodos de diagnóstico que sólo contemplaban la disponibilidad de $N-NO_3^-$, mejoró la capacidad predictiva del rendimiento en grano en trigo (Reussi Calvo et al., 2013) y en maíz (Orcellet et al., 2017). Esto ha permitido realizar recomendaciones más precisas y confiables de las dosis de fertilizante nitrogenado a aplicar. Sin embargo, para utilizar el

NAN_{7d} en el diagnóstico de fertilidad nitrogenada, se debe procurar un período de más de una semana desde el momento en que se toma la muestra hasta la obtención del dato, debido a que requiere cierto tiempo para el acondicionamiento de la muestra, más los 7 días de incubación y el tiempo de la cuantificación. Esto es un inconveniente cuando se debe realizar la fertilización del cultivo de manera inmediata. Una disminución en el tiempo de incubación permitiría obtener un indicador de la mineralización del N aún más accesible para ajustar la fertilización de cultivos. Estudios preliminares indicaron que NAN con 2 días de incubación (NAN_{2d}) se relacionó estrechamente con NAN_{7d} (Cantero *et al.*, 2022; García *et al.*, 2022). El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación de NAN_{2d} con aspectos productivos del cultivo en comparación con la de NAN_{7d}.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2018, se seleccionaron ocho lotes de producción agrícola del sudeste bonaerense que estaban destinados a la producción de trigo en secano. En cada lote se marcaron dos parcelas aledañas de 400 m². Una de ellas no recibió fertilización nitrogenada (0N), mientras que la otra recibió fertilización con N en la dosis utilizada por el productor agropecuario del establecimiento (entre 55 y 155 kg N ha⁻¹). Asimismo, el control de malezas, insectos y enfermedades fue llevado a cabo por el productor y el sistema de labranza fue siembra directa en todos los casos.

A la siembra del trigo, se tomaron muestras de suelo de 0-20 (n=8) y 0-60 (n=8) cm de profundidad en la parcela 0N. Las muestras fueron secadas en estufa a 50°C hasta peso constante y, luego, molidas hasta pasar por tamiz de 2 mm de abertura de malla. En 0-20 cm se determinó NAN_{7d} de acuerdo con el método de incubación anaeróbica del suelo durante 7 días a 40°C descrito por Keeney (1982), y NAN_{2d} siguiendo el mismo procedimiento, pero con sólo 2 días de incubación. El N en forma de amonio fue recuperado por destilación por arrastre de vapor y cuantificado mediante titulación (Keeney & Nelson, 1982). En 0-60 cm se determinó N-NO₃⁻ mediante extracción con sulfato de potasio y agitación, y cuantificación por espectrofotometría (Keeney & Nelson, 1982).

En estado de madurez fisiológica del cultivo de trigo, se realizó el muestreo de plantas en las dos parcelas. Para ello, en cada parcela se tomaron 3 muestras (n=24) de la parte aérea de la planta de 9 m lineales cada una. Las plantas fueron secadas en estufa a 60°C hasta peso constante y pesadas. Posteriormente, las espigas fueron separadas manualmente del resto de la planta (hoja y tallo). Las espigas fueron trilladas y los granos obtenidos fueron secados en estufa a 60°C hasta peso constante y pesados. Tanto los granos como el resto de la planta fueron molidos hasta pasar por tamiz de 0,5 mm y almacenados hasta su análisis. En las muestras provenientes de la parcela 0N, se determinó el rendimiento en grano expresado con el 14% de humedad (humedad de recibo) (RG_{0N}), la biomasa aérea total (BA_{0N}), el contenido de N total en planta (NTP_{0N}) y de fósforo total en planta (PTP_{0N}). En la parcela con fertilización nitrogenada, se determinó el rendimiento en grano para, finalmente, calcular la respuesta en rendimiento en grano a la fertilización nitrogenada (R_{TA}). Para comparar los valores promedio 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 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

El NAN_{2d} presentó valores de entre 39,2 y 83,0 mg kg⁻¹. Los valores mínimos y máximos de NAN_{7d} fueron similares a los de NAN_{2d}, y estuvieron entre 44,4 y 95,0 mg kg⁻¹. El valor promedio de NAN_{2d} fue de 59,1 mg kg⁻¹ y no difirió significativamente del de NAN_{7d} (61,5 mg kg⁻¹). Se esperaba que, al determinar NAN_{2d}, se obtuvieran menores concentraciones de N en forma de amonio debido al menor plazo en que las fracciones de N orgánico están sujetas al proceso de mineralización. No obstante, la similitud en los valores mínimos, máximos y promedio de NAN_{2d} y NAN_{7d} sugiere que 2 días de incubación podrían ser suficientes para mineralizar la misma cantidad de N orgánico que la mineralizada en 7 días. En relación con esto, NAN_{2d} se correlacionó positivamente con NAN_{7d} con un r=0,81. La Figura 1 muestra la relación de NAN_{7d} en función de NAN_{2d}, en la que se observa que dichas variables se relacionaron positiva y significativamente con un R² aceptable y una pendiente y una ordenada al origen que de forma simultánea no difirieron significativamente de uno y cero,



respectivamente. Otros autores (Cantero *et al.*, 2022; García *et al.*, 2022) reportaron una relación más estrecha entre dichas variables ($R^2=0,92$ y $0,87$, respectivamente). La disparidad de los resultados puede deberse al rango de condiciones edafoclimáticas y de manejo más estrecho involucrado en este trabajo en relación con el informado por aquellos autores. En este sentido, los ocho sitios correspondieron a lotes con una larga historia de producción agrícola (en general, entre 20 y 30 años) con secuencias de cultivo y sistemas de labranza similares que limitan la variabilidad en los niveles de propiedades edáficas asociadas a la fracción orgánicas como el NAN_{7d} y el NAN_{2d} .

La disponibilidad de agua durante el ciclo de crecimiento de trigo superó su demanda hídrica en los ocho ensayos, pudiendo ser considerado sin limitantes hídricas. El NAN_{2d} se correlacionó positivamente con RG_{0N} con un $r=0,60$, algo menor que el que presentó NAN_{7d} con RG_{0N} ($r=0,65$). Modelos de regresión lineal indicaron que NAN_{2d} permitió explicar una menor proporción del RG_{0N} que NAN_{7d} (36% y 42%, respectivamente, Figura 2a y e). En coincidencia con estos resultados, otros autores reportaron, para el sudeste bonaerense, relaciones lineales positivas entre el NAN_{7d} y el RG_{0N} de cebada (Queirolo, 2018) y trigo (Reussi Calvo *et al.*, 2013) en las que NAN_{7d} explicó el 45% y el 41% del RG_{0N} , respectivamente. Por otro lado, contrariamente a lo reportado por Reussi Calvo *et al.* (2013), la inclusión de $N-NO_3^-$ a los modelos que ya contenían a NAN_{2d} o NAN_{7d} como variable explicativa, no contribuyó a explicar la variabilidad del RG_{0N} . Si bien el rango de N disponible fue amplio (entre 33,1 y 174,20 kg ha⁻¹)

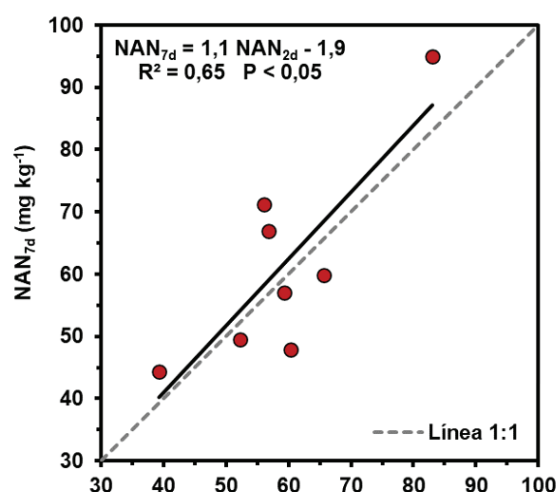


Figura 1. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN) con 7 días de incubación (NAN_{7d}) en función de NAN con 2 días de incubación (NAN_{2d}). $n=8$.

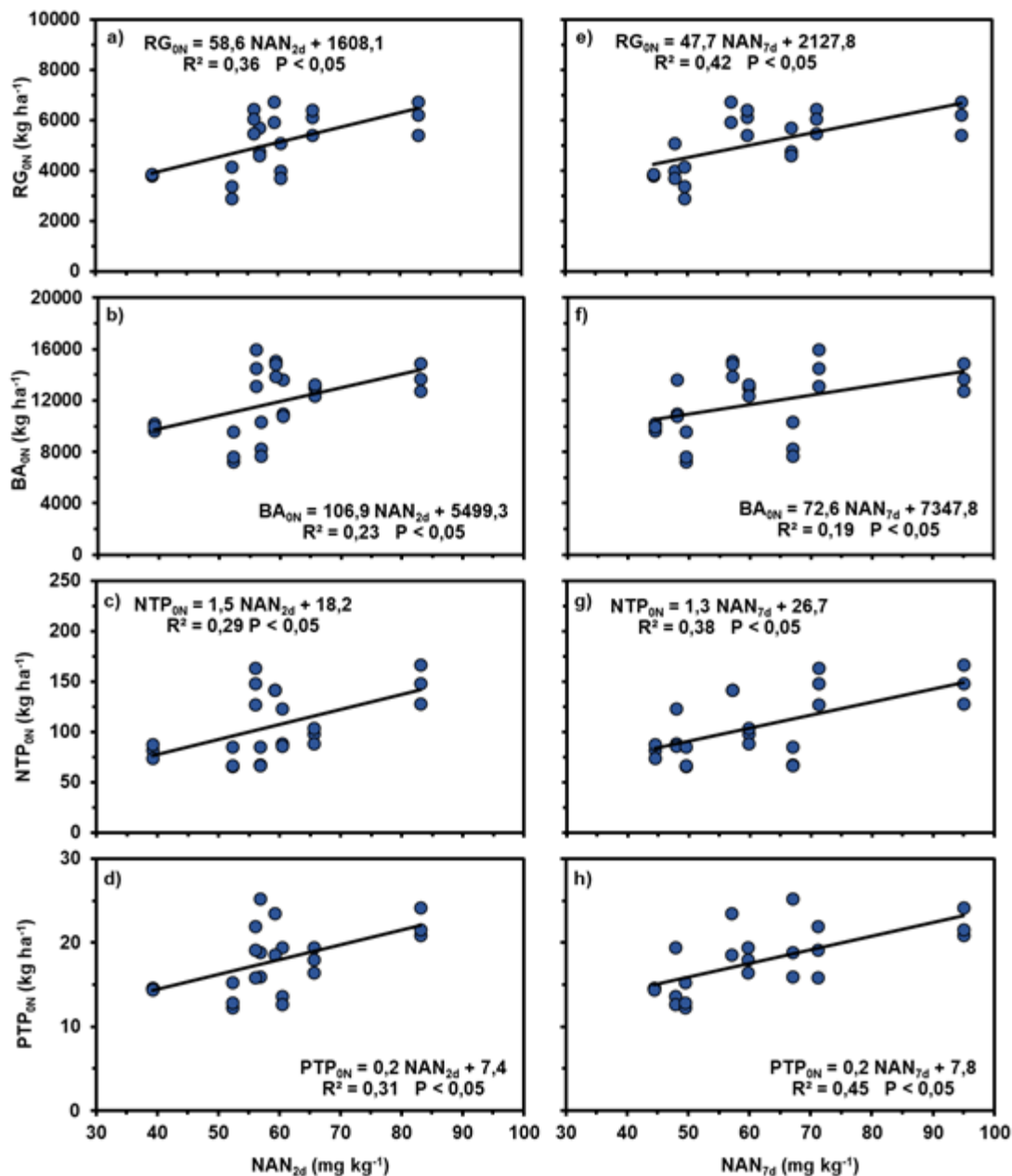


Figura 2. Relaciones de nitrógeno (N) mineralizado en anaerobiosis con 2 (NAN_{2d}) (a, b, c, d) y 7 (NAN_{7d}) (e, f, g, h) días con rendimiento en grano sin agregado de N (ON) (RG_{ON}) (a, e), biomasa aérea total ON (BA_{ON}) (b, f), contenido de N (NTP_{ON}) (c, g) y fósforo (PTP_{ON}) total en planta entera ON. n=24.

Tanto NAN_{2d} como NAN_{7d} se correlacionaron positivamente con BA_{ON}, con coeficientes de correlación de Pearson similares, aunque bajos (0,48 y 0,43, respectivamente). De esta manera, NAN_{2d}, al igual que NAN_{7d}, no resultaron ser buenos predictores de la BA_{ON}, ya que sólo explicaron el 23% y el 19% de su variabilidad (Figura 2b y f, respectivamente). El NAN_{2d} se asoció linealmente con NTP_{ON} y PTP_{ON} con coeficientes de correlación de Pearson menores (0,54 y 0,56, respectivamente) que los de las asociaciones entre NAN_{7d} y las mencionadas variables (0,62 y 0,67, respectivamente). Las Figuras 2g y h muestran que NAN_{7d} explicó el 38% y el 45% de la variabilidad de NTP_{ON} y PTP_{ON}, respectivamente, mientras que NAN_{2d} explicó sólo el 29% y el 31%, respectivamente. La relación entre NAN_{7d} y, en menor medida, NAN_{2d} y PTP_{ON}, sugieren que un aumento de NAN estaría asociado con una mayor disponibilidad de fósforo para los cultivos a través de la mineralización de fósforo orgánico. Dicha asociación es indirecta y surge a partir de la estrecha relación informada entre NAN_{7d} y NAN_{2d} con el carbono orgánico particulado (García *et al.*, 2020, 2022) y, a su vez, de este último con la mineralización de fósforo orgánico (Wyngaard *et al.*, 2013, 2016).

Contrariamente a lo esperado, $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$ no estuvieron relacionados con R_{TA} . Dado que $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$ de manera similar, explicaron parte de la variabilidad del RG_{ON} mediante los modelos considerados en las Figuras 2a y e, se esperaba algún tipo de relación negativa entre R_{TA} y NAN bajo los dos tiempos de incubación. Si bien la dosis de fertilizante nitrogenado aplicado en cada ensayo fue la elegida por cada productor, los tratamientos fertilizados promediaron rendimientos en grano de 6738 kg ha^{-1} (4524 a 10634 kg ha^{-1}) con un contenido promedio general de 11,6% de proteína. Considerando que el contenido de proteína en grano fue superior a 9,5%, es posible asumir que la dosis de fertilizante nitrogenado empleada por los productores fue de suficiencia para los cultivos (Barbieri *et al.*, 2012). Por lo tanto, la ausencia de relación entre $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$ con R_{TA} no podría atribuirse a que la fertilización realizada haya sido insuficiente. No obstante, otros factores como el potencial del ambiente (Bell *et al.*, 2013), el tipo de suelo y la temperatura media durante el ciclo del cultivo (Prystupa *et al.*, 2018) pueden haber afectado la R_{TA} y, por lo tanto, su relación con el NAN bajo los dos tiempos de incubación.

Si bien sería deseable que los modelos de predicción que contenían a $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$ como variables explicativas tuvieran un mejor ajuste, es válido mencionar que los aspectos productivos de los cultivos que se pretendían predecir dependen de numerosos factores bióticos, edáficos y/o meteorológicos que podrían haber sido limitantes (diferentes a la disponibilidad de agua). Dichos factores no fueron controlados en este trabajo, y podrían haber enmascarado el efecto de la mineralización de N durante el ciclo del cultivo (indicado por el $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$). Por otro lado, en general, si bien $\text{NAN}_{2\text{d}}$ se relacionó significativamente con la mayoría de los aspectos productivos medidos en el cultivo, presentó una menor capacidad de predicción que la de $\text{NAN}_{7\text{d}}$ para RG_{ON} , NTP_{ON} y PTP_{ON} , y levemente mayor para BA_{ON} . El reducido número de ensayos realizados en un rango estrecho de condiciones edafoclimáticas y en un único año, posiblemente haya limitado los resultados del presente trabajo. No obstante, la estrecha relación entre $\text{NAN}_{2\text{d}}$ y $\text{NAN}_{7\text{d}}$ reportada por otros autores (Cantero *et al.*, 2022; García *et al.*, 2022) alientan el desarrollo de futuras investigaciones que evalúen la posibilidad de reducir el tiempo de incubación en un mayor número de situaciones contrastantes.

CONCLUSIONES

Para las condiciones en las que se desarrolló este trabajo, el $\text{NAN}_{2\text{d}}$ presentó un menor desempeño al de $\text{NAN}_{7\text{d}}$ para predecir aspectos productivos del cultivo que son de interés agronómico. No obstante, el acotado rango de condiciones exploradas pone de manifiesto la necesidad de seguir investigando la posibilidad de reducir el tiempo de incubación de 7 a 2 días para determinar NAN y su utilidad con fines de diagnóstico de fertilidad nitrogenada.

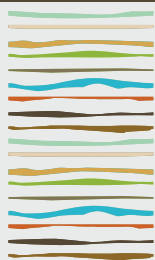
BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2012. Alternatives for nitrogen diagnosis for wheat with different yield potentials in the humid pampas of Argentina. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 43:1512-1522. DOI: 10.1080/00103624.2012.675388.
- Bell, MJ; W Strong; D Elliott & C Walker. 2013. Soil nitrogen-crop response calibration relationships and criteria for winter cereal crops grown in Australia. *Crop Pasture Sci.* 64:442-460. DOI: 10.1071/CP12431.
- Cantero, CC; GV García; S Rodriguez; 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.
- Echeverría, HE & HR Sainz Rozas. 2014. Nitrógeno. En: HE Echeverría & FO García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. (2a ed.). Pp. 189-228. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- García, FO & NI Reussi Calvo. 2014. Trigo. En: HE Echeverría & FO García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. (2a ed.). Pp. 401-434. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- García, GV; N Wyngaard; NI Reussi Calvo & GA Studdert. 2022. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (NAN): ¿es posible reducir el tiempo de incubación a sólo dos días? *Actas XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, noviembre de 2021.
- Keeney, DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. In: AL Page (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological proper-*



- ties - Agronomy Monograph 9 (2nd ed.). Pp. 643-698. ASA.SSSA. Madison, WI.
- 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 (2nd ed.). Pp. 643-698. ASA, SSSA. Madison, WI.
- 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. DOI: 10.2134/agronj2016.02.0115.
- Prystupa, P; G Ferraris; L Ventimiglia; T Loewy; L Couretot; R Bergh; F Gomez & FH Gutiérrez Boem. 2018. Environmental control of malting barley response to nitrogen in the Pampas, Argentina. *Int. J. Plant Prod.* 12:127-137. DOI: 10.1007/s42106-018-0013-3.
- Queirolo, I. 2018. Manejo del nitrógeno para incrementar la eficiencia de uso y la calidad en cebada cervecera. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Mar del Plata Facultad de Ciencias Agrarias: Balcarce, Buenos Aires. 62 p.
- 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/>.
- 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.
- Wyngaard, N; A Vidaurreta; HE Echeverría & LI Picone. 2013. dynamics of phosphorus and carbon in the soil particulate fraction under different management practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:1584-1590. DOI:10.2136/sssaj2013.04.0137.
- Wyngaard, N; ML Cabrera; KA Jarosch & EK Bünemann. 2016. Phosphorus in the coarse soil fraction is related to soil organic phosphorus mineralization measured by isotopic dilution. *Soil Biol. Biochem.* 96:107e118. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.01.022.





EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON POTASIO EN EL CULTIVO DE PAPA

Giletto, C.M.^{1*}, L. Esperón¹, P. Ceroli^{1,2}, C. Gugliotta¹, G. Lagos², M.N. Cassino¹, S. Rodriguez¹, S.E. Silva¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias-UNMDP;

²INTA-Balcarce;

*Ruta Nacional 226, km 73,5 (7620), Balcarce, Prov. de Buenos Aires, cgiletto@mdp.edu.ar

RESUMEN

La papa tiene elevado requerimiento de potasio (K) y la fertilización con este nutriente mejora la calidad de los tubérculos, al aumentar la concentración de materia seca y almidón, y al disminuir el oscurecimiento de las papas crudas. La disminución del K intercambiable en los suelos en los últimos años y la falta de reposición del nutriente por fertilización son indicadores de que este podría ser limitante para el cultivo en el mediano plazo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con K sobre el rendimiento y la calidad de tubérculos. Se efectuaron 4 ensayos en lotes de producción con dosis variable de K (0, 75 y 150 kg ha⁻¹). Se realizaron muestreos de suelo en presiembra. A la cosecha, se determinó la producción de biomasa, rendimiento, materia seca, almidón y el oscurecimiento de las papas crudas mediante el índice de pardeamiento enzimático (IPE). El rango de K intercambiable en el suelo fue 672,5-795,8 mg kg⁻¹. El rendimiento promedio varió de 23,3 a 67,0 Mg ha⁻¹ en función de las condiciones de crecimiento de cada sitio y manejo del cultivo. La concentración de materia seca y de K variaron de 14,4 a 20,7 g 100 g⁻¹ y de 1,4 a 2,5 g 100 g⁻¹, respectivamente. El IPE varió de 47,6 a 95,0 y disminuyó con la dosis de K en Spunta (p<0,05) y en Innovator (p<0,1). Los resultados permitieron concluir que la producción de biomasa, el rendimiento de tubérculos y los parámetros de calidad evaluados variaron con la variedad y el manejo del cultivo en cada sitio. Por lo tanto, es necesario seguir investigando la respuesta del cultivo a la fertilización con K en suelos con bajos niveles de K intercambiable.

Palabras clave: biomasa, rendimiento, calidad.

INTRODUCCIÓN

El manejo de la fertilización es un aspecto clave para reducir la brecha de rendimiento (diferencia entre el rendimiento potencial y real) en papa (*Solanum tuberosum* L.). En condiciones no limitantes de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), los mayores efectos sobre el rendimiento se producen por las variaciones de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiable (Echeverría & Giletto, 2015). El uso del suelo puede incrementar la variabilidad en el contenido de bases por diferencias en la exportación de nutrientes por los cultivos y en la reposición (Vázquez & Pagani, 2015). La baja reposición de las bases podría generar, en el mediano plazo, alguna limitante para la producción de los cultivos (Sainz Rozas et al., 2019). Por lo tanto, la menor capacidad del suelo de suministrar nutrientes lleva a la necesidad de emplear mayores dosis de fertilizantes a fin de mantener o incrementar el rendimiento. Los antecedentes han demostrado que la papa responde al agregado de N y P; mientras que, bajo las condiciones de crecimiento del sudeste bonaerense, no responde a la fertilización con S (Giletto et al., 2012). También, se determinó que la respuesta en rendimiento a la fertilización con Ca disminuyó con el incremento en el Ca intercambiable en el suelo (Giletto et al., 2020a). En cambio, para K no se dispone de información actualizada sobre umbrales de suficiencia en análisis de suelo. La papa tiene un elevado requerimiento de K (4,4-5,2 kg Mg⁻¹ de tubérculo fresco) (Ech-

everría & Giletto, 2015; Koch et al., 2019). La fertilización con K aumentó el contenido de materia seca y almidón (Wang-Pruski & Nowak, 2004; Hamouz et al., 2009) y disminuyó el oscurecimiento de las papas crudas (Wang-Pruski & Nowak, 2004). En los suelos agrícolas de la Región Pampeana, el nivel de K intercambiable disminuyó del 12 al 30% (período 2011-2018), siendo el rango promedio de 285-682 mg kg⁻¹. Los elevados requerimientos de K de la papa, la disminución del K intercambiable en los suelos y la falta de reposición del nutriente por fertilización, son indicadores de que el K podría ser limitante en el mediano plazo. Por lo expuesto, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con K sobre la producción de biomasa, el rendimiento y la calidad de los tubérculos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro ensayos de fertilización con K en lotes de producción de papa para industria (Daisy, Innovator y Sagitta) y consumo fresco (Spunta) en el SEB durante la campaña 2021-22. Se evaluaron dos dosis de K (75 y 150 kg ha⁻¹) aplicadas como cloruro de potasio a la plantación y un testigo sin fertilizar con K. En cada ensayo se utilizó un diseño en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones y cada unidad experimental fue de 34 m². En todos los ensayos, se recurrió a la fertilización con macro y micronutrientes para asegurar que no limitaran el crecimiento del cultivo, excepto el nutriente a investigar. La plantación se realizó con una sembradora de dos filas con una densidad promedio de 5 cortes por metro. Antes del cierre del surco, se realizó el aporque. El control de enfermedades e insectos se llevó a cabo mediante la aplicación de productos específicos y el control de malezas por métodos químicos y mecánicos. El riego se aplicó desde los 50 días desde la plantación (ddp) hasta la madurez del cultivo. Previo a la plantación se recolectaron muestras de suelo (compuestas por 20 submuestras) de 0-20 y 20-40 cm de profundidad con un muestreador tubular. Las muestras se secaron en horno a 30 °C, se molieron para pasar un tamiz de 2 mm y se eliminaron todos los residuos vegetales reconocibles. En las muestras de suelo recolectadas de 0 a 20 cm de profundidad se determinó la materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), el P extractable (Bray & Kurtz, 1945) y el pH (relación suelo/agua 1:2,5) y la concentración de Ca, Mg y K intercambiable (Ca_i, Mg_i y K_i) se determinó con una solución extractante de acetato de amonio (1 N) a pH = 7 y su concentración se cuantificó mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA 5200, Shimadzu). La concentración de N-nitrato (N-NO₃⁻) (g kg⁻¹) se determinó en las muestras de 0-20 y 20-40 cm de profundidad (Bremner & Keeney, 1965; Keeney, 1982). A la madurez del cultivo (≈ 120 ddp) se cosecharon en forma manual 2 m de los dos surcos centrales de cada unidad experimental; se determinó la producción de biomasa aérea (BA), tubérculos (Btub) y total (BT) en peso seco y se realizaron estimaciones de rendimiento en peso fresco. Se calculó el índice de cosecha (IC) como la relación entre la Btub y la BT. Una submuestra de tubérculos se pesó en fresco (≈ 200 g), se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante y se volvió a pesar para obtener el peso seco y determinar la concentración de materia seca. El pardeamiento enzimático se midió mediante el color con un Colorímetro MINOLTA (Chromameter CR300) y se calculó el índice de pardeamiento (IPE) a los 120 minutos de exponer los tubérculos frescos al aire. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables medidas se realizó un análisis de varianza utilizando el programa R (R Core Team, 2020). El análisis de varianza para evaluar el efecto de las dosis de K sobre las variables se realizó para cada sitio. Las medias de tratamientos fueron comparadas mediante el test de diferencia mínima significativa (DMS) utilizando un nivel de significancia de α=0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo

El P-Bray1 varió de 14,5 a 26,3 mg kg⁻¹, el contenido de MO del suelo varió entre 57 y 64 g kg⁻¹, mientras que el contenido de N-NO₃⁻ fluctuó entre 3,2 y 70,8 mg kg⁻¹ (Tabla 1). La concentración de MO del suelo estuvo dentro de los valores reportados por otros investigadores en la región (Sainz Rozas et al., 2019). El pH de los cuatro sitios estudiados fue óptimo para el crecimiento de los cultivos y no limitante para la disponibilidad de nutrientes (5,3 a 6,7) (Sainz Rozas et al., 2011; Barbieri et al., 2015). La concentración de Ca_i varió de 2098 a 2512 mg kg⁻¹; de Mg_i varió de 282 a 347 mg kg⁻¹ y de K_i varió de 672 a 796 mg kg⁻¹ (Tabla 1) y se ubicaron dentro de los rangos establecidos para la Región Pampeana (Sainz Rozas et al., 2019).



Tabla 1: Características del suelo a la plantación y manejo de cada sitio experimental. MO: materia orgánica, Ca_i: calcio intercambiable; Mg_i: magnesio intercambiable; K_i: potasio intercambiable.

Si- tio	Variedad	P-Bray1 (mg kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	Ca _i(mg kg ⁻¹).....	Mg _i(mg kg ⁻¹).....	K _i	Fecha Planta- ción	Fecha Cosecha
		(0-20 cm)	(0-20 cm)	(0-40 cm)(0-20 cm).....(0-20 cm).....			
1	Spunta	14,5	60	3,2	2500	326	722	27/10/21	25/02/22
2	Daisy	20,0	57	12,6	2247	282	796	15/11/21	15/03/22
3	Innova- tor	24,7	64	70,8	2512	347	672	25/11/21	04/04/22
4	Sagitta	26,3	59	57,5	2098	328	746	25/11/21	04/04/22

Producción de biomasa, rendimiento y calidad de tubérculos

La producción de BA varió de 0,33 a 3,50 Mg ha⁻¹, la Btub varió de 3,37 a 11,94 Mg ha⁻¹ y la BT de 3,70 a 14,14 Mg ha⁻¹, en las cuatro variedades. La BT fue afectada significativamente por la fertilización con K en Daisy (p<0,1) e Innovator (p<0,05), logrando la mayor producción en los tratamientos fertilizados, asociado principalmente al incremento en la producción de Btub (Tabla 2). El IC varió de 0,74-0,91 y no varió con la dosis de K, para ninguna de las variedades. El 82% de la biomasa total fue representada por la biomasa de los tubérculos (Figura 1a). El rango de producción de biomasa fue similar a lo determinado en el SEB (Zamuner et al. 2016; Giletto et al. 2020b). El rendimiento promedio entre sitios varió de 23,3 a 67,0 Mg ha⁻¹ y se determinó efecto significativo (p<0,05) por dosis de K, en el sitio para Innovator (Tabla 2). El rendimiento varió con las condiciones de crecimiento de cada sitio y manejo del cultivo. La concentración de K en los tubérculos varió de 1,4 a 2,5 g 100 g⁻¹ en peso seco de los tubérculos (Tabla 2) y el K acumulado en los tubérculos varió de 78,4 a 215,9 kg ha⁻¹ (datos no mostrados). Coincidiendo con estos resultados, Schilling et al. (2016) determinaron que en papa la concentración de K es en promedio 1,7 g 100 g⁻¹. Al relacionar el K acumulado en los tubérculos con el rendimiento en peso fresco, se determinó que los tubérculos extrajeron aproximadamente 3,2 kg K Mg⁻¹ (Figura 1b), valor inferior a lo indicado por otros autores, 4,4 kg K Mg⁻¹ (Echeverría & Giletto, 2015) y 5,2 kg K Mg⁻¹ (Koch et al., 2019). A pesar del alto requerimiento de K por parte del cultivo, existen antecedentes de la falta de respuesta a la fertilización con K (Kang et al., 2014; Koch et al., 2019), debido a que los niveles de K intercambiable en el suelo fueron suficientes para el cultivo. La concentración de materia seca de los tubérculos varió de 14,4 a 20,7 g 100 g⁻¹, determinándose los menores valores en la variedad para consumo fresco, Spunta; y las mayores en las variedades para industria, Daisy e Innovator (Tabla 2). La concentración de MS fue mayor (p<0,05) en los tratamientos fertilizados (19,5 g 100 g⁻¹) y menor en el testigo (18,5 g 100 g⁻¹) sólo en Daisy.

Tabla 2: Biomasa aérea (BA), biomasa en los tubérculos (Btub), biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento, concentración de materia seca (MS) en los tubérculos, índice de pardeamiento enzimático (IPE) y concentración de K en los tubérculos (K_{tub}).

	Dosis K (kg ha ⁻¹)	BA(Mg ha ⁻¹).....	Btub	BT	IC	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	MS (g 100 g ⁻¹)	IPE	K_{tub} (g 100 g ⁻¹)
Spunta	0	0,33	3,37	3,70	0,91	23,3	14,4	95,0	2,4
	75	0,81	4,26	5,07	0,84	29,4	14,6	88,3	2,5
	150	0,64	5,27	5,91	0,89	35,7	14,8	84,6	2,5
	Valor-p	0,4893	0,3948	0,3984	0,2043	0,4505	0,7173	0,0377	0,4347
Daisy	0	2,57	8,24	10,81	0,76	44,6	18,5	88,0	1,9
	75	3,10	9,81	12,91	0,76	49,6	19,8	84,2	2,0
	150	3,50	9,95	13,44	0,74	51,8	19,2	82,4	2,2
	Valor-p	0,1223	0,1357	0,0521	0,8785	0,2678	0,0470	0,4394	0,0144
Innovator	0	1,01	5,66	6,67	0,85	39,2	19,2	70,4	1,4
	75	2,12	9,89	12,01	0,82	50,2	19,7	66,8	1,5
	150	1,82	11,89	13,71	0,87	55,8	20,7	62,2	1,6
	Valor-p	0,1054	0,0005	0,0018	0,9624	0,0025	0,2016	0,0784	0,3377
Sagitta	0	1,93	9,58	11,51	0,83	56,6	16,9	49,3	1,6
	75	1,68	11,20	12,88	0,87	62,6	17,8	47,6	1,6
	150	2,20	11,94	14,14	0,84	67,0	17,9	49,3	1,6
	Valor-p	0,5330	0,5800	0,5970	0,2844	0,7192	0,1396	0,8820	0,9687

El IPE varió de 47,6 a 95,0 y disminuyó con la dosis de K en Spunta ($p < 0,05$) y en Innovator ($p < 0,1$) (Figura 2). Álvarez Torres & Parreño (2009) determinaron que el pardeamiento enzimático disminuyó cuando fue elevada la concentración de K en los tubérculos. El K tiene un impacto importante en la calidad de los tubérculos, incrementando la turgencia celular, el peso específico, el contenido de materia seca y almidón y disminuyendo el oscurecimiento (Wang-Pruski & Nowak, 2004; Hamouz et al. 2009). Los fenoles están asociados con el oscurecimiento de las papas crudas y productos procesados (pardeamiento enzimático), cuando se oxidan formando melanina. Por lo tanto, los resultados del presente estudio son prometedores respecto al efecto de la fertilización con K sobre el IPE.

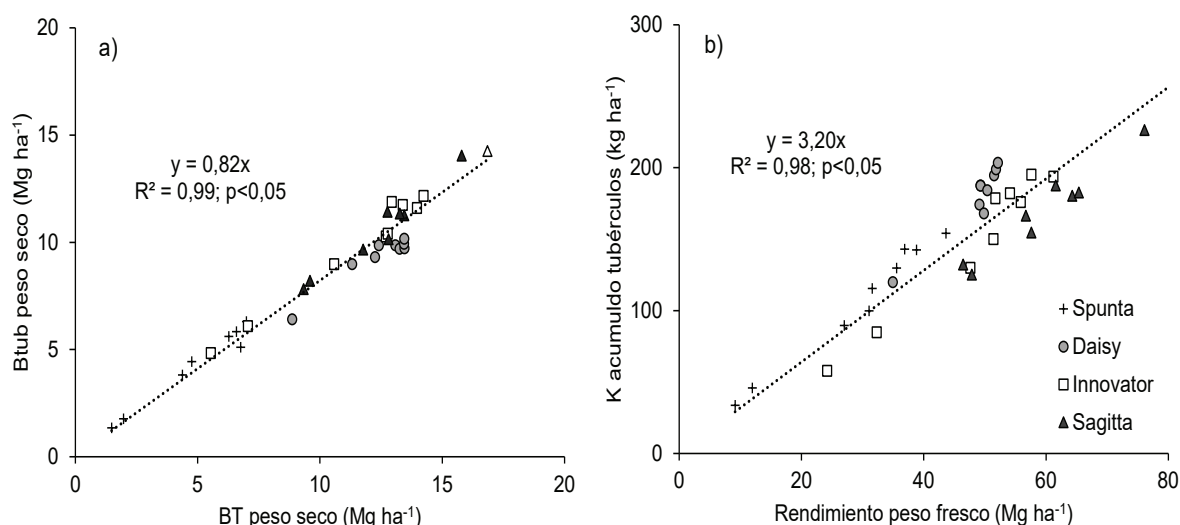


Figura 1: Biomasa de los tubérculos en función de la biomasa total (a) y potasio (K) acumulado en los tubérculos en función del rendimiento en peso fresco (b).

CONCLUSIONES

Los resultados permitieron concluir que la producción de biomasa y el rendimiento de tubérculos varió por la variedad y el manejo del cultivo en cada sitio y que en general no se determinó efecto al agregado de K. La concentración de materia seca y de K en los tubérculos y el IPE en papas crudas dependieron de la variedad, y en general, no fueron afectados por la fertilización con K. Por lo tanto, teniendo en cuenta los elevados requerimientos por parte del cultivo de este nutriente, es necesario seguir investigando la respuesta del cultivo de papa a la fertilización con K en suelos con menores niveles de K intercambiable.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos *¿La disponibilidad de bases y micronutrientes limitan el rendimiento y la calidad de los tubérculos de papa?* (15/A646; AGR642/21) y *Métodos de diagnóstico de cationes básicos y micronutrientes para el cultivo de papa* (Res. 03 2022. PICT.2020-SERIE A 01330, FONCyT).

BIBLIOGRAFÍA

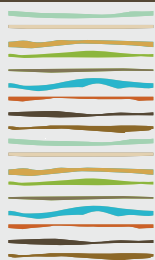
- Álvarez Torres, MD & WC Parreño. 2009. Thermal Processing and Quality Optimization. En: J Singh & L Kaur (eds). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier, USA. pp. 163-220.
- Barbieri PA, HE Echeverría, HR Sainz Rozas, & JP Martínez. 2015. Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. *Soil Tillage Res.* 152:29–38.
- Bray, RH & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. Volume 59 (1):39-46.
- Bremner, J & D Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta* 32:485–495.
- Echeverría, HE & CM Giletto. 2015. Papa. En: HE Echeverría & FO García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. EEA Balcarce, Buenos Aires. pp. 585-608.
- Giletto, CM, JM Magnoni, & HE Echeverría. 2012. Fertilización con azufre en el cultivo de papa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* Vol. 30 (1): 75-84.
- Giletto, CM, M Kloster Erreguerrena, P Ceroli, NI Reussi Calvo, SE Silva, MN Cassino & EC Zamuner. 2020 (a). ¿La fertilización con calcio mejora el rendimiento y la calidad de tubérculos de papa para industria? XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Giletto CM, NI Reussi Calvo, P Sandaña P, HE Echeverría & G Bélanger. 2020 (b). Shoot- and tuber-based critical nitrogen dilution curves for the prediction of the N status in potato. *Eur J Agron.* 119:126114.
- Hamouz, K., J Lachman, P Dvořák, M Orsák, K Hejtmánková & M Čížek. 2009. Effect of selected factors on the content of ascorbic acid in potatoes with different tuber flesh colour. *Plant Soil Environ.* 55:281-287.
- Kang, W, M Fan, Z Ma, X Shi, & H Zheng. 2014. Luxury absorption of potassium by potato plants. *American Journal of Potato Research*, 91(5):573-578.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen-availability indexes. In: Page, A.L. (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.
- Koch, M., M Naumann, E Pawelzik, A Gransee & H Thiel. 2019. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant nutrition and Yield. *Potato Research*.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sainz Rozas HR, HE Echeverría, & H Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29(1):29-33.
- Sainz Rozas, H, 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 del Simposio Fertilidad*. Rosario.



141-158.

- Schilling, G, H Eißner, L Schmidt, & E Peiter. 2016. Yield formation of five crop species under water shortage and differential potassium supply. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(2):234-243.
- Vázquez, MS. & A Pagani. 2015. Calcio y Magnesio. Manejo de Fertilización y Enmiendas. En: Echeverría, H.E. & García F.O. eds. *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp.317-350.
- Walkley, 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 Science*. 37:29-37.
- Wang-Pruski, G & J Nowak. 2004. Potato after-cooking darkening. *Am J Potato Res* 81:7–16.
- Zamuner, EC, J Lloveras, HE Echeverria. 2016. Comparison of Phosphorus Fertilization Diagnostic Methods of Potato in Mollisols. *Agronomy Journal*. 108(3):1237-1245.





¿CUÁLES SON LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FITOTOXICIDAD POR FERTILIZANTES EN SOJA Y MAÍZ?

Girón, P.^{1,*}, M. Barraco²

¹Bayer Crop Science

²EEA INTA General Villegas

*paula.giron@bayer.com

RESUMEN

La aplicación de fertilizante fosforado y/o azufrado en la línea de siembra mejora la eficiencia de aprovechamiento del nutriente, sin embargo, puede generar inconvenientes en la germinación y emergencia de los cultivos por efecto salino. Además de la posición del fertilizante, existen otros factores que inciden en la magnitud de la pérdida de plántulas como la fuente y dosis de fertilizante, la humedad de suelo, el distanciamiento entre hileras y el tipo de cultivo. El objetivo de estos ensayos fue evaluar el impacto en la emergencia de maíz y soja por efectos fitotóxicos de dos fuentes de fertilizantes según la dosis y el contenido hídrico del suelo. Para ello se llevaron a cabo dos experimentos en masetas (uno en soja y otro en maíz) simulando la aplicación de fertilizante en la línea de siembra, con los siguientes tratamientos: 2 fuentes de fertilizantes: Fosfato Monoamónico y Sulfato de Calcio, 6 dosis de cada fertilizante: 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg ha⁻¹ y 3 niveles hídricos de suelo: 12% (120 g agua kg suelo⁻¹), 22% (220 g agua kg suelo⁻¹, equivalente a capacidad de campo) y 32% de agua disponible (320 g agua kg suelo⁻¹). Se evaluaron recuentos de plántulas emergidas a partir de los 4 días post-siembra y cada dos días. Ambos cultivos se vieron afectados en el stand de plántulas por la dosis de fertilizante y por el contenido hídrico del suelo. En maíz dosis superiores a 120 kg ha⁻¹ de fertilizante y suelo con menor humedad afectaron significativamente la emergencia. El cultivo de soja fue más sensible que maíz a dosis crecientes de fertilizante hallándose problemas de emergencia incluso con la dosis de fertilizante más baja, y respecto a la humedad de suelo tanto la falta como el exceso hídrico condicionaron la emergencia.

Palabras clave: fuente, dosis, contenido hídrico.

INTRODUCCION

El fósforo (P) y el azufre (S) son elementos esenciales para las plantas. Un elemento es considerado esencial cuando cumple estas tres reglas: i) la deficiencia del elemento impide que la planta complete su ciclo vital, ii) no se puede reemplazar por otro elemento con propiedades similares y iii) debe participar directamente en el metabolismo de la planta (Arnon y Stout, 1939).

Si bien las principales deficiencias de nutrientes históricas en la Región Pampeana fueron (y son) de nitrógeno (N) y P, a mediados de la década del '90 comenzaron a aparecer los primeros indicios de respuestas a la fertilización azufrada (Rubio et al. 1996). Como consecuencia de la difusión de los casos de respuestas al agregado de S y el menor costo relativo de los fertilizantes azufrados en comparación con fuentes nitrogenadas y/o fosfatadas, la fertilización azufrada se convirtió en una práctica habitual dentro de los planteos de producción, aspecto que se evidencia en el incremento de la aplicación de S de los últimos años (Torres Duggan et al., 2010).



Las aplicaciones con fertilizantes fosforados y/o azufrados pueden realizarse al voleo o, lo que es más comúnmente en este tipo de nutrientes, es la aplicación en la línea de siembra. En general, la localización del fertilizante cercano a las semillas si bien mejora la eficiencia de aprovechamiento del nutriente puede generar inconvenientes en la germinación y emergencia de los cultivos por efecto salino de los fertilizantes, aumentando la presión osmótica del medio y dificultando la absorción de agua por la semilla. Sin embargo, además de la posición del fertilizante, existen otros factores que inciden en la magnitud de la pérdida de plantas como la fuente y dosis de fertilizante, la humedad de suelo, el distanciamiento entre hileras y el tipo de cultivo (Ciampitti et al., 2006).

El objetivo de estos ensayos fue evaluar el impacto en el stand de plantas de maíz y soja por efectos fitotóxicos de dos fuentes de fertilizantes según la dosis y el contenido hídrico del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en un invernáculo en la EEA INTA General Villegas en el año 2021. Se evaluaron dos fuentes de fertilizantes: Fosfato Monoamónico (MAP: 11-52-0) y Sulfato de Calcio (S: 18, Ca: 23), 6 dosis de cada fertilizante: 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg ha⁻¹. El cálculo para la dosis de fertilizante en la línea fue considerando un distanciamiento entre hileras de 0,35 m para soja y 0,52 m para maíz. Para cada fuente y dosis de fertilizante se evaluaron 3 niveles hídricos de suelo: 12% (120 g agua kg suelo⁻¹), 22% (220 g agua kg suelo⁻¹, equivalente a capacidad de campo) y 32% de agua disponible (320 g agua kg suelo⁻¹). Se realizaron dos repeticiones por tratamiento, es decir que cada ensayo contó con 72 unidades experimentales. El suelo utilizado en el ensayo fue extraído del estrato 0-20 cm de profundidad de un suelo hapludol típico ubicado en la EEA con las siguientes características: 220 g/kg MO (Walkey y Black), 6,1 pH y 12 mg/kg de P disponible (método Bray-Kurtz I) y 500 g kg⁻¹ de arena.

El suelo fue secado al aire libre y posteriormente tamizado por 4 mm. La unidad experimental fue una bandeja de (41 cm x 20 cm x 8 cm). Cada una fue pesada y luego se le agregó el suelo y se pesó bandeja + suelo seco, por último, a cada bandeja se le agregó el agua correspondiente con la finalidad de alcanzar los niveles de humedad correspondiente de cada tratamiento. En cada bandeja se abrieron dos surcos de 4 cm de profundidad, se aplicó el fertilizante correspondiente a cada tratamiento y se sembraron 5 semillas por surco (10 semillas por bandeja). Durante los experimentos las macetas fueron pesadas cada dos días y se le agregó el agua correspondiente para mantener el nivel de humedad del tratamiento.

Los recuentos comenzaron a realizarse 4 días posteriores a la siembra y cada dos días. Se ajustaron curvas sigmoideas de porcentaje de emergencia en función a los días de siembra para cada uno de los tratamientos. Los análisis se realizaron mediante ANOVA del final de plantas emergidas para cada tratamiento, con test de evaluación de media Tuckey ($\alpha=0,05$).



Figura 1: Bandejas de maíz (izquierda) y soja (derecha) con 12, 22 y 32% de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSION

El % de emergencia de maíz promedio de todos los tratamientos a los 14 días luego de la siembra (máxima emergencia) fue de 87% y varió desde el 52,5% al 100% según el tratamiento.

No se encontró interacción fuente*dosis*niveles hídricos ($p=0,24$) ni interacciones dobles fuente*dosis ($p=0,87$), fuente*niveles hídricos ($p=0,40$) y dosis *niveles hídricos ($p=0,15$). Se encontró efecto simple de dosis

($p < 0,01$) y de niveles hídrico del suelo ($p < 0,01$). Las fuentes de fertilizante tuvieron un efecto similar en la emergencia de la semilla de maíz ($p = 0,48$); con ambas a medida que se incrementó la dosis de fertilizante disminuyó la emergencia. La máxima emergencia se dio sin aplicación de fertilizantes, luego las dosis de 40, 80 y 120 kg ha^{-1} no tuvieron diferencias significativas en cuanto a % de emergencia, con dosis superiores la emergencia bajó en promedio a un 73% (Tabla 1, Figura 2). Por otro lado, el % de emergencia logrado dependió de la humedad el suelo, en suelos con escasa humedad la emergencia disminuyó un 25%, es decir que la emergencia máxima fue de 75%, diferenciándose significativamente de mayores humedades (22% y 32%) con un promedio de 93% de emergencia (Tabla 2, Figura 2).

A su vez, el tiempo de emergencia también varió entre los tratamientos, los tratamientos con dosis de fertilizante más bajas presentaron emergencias más rápidas comparado a las mayores dosis, lo mismo se observó con mayores contenidos hídricos en el suelo, a mayor humedad la emergencia fue más rápida.

Tabla 1: % de emergencia de maíz según la dosis de fertilizante (promedio de dos fuentes de fertilizante y 3 niveles hídricos del suelo).

Dosis fertilizante (kg ha^{-1})	% Emergencia
0	98 a
80	92 b
40	90 b
120	88 b
160	80 c
200	73 c

Tabla 2: Emergencia de maíz (%) según niveles hídrico del suelo (promedio de dos fuentes de fertilizante y 6 dosis de fertilización).

Agua ($\text{g agua kg suelo}^{-1}$)	% Emergencia
320	95 a
220	91 a
120	75 b

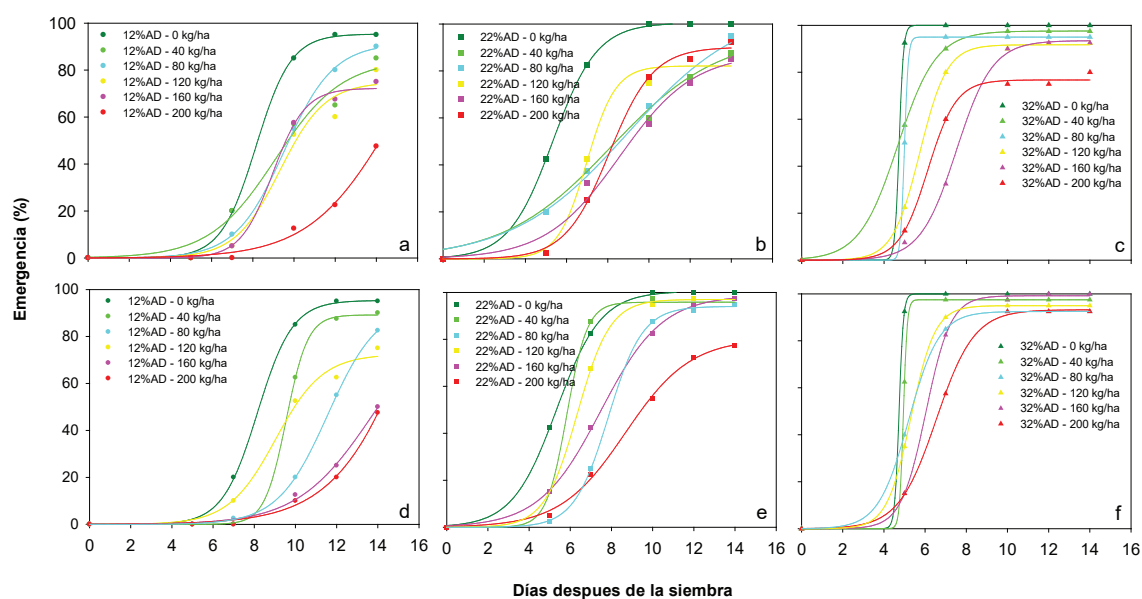


Figura 2: Emergencia de plántulas de maíz. a, b, y c: Fósforo monoamónico. d, e f: Sulfato de calcio a y b: 120 g kg^{-1} , b y e: 220 g kg^{-1} y c y f: 320 g kg^{-1} . Símbolos y líneas de colores indican dosis de fertilizante (verde: 0 kg ha^{-1} , verde claro: 40 kg ha^{-1} , celeste 80 kg ha^{-1} , amarillo 120 kg ha^{-1} , rosa: 160 kg ha^{-1} y rojo 200 kg ha^{-1}).

El % de emergencia de soja promedio de todos los tratamientos a los 14 días luego de la siembra fue de 42% y varió desde el 1% al 96% según el tratamiento, es decir que en este cultivo comparado al maíz la fuente, dosis y/o humedad afectaron en mayor medida la emergencia, lo cual sugiere ajustar mejor estas variables al momento de la siembra del cultivo.

No se encontró interacción fuente*dosis*niveles hídricos ($p=0,18$). No hubo interacción doble fuente*dosis ($p=0,36$) y fuente*niveles hídricos ($p=0,23$), pero sí y entre dosis*niveles hídricos ($p<0,01$). A diferencia de Vivas y Seffino (1997) quienes reportaron pérdidas significativas en el stand de plantas con distintas fuentes de fertilizantes en este trabajo no se encontró efecto de la fuente ($p=0,17$). En general se observó que la máxima emergencia se dio en humedad a capacidad de campo, es decir que la emergencia de soja se vio afectada en suelos muy secos o con exceso hídrico. Por otro lado, a medida que la dosis de fertilizante, independientemente de la fuente aumentó, la emergencia se vio afectada, habiendo una gran pérdida de plántulas en dosis por encima de 80 kg ha^{-1} de fertilizante (Tabla 3, Figura 3).

De acuerdo con Barraco y Diaz-Zorita (2002) quienes estudiaron emergencia en maíz y soja con suelo a capacidad de campo, encontraron que la soja fue el cultivo más sensible al fertilizante cuando este fue colocado en contacto con la semilla ya que encontraron mayor pérdida de plántulas por efectos salinos y/o fitotóxicos comparados a maíz. Sin embargo, a diferencia de este trabajo no encontraron efectos negativos en la fertilización localizada en la línea de siembra sobre la implantación de maíz.

Cabe destacar que en estos ensayos de soja y maíz solo se evaluó el % de emergencia, sin embargo, no necesariamente la disminución en el número de plantas genera una disminución en el rendimiento. En soja, Ferraris et al. (2001) determinaron que el cultivo logró compensar la reducción en la densidad de plantas sin perder rendimiento bajo un clima favorable, pero no sucedió lo mismo cuando el crecimiento vegetativo ocurrió bajo un fuerte estrés hídrico, durante los meses de diciembre y enero (Ferraris et al., 2012).

Tabla 3: Emergencia de soja (%) según niveles hídricos del suelo y dosis de fertilizante (promedio de dos fuentes de fertilizante).

Dosis (kg ha^{-1})	Humedad (mg agua kg^{-1} suelo)		
	120	220	320
0	66 c	96 a	63 d
40	73 b	73 b	39 e
80	41 e	66 c	36 f
120	39 e	36 f	19 h
160	21 h	29 g	11 i
200	21 h	27 g	8 j

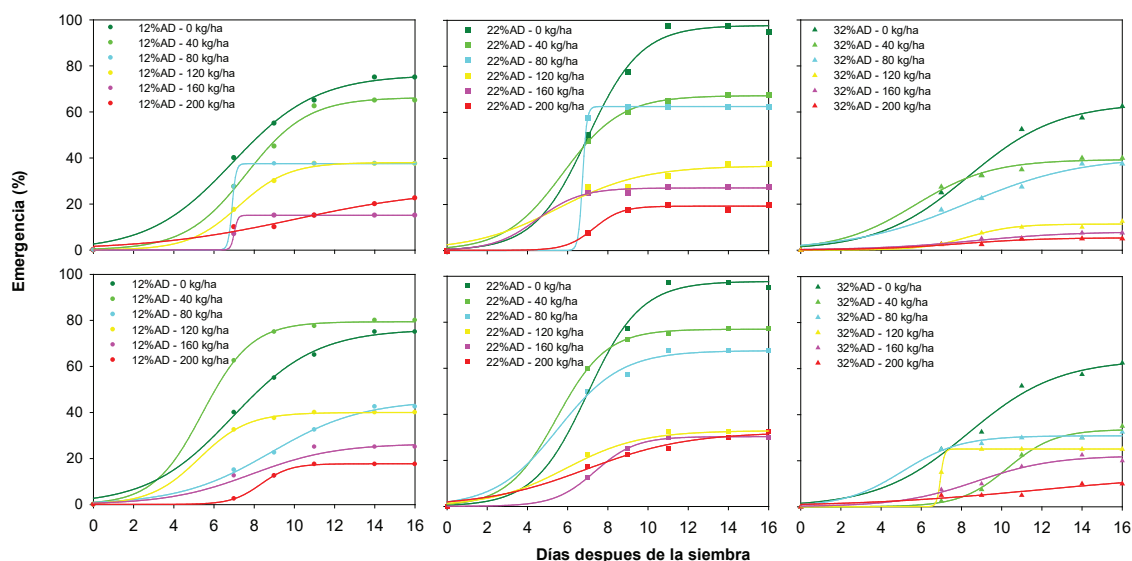


Figura 3: Emergencia de plántulas de soja. a, b, y c: Fosfato monoamónico. d, e f: Sulfato de calcio a y b: 120 g kg⁻¹, b y e: 220 g kg⁻¹ y c y f: 320 g kg⁻¹. Símbolos y líneas de colores indican dosis de fertilizante (verde: 0 kg ha⁻¹, verde claro: 40 kg ha⁻¹, celeste 80 kg ha⁻¹, amarillo 120 kg ha⁻¹, rosa: 160 kg ha⁻¹ y rojo 200 kg ha⁻¹).

CONCLUSIONES

Estos resultados evidencian que la emergencia del maíz y soja estuvo influenciada por la dosis de fertilizante y por el contenido de humedad de los suelos.

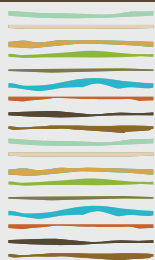
En maíz, a mayor humedad en el suelo la tolerancia de la semilla ante el efecto salino causado por el fertilizante fue mayor, por lo cual la emergencia del cultivo resultó menos afectada.

En soja, al igual que en maíz a mayores dosis de fertilizante la emergencia se vió afectada, pero respecto a la humedad de suelo se observó que es un cultivo más sensible tanto a la falta de humedad como a las condiciones de bajo oxígeno (alta humedad suelo).

BIBLIOGRAFIA

- Arnon, D.I. P.R. Stout. 1939. The Essentiality of Certain Elements in Minute Quantity for Plants with Special Reference to Copper. *Plant Physiology*, 14, 371-375. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.14.2.371>
- Barraco, M., y M. Díaz-Zorita. 2002. Efecto de la localización de fertilizantes fosfatados sobre la emergencia de cultivos de verano. XVIII Cong. Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut, Argentina). En CD.
- Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F. Micucci, y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos fitotóxicos. *Informaciones Agronómicas* N° 31, *Archivo Agronómico* N° 10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Ferraris, G., M. Ferrari y J. Ostojic. 2001. Fertilización fosforada en soja: fitotoxicidad en aplicaciones localizadas a la siembra y efectos sobre el rendimiento. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, EEA INTA Pergamino, VI(18):20-23.
- Ferraris, G.N., y L.A. Couretot. 2012. Fitotoxicidad y eficiencia de fertilizantes fosforados aplicados en línea de siembra de soja. *Revista Técnica en SD. Soja*. Sep. 2012: ISSN 1850-0633. AAPRESID.
- Rubio G., R.S. Lavado, M.A. Taboada, J.D. Scheiner, M.M. Zubillaga y G. Vrdoljak. 1996. Ventajas de la fertilización combinada en colza-canola. *Oleaginosos*. 14: 16-19.
- Torres Duggan M; M Rodriguez; R Lavado; R Melgar. 2010. Tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana estado actual y tendencias. *Información Agronómica* 48: 19-26.
- Vivas, H.S. y F. Seffino. 1999. Toxicidad del Superfosfato Triple y del Fosfato Diamónico sobre la emergencia de plantas de Soja. Campaña 1996/97. En: *Información técnica para productores 1997-98*, pp. 182-184. Publicación miscelánea N° 89. EEA Rafaela, INTA.





AUMENTOS DE RENDIMIENTO EN SOJA ¿FERTILIZAMOS?

Girón, P.¹*, M. Barraco²

¹Bayer Crop Science.

²EEA INTA General Villegas.

*paula.giron@bayer.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la contribución al rendimiento de soja debido a la fertilización balanceada. El ensayo se llevó a cabo en General Villegas en un suelo Hapludol Típico. Se realizaron cuatro tratamientos: T1: Testigo: Sin fertilizante; T2: P+Ca: Fertilización con fósforo (200 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio (0-46-0, Ca:14)); T3: P+Ca+S: T2 + Fertilización con azufre (100 kg ha⁻¹ de sulfato de calcio (S:18, Ca:24)); T4: P+Ca+S+Ca+B: T3 + Aplicación de Ca+B foliar. En R5 se midió el índice de verdor y biomasa, y luego rendimiento y nutrientes en grano. Los resultados mostraron que el índice de verdor y la biomasa acumulada a R5 fue mayor en los tratamientos T3 y T4. En cuanto a rendimiento se observó un incremento desde T1<T2<T3<T4 (+3,8%, +8,4% y +3,7% fue la contribución de rendimiento relativa al tratamiento anterior). La concentración de S en la napa era de 10,9 mg l⁻¹, valor en el cual no se presentaría respuesta a la fertilización con este nutriente, sin embargo, en un muestreo en R5 se encontró que las raíces del cultivo no alcanzaron dicha napa (2,36 m) por lo cual la soja no pudo absorber el nutriente y por ende mostró respuesta a la adición de S. En calidad de grano sólo se encontró diferencia en el contenido de P, donde los tratamientos T2, T3 y T4 mostraron en promedio +20% de concentración de este nutriente comparado el tratamiento testigo. Estos estudios son preliminares y para una región puntual por lo que, para estudiar el incremento de rendimiento en soja por adición de macro y micronutrientes, se requiere más ensayos que abarquen condiciones contrastantes de fertilidad de suelos y campañas con distintas condiciones hídricas.

Palabras clave: fósforo, azufre, boro.

INTRODUCCIÓN

En el caso de la soja, los rendimientos potenciales para las distintas zonas de producción y, por ende, a nivel país aún no han sido alcanzados. Si bien las técnicas de manejo han mejorado en los últimos años (variedades, fechas de siembra, control de malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en este cultivo ha sido muy escaso, limitándose mayormente a aplicaciones de fertilizantes de arranque.

Por un lado, la expansión de este cultivo con bajo aporte de residuos a los suelos ha generado pérdida en los niveles de carbono (C) (Novelli et al., 2011; Sainz Rosas et al., 2011), lo cual puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes como azufre (S) y Boro (B) (Galantini y Suñer, 2008). Además, relevamientos realizados recientemente muestran una pérdida de otros elementos como fósforo (P) y/o Calcio (Ca) (Sainz Rosas et al., 2012, 2013 y 2019) producto de la baja utilización de fertilizantes con el consecuente balance negativo en los suelos.

En síntesis, la fertilización en soja se plantea a partir de la necesidad de mejorar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo, y los balances de nutrientes en los suelos para mantener y/o mejorar su capacidad de producción.



El objetivo de este trabajo fue evaluar la contribución al rendimiento de soja debido a la fertilización balanceada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la campaña 2020-2021 sobre un lote de producción de la EEA INTA General Villegas clasificado taxonómicamente como Hapludol Típico ($MO=22,1 \text{ mg kg}^{-1}$, $pH= 6,01$, $P_{\text{bray}}= 8 \text{ mg kg}^{-1}$, $\text{arena}=590 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{Arcilla}= 130 \text{ g kg}^{-1}$, $\text{limo}= 280 \text{ g kg}^{-1}$)

El cultivo de soja fue sembrado el 11 de noviembre de 2020 con una sembradora a chorrillo logrando una densidad de 32 plantas m^{-2} . El agua disponible al momento de la siembra fue de 215 mm hasta 1,4 m, luego de esta profundidad se encontró la napa freática.

Los tratamientos fueron cuatro:

T1: Testigo: Sin fertilizante

T2: P+Ca: Fertilización con fósforo (200 kg ha^{-1} de superfosfato triple de calcio (0-46-0, Ca:14))

T3: P+Ca+S: T2 + Fertilización con azufre (100 kg ha^{-1} de sulfato de calcio (S:18, Ca:24))

T4: P+Ca+S+Ca+B: T3 + Aplicación de Ca+B foliar

En R5 se midió el índice de verdor del cultivo en cada unidad experimental utilizando el Minolta SPAD 502®. En el mismo estadio se midió biomasa realizando un corte de 1 m lineal en cada parcela, luego se colocó el material en estufa a 100°C hasta peso constante. Además, se midió la profundidad de napa que estaba a 2,36 m, y se extrajo una muestra para analizar el contenido de S-SO_4^{-2} , cuyo resultado fue de $10,9 \text{ mg l}^{-1}$.

La cosecha se realizó con cosechadora experimental autopropulsada sobre una superficie de $8,75 \text{ m}^2$. El rendimiento se expresó con contenidos de humedad de granos de 140 g kg^{-1} de humedad. Las muestras de grano se secaron a estufa a 60°C , se molieron y tamizaron por malla de 1 mm y posteriormente se determinaron los contenidos de nitrógeno (N), P, S, Ca y B.

El diseño fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. Los análisis se realizaron mediante ANOVA con test de diferencias de medias de Tuckey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones realizadas en R5 mostraron diferencias significativas ($P>0,05$) en los niveles de verdor y biomasa (Tabla 1). Los niveles de SPAD variaron entre 42,7 y 35,8 unidades, mostraron mayores contenidos en el tratamiento 4 con respecto a 1 y 2 (+21%). En cuanto a biomasa, el tratamiento 3 y 4 fueron los que mayor biomasa acumularon y en promedio tuvieron +21% que los tratamientos 1 y 2.



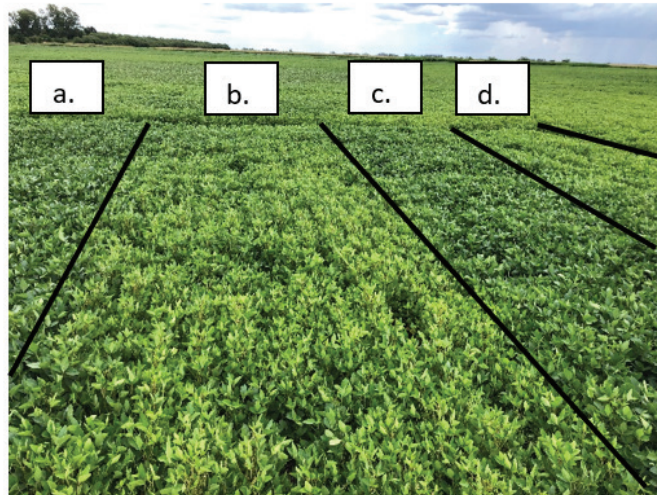


Figura 1: Cultivo de soja en R5. a. T3: P+Ca+S, b. T1: Testigo, c. T4: P+Ca+S+Ca+B, d. T2: P+Ca.

Tabla 1: Valores de índice de verdor (SPAD) y biomasa aérea (kg ha⁻¹) según tratamientos de fertilización en soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

Tratamiento	SPAD	Biomasa
T4: P+Ca+S+Ca+B	42,7 a	7114 b
T3: P+Ca+S	38,6 ab	8385 a
T2: P+Ca	34,6 b	6430 c
T1: Testigo	35,8 b	6309 c

En cuanto a la producción de grano se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P=0,03$). El rendimiento del tratamiento testigo fue de 4794 kg ha⁻¹, luego, con la incorporación de los sucesivos nutrientes el rendimiento aumentó hasta alcanzar 5558 kg ha⁻¹ con el tratamiento completo de P+Ca+S+Ca+B (+15,9% respecto al tratamiento testigo).

Estudios previos de fertilización en el mismo sitio y en campañas de mayor disponibilidad hídrica presentaron de manera errática respuestas a fertilización con S y con fertilizantes foliares (Girón et al., 2016). Sin embargo, en esos ensayos las raíces del cultivo de soja probablemente habían alcanzado la napa freática y es por lo que no mostraron deficiencias de S. En este caso, se realizó un muestreo en R5, y se encontraron raíces de soja a 1,8 m de profundidad, mientras que la napa freática se encontraba a 2,36 m, lo cual podría explicar el mayor índice de verdor de biomasa y mayor rendimiento encontrado en los tratamientos en los que se adicionó S (3 y 4). Por otro lado, se habían reportado respuestas a Ca en soja con aplicaciones del nutriente como enmienda (Girón et al., 2015). La respuesta a P fue de menor magnitud y concuerda con estudios previos realizados en la región (Machiavello et al., 2017).

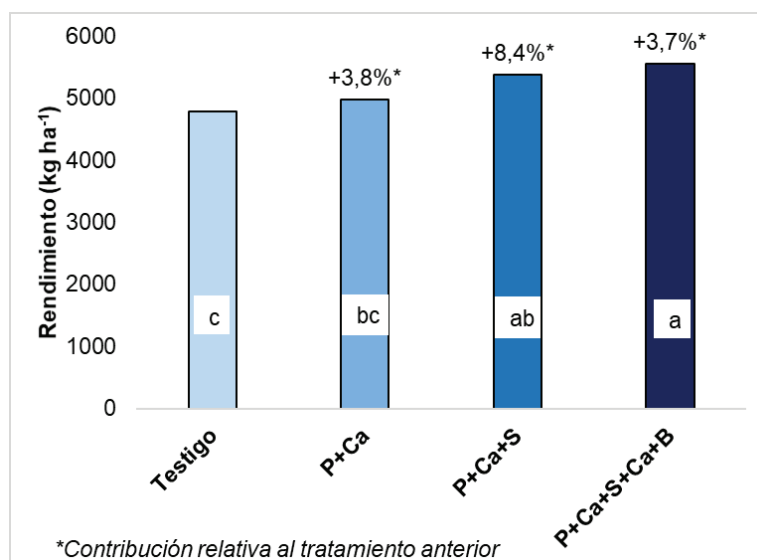


Figura 1: Rendimiento de soja según tratamientos de fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P=0,05$).

En cuanto al contenido de nutrientes en grano, solo se encontró diferencias significativas en el contenido de P. Los tratamientos en los que se adicionó P como fertilizante mostraron +20% de este nutriente comparado el tratamiento testigo.

Tabla 2: Contenido de nutrientes en granos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P=0,05$)

Tratamiento	N	P	S	Ca	B
		g 100g ⁻¹			mg kg ⁻¹
T1: Testigo	4,5	0,29 b	0,21	0,17	41,03
T2: P+Ca	4,5	0,36 a	0,24	0,17	45,99
T3: P+Ca+S	4,4	0,35 a	0,21	0,18	41,52
T4: P+Ca+S+Ca+B	4,7	0,35 a	0,23	0,17	40,01

CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó el presente estudio se observó una mejora significativa en el índice de verdor, biomasa en R5 y rendimiento en los tratamientos más balanceados (que incluyeron además de P al S y/o S+ Ca y B foliar). Estos estudios son preliminares y para una región puntual por lo que, para estudiar el incremento de rendimiento en soja por adición de macro y micronutrientes, se requiere más ensayos que abarquen condiciones contrastantes de fertilidad de suelos y campañas con distintas condiciones hídricas.

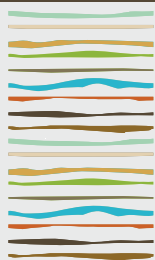
BIBLIOGRAFÍA

- Barraco, M; Girón, P; Macchiavello, A; Díaz Zorita, M; Miranda, W; Álvarez, C. 2018. Contribución de la inoculación y fertilización a la productividad de soja. Memoria Técnica 2017-2018. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 26-28.
- Galantini, JA, & L Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. Agriscientia. 25: 41-55.
- Giron, P; Barraco, M; Miranda, W. 2015. Respuesta a la aplicación de micronutrientes en trigo y soja. Memoria Técnica 2014-15. Resúmenes. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 14.
- Giron, P; Macchiavello, A; Barraco, M; Ottaviano, C; Ferro, D; Vasquez, M. 2016. Aplicación de correctores básicos y fertilizantes cálcicos/magnésicos en el cultivo de soja. XXV Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo. Río Cuarto, Argentina. Del 27 de junio al 1 de julio de 2016.



- Macchiavello, A; Giron, P; Barraco, M. 2017. Fósforo en soja: resultados de 3 campañas. Memoria Técnica 2016-2017. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 34-35.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.015>.
- Sainz Rozas, HR, HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rosas, H; Echeverría, H; Angelini, H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana argentina. *Revista RIA* 2012: pp: 33-39.
- Sainz Rosas, H; M. Eyherabide; HE Echeverría, P Barbieri; H. Angelini; G.E. Larrea; GN Ferraris; M. Barraco. 2013. Cuál es el estado de fertilidad de los suelos argentinos. Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. Rosario, SF. 22 y 23 de mayo de 2013. En CD.
- Sainz Rosas, H; Eyherabide, M; Larrea, G; Martinez Cuesta, N; Angelini, H; Reussi Calvo, N. Wyngaard N. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la Región Pampeana. <https://fertilizar.org.ar/subida/evento/Simposio2019/SAINZ%20ROZAS%20-%20Fertilidad%202019/SAINZ%20ROZAS%20Fertilidad%202019%20-%20acta.pdf>





BRECHAS DE RENDIMIENTO Y PROTEÍNA EN CEBADA CERVECERA: EFECTO DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA

Gómez, F.M.¹, F.H. Gutiérrez-Boem¹, P. Prystupa¹, J.J. Boero², G. Ferraris³, L.G. Abeledo⁴

¹ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina. INBA-CONICET;

² Departamento de tecnología, Cátedra de Genética y Mejoramiento, Universidad Nacional de Luján, Luján, Buenos Aires, Argentina;

³ EEA Pergamino, INTA;

⁴ Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina. IFEVA-CONICET.

fgomez@agro.uba.ar

RESUMEN

El cultivo de cebada cervecera posee adicionalmente al objetivo de alcanzar un adecuado rendimiento, el de lograr una adecuada concentración proteica en grano. El marco conceptual de brecha de rendimiento desarrollado hasta el momento, no ha sido implementado a escala de lote de manera de incluir la nutrición con N y S en el cultivo de cebada cervecera. Incluso, no ha sido planteado este paradigma sobre atributos de calidad de cultivos de grano, como lo es la concentración proteica en grano. Los objetivos de este estudio fueron en cultivos de cebada, en el centro y norte de la provincia de Buenos Aires i) determinar la brecha de rendimiento (Yg, diferencia entre el rendimiento potencial en condiciones de secano y el rendimiento logrado por el productor) y de proteína (GPg, diferencia entre la concentración proteica media requerida por la industria y la obtenida por los productores) a escala de unidad de manejo, y ii) cuantificar el grado de limitación debida a N y S sobre el rendimiento y la concentración proteica en grano. Para ello, se realizaron 42 experimentos a campo y se utilizó un modelo de simulación agronómica. La proporción de Yg y GPg debida a la nutrición con N y S fue en promedio de 0,61 y 0,73, respectivamente. A su vez, dentro de esta proporción, la mayor contribución fue atribuible a N, tanto para Yg como GPg. La limitación del rendimiento en grano debida a S cobró relevancia solo en situaciones de elevada disponibilidad de N, en suelos de textura gruesa y con bajo contenido de materia orgánica. Con mayor frecuencia, GPg fue mayor a Yg y eso puede asociarse al hecho de que para alcanzar un nivel proteico adecuado un cultivo requirió absorber una mayor cantidad de N que la requerida para maximizar el rendimiento en grano.

Palabras clave: calidad comercial, deficiencia nitrogenada, deficiencia azufrada.

INTRODUCCIÓN

Los nutrientes que frecuentemente limitan la producción de cultivos de grano en la región pampeana son N, P y S. En el caso de cebada cervecera, a diferencia de lo que ocurre en otros cultivos de grano, posee relevancia comercial tanto el rendimiento logrado como también la concentración proteica de los granos. La industria posee requerimientos estrictos en cuanto a la concentración proteica de los granos, demandando un mínimo de 9,5% de proteína en grano y un máximo de 13% (Res. 27/2013, SENASA).

La brecha de rendimiento en grano (Yg) representa la diferencia entre el rendimiento en grano potencial en condiciones de secano (Yw) y el rendimiento en grano logrado por el productor (Ya) (Lobell et al., 2009). Análogamente a Yg, se puede plantear en el cultivo de cebada la existencia de una brecha de proteína (GPg), la cual puede ser entendida como la diferencia entre la concentración proteica media requerida por la industria (i.e. 11 %, GPi) y la concentración de proteína del grano obtenida por los productores (GPa).



Considerando que la relación entre el rendimiento en grano y la disponibilidad de N en suelo es del tipo li-neal-plateau, mientras que la relación entre la concentración de proteína y la disponibilidad de N es del tipo lineal y positiva (o no presenta un plateau del todo definido muchas veces) (McKenzie et al., 2004; Prystupa et al., 2019) es esperable que la magnitud relativa de la brecha de proteína sea superior a la de rendimiento en la mayoría de los casos, dada la limitación por N que presentan los sistemas productivos. La concentración proteica de los granos no ha sido abordada previamente desde el marco teórico de la brecha, de manera de caracterizar la magnitud de la limitación de una forma resumida y, menos aún, contextualizada en función de la brecha de rendimiento. Los objetivos de este estudio fueron determinar en cultivos de cebada, en el centro y norte de la provincia de Buenos Aires i) la brecha de rendimiento (Yg) y de proteína (GPg) a escala de unidad de manejo, y ii) cuantificar el grado de limitación debida a N y S sobre el rendimiento y la concentración proteica en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 42 experimentos con cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en condiciones de campo en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, durante el periodo entre 2014 y 2019. Cada experimento fue el resultado de la combinación sitio-año, en los cuales se aplicaron 3 tratamientos de fertilización: Productor (consistió en la dosis de fertilización aplicada por el productor), +N (150 kg N ha⁻¹ o 250 kg N ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor), +S (15 kg S ha⁻¹ o 20 kg S ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor). Durante el periodo 2016 a 2019, se agregó un tratamiento con el fin de conformar un diseño factorial completo: +NS (15 kg S ha⁻¹ o 20 kg S ha⁻¹ y 150 kg N ha⁻¹ o 250 kg N ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor).

Los experimentos realizados durante 2014 y 2015 tuvieron un diseño factorial incompleto con dos repeticiones, mientras que los realizados durante 2016 a 2019 poseían un diseño factorial completo con 3 repeticiones. El cv. utilizado fue Andreia. Las prácticas de manejo implementadas en los experimentos fueron aquellas realizadas por cada productor en el lote de producción. En los tratamientos aplicados, la fertilización N y S se realizó entre siembra y emergencia, utilizando urea y yeso, respectivamente.

A la madurez del cultivo, se cosecharon 4 m lineales de biomasa aérea. Las muestras se secaron a 65 °C hasta alcanzar peso constante y luego fueron trilladas para determinar rendimiento en grano y rastrojo. El rendimiento en grano (Y) se expresó en base seca.

Se determinó la concentración de N a través de digestión húmeda y posterior colorimetría, tanto en grano como en rastrojo. El porcentaje de proteína en grano (GP) fue calculado multiplicando la concentración de N en grano por un factor de 6.25. Tanto para grano como rastrojo, el contenido de N en la biomasa se calculó como el producto de la concentración de N en grano o rastrojo y la cantidad de grano o rastrojo. La cantidad de N absorbido a la madurez del cultivo se calculó como la suma del contenido de N en grano y rastrojo.

El modelo de simulación utilizado para estimar el rendimiento potencial (Yp) e Yw fue Apsim Next Generation (versión 2021.1.20.5937). En cada experimento se simuló Yp e Yw. Yg se calculó como la diferencia entre Yw y Ya. La diferencia entre Yp e Yw se consideró como un indicador del grado de limitación hídrica al que estuvo expuesto un cultivo, suele denominarse WLI y se calculó relativo a Yp (i.e. $WLI = [1 - Yw/Yp] * 100$). De manera análoga a WLI, se calcularon distintos índices con el fin de caracterizar la limitación por N, S y ambos nutrientes combinados: NLI, es un indicador de la limitación por N que posee un cultivo; SLI, es un indicador de la limitación por S que posee un cultivo y NSLI, es un indicador de la limitación por N y S combinados que posee un cultivo. El cálculo varió en función de la presencia o no de interacción N-S para el rendimiento y la concentración proteica de los granos, y del diseño experimental en cada experimento.

En el caso de rendimiento en grano:

- $Y-NSLI (\%) = (Y_{NS} - Y_a) / Yw * 100$; si el diseño experimental era factorial completo.

- $Y-NLI (\%)$:

$Y-NLI (\%) = (Y_N - Y_a) / Yw * 100$, si el diseño experimental era factorial incompleto.

$Y-NLI (\%) = ([(Y_N - Y_a) + (Y_{NS} - Y_s)] / 2) / Yw * 100$, si el diseño experimental era factorial completo sin interacción N-S.



$Y\text{-NLI} (\%) = (Y_{NS} - Y_s) / Y_w * 100$, si el diseño experimental era factorial completo con interacción N-S (i.e. efecto simple del agregado de N en condiciones de elevada disponibilidad de S).

- $Y\text{-SLI} (\%)$:

$Y\text{-SLI} (\%) = (Y_s - Y_a) / Y_w * 100$, si el diseño experimental era factorial incompleto).

$Y\text{-SLI} (\%) = [(Y_s - Y_a) + (Y_{NS} - Y_N)] / 2 / Y_w * 100$, si el diseño experimental era factorial completo sin interacción N-S.

$Y\text{-SLI} (\%) = (Y_{NS} - Y) / Y_w * 100$, si el diseño experimental era factorial completo con interacción N-S (i.e. efecto simple del agregado de S en condiciones de elevada disponibilidad de N).

Análogamente a rendimiento en grano, se calculó la brecha de proteína y los respectivos índices de limitación por N, S, N y S combinados para la concentración proteica en grano. La brecha de proteína (GPg) se referenció a la concentración proteica en grano promedio requerido por la industria maltera (i.e. GPI = 11 %).

El cálculo de la proporción de la limitación del rendimiento en grano por N y S debida a cada uno de estos nutrientes se realizó para cada experimento a partir de la suma de la limitación por N y S (i.e. NLI + SLI):

- Proporción de brecha por N y S debida a N (%) = $Y\text{-NLI} / (Y\text{-NLI} + Y\text{-SLI}) * 100$.

- Proporción de brecha por N y S debida a S (%) = $Y\text{-SLI} / (Y\text{-NLI} + Y\text{-SLI}) * 100$.

De manera análoga se realizó el cálculo para determinar la proporción de la limitación de la concentración proteica en grano por N y S.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el 50 % de los lotes evaluados el Y_a fue menor a $4,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, mientras que en el caso de Y_w e Y_p se observaron rendimientos menores a $6,7$ y $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente (Fig. 1.a). En el 48 % de las situaciones no se observó deficiencia hídrica ($Y_w = Y_p$). Respecto a Y_g , en el 50 % de los lotes evaluados fue menor al 23 % del Y_w (Fig. 1.b). La limitación del rendimiento en grano por S ($Y\text{-SLI}$) fue menor que la observada para N y NS (Fig. 1.b). La proporción de Y_g debida a la nutrición con N y S fue en promedio de 0,61. A su vez, de esta proporción, en promedio el 60 % es atribuible a N. Incluso, del total de la limitación del rendimiento en grano debida a N y S, en el 28,5 % de los casos no se observó ninguna limitación por S, mientras que el 92,8 % de las situaciones presentó algún grado de limitación por N (Fig. 1.c). Por otro lado, mientras que las menores limitaciones del rendimiento en grano por N se asociaron a elevados rendimientos logrados por los productores ($p < 0,001$), la limitación del rendimiento en grano por S no se relacionó con el nivel de producción a nivel de productor ($p = 0,20$) (Fig. 1.d).

La limitación del rendimiento en grano debida a S se asoció a suelos de textura gruesa (con baja humedad inicial y bajo contenido de materia orgánica) y elevada disponibilidad de N, esto último atribuible a la exacerbación de la deficiencia de S en situaciones de alta disponibilidad de N, lo cual ha sido reportado previamente en los cultivos de maíz (Franzen et al., 2016) y colza (Grant et al., 2012).



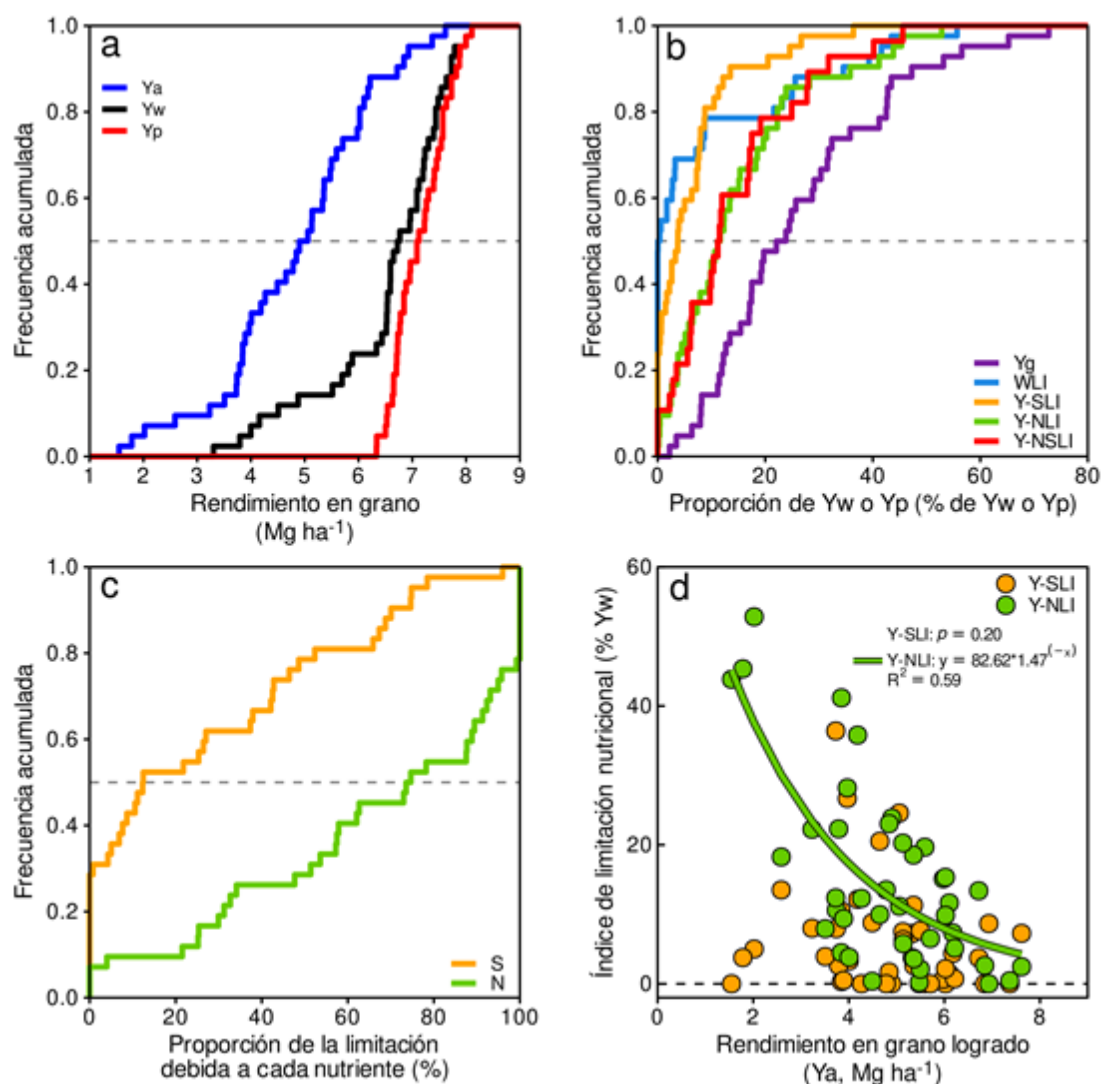


Figura 1. Frecuencia relativa acumulada de a) el rendimiento en grano logrado (Ya), rendimiento en grano potencial de secano (Yw) y rendimiento en grano potencial (Yp); b) la brecha de rendimiento (Yg), el índice de limitación del rendimiento en grano por disponibilidad hídrica (WLI), S (Y-SLI), N (Y-NLI) y N y S combinados (Y-NSLI); c) la proporción de limitación del rendimiento en grano debida a N y S, atribuible a cada uno de estos nutrientes. d) Relación entre los índices de limitación por N o S y el rendimiento obtenido en cada lote. En a), b) y c) la línea discontinua indica la probabilidad acumulada del 50 %. En d) la línea discontinua indica el cero para el nivel de limitación nutricional por N o S.

La totalidad de los lotes de producción presentaron valores de proteína menores al requerimiento medio de la industria (i.e. GPI = 11 %, Fig. 2.a). El 50 % de los lotes evaluados presentaron valores de GPg de hasta el 27,1 % de GPI, algo mayor al observado en Yg (i.e. 23 %) (Fig. 2.b). La proporción de GPg debida a N y S fue en promedio de 0.73. A su vez, de esta proporción, en promedio el 87,5 % es atribuible a N. Incluso, del total de la limitación de la concentración proteica por N y S, en el 50 % de los casos la limitación debida a S fue menor al 6,2 % de GPI, mientras que en el caso de N fue de hasta el 93,7 % de la limitación de la concentración proteica en grano atribuible a N y S (Fig. 2.c). Tanto la limitación de la proteína por S (GP-SLY) como por N (GP-NLY) disminuyeron frente al incremento en la concentración proteica lograda a nivel de lote ($p < 0,001$) (Fig. 2.d).

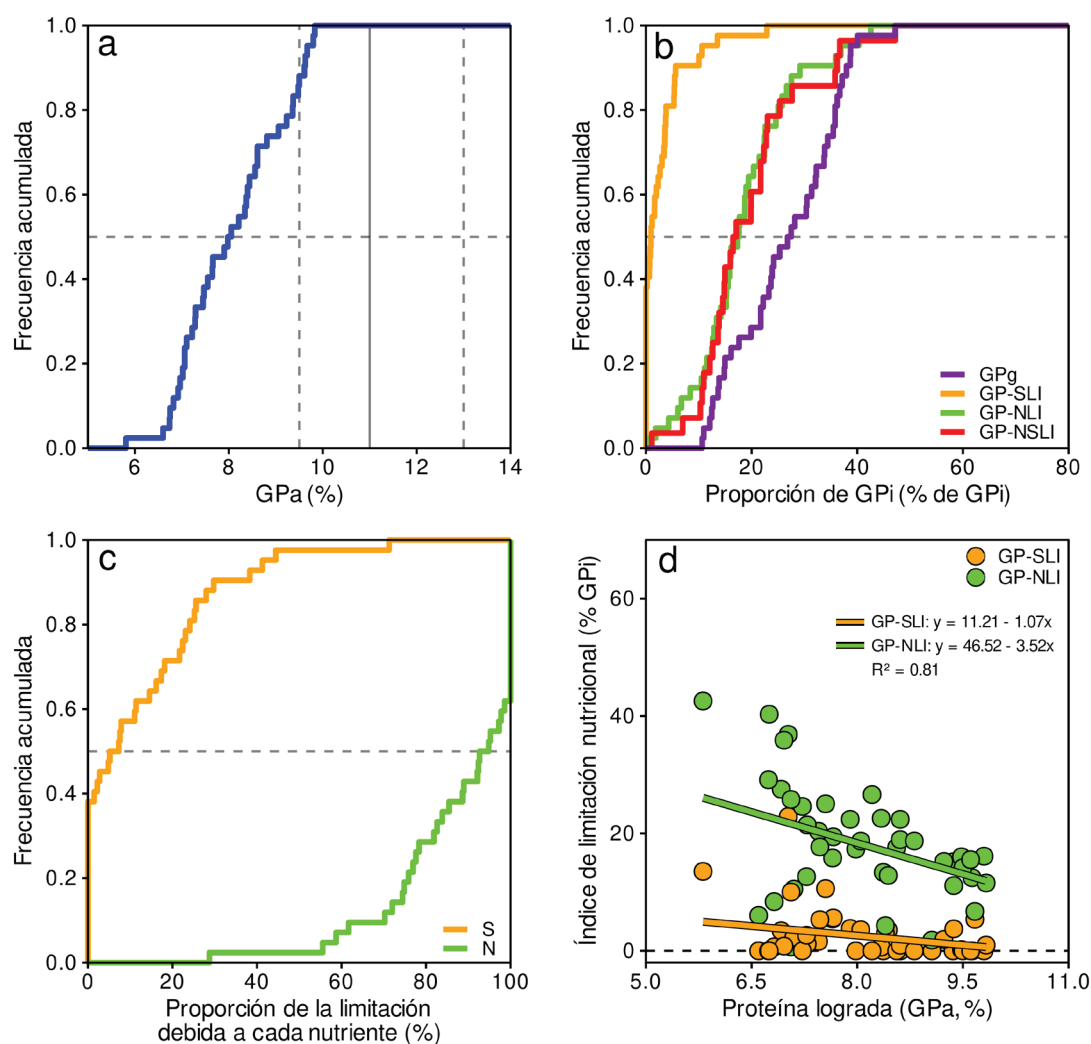


Figura 2. Frecuencia relativa acumulada de a) la concentración proteica en grano lograda por los productores (GPa); b) la brecha de proteína (GPg), el índice de limitación de la concentración proteica por S (GP-SLI), N (GP-NLI) y N y S combinados (GP-NSLI); c) la proporción de limitación de la concentración proteica de los granos debida a N y S, atribuible a cada uno de estos nutrientes. d) Relación entre los índices de limitación por N y S y la concentración proteica obtenida en cada lote. En a) las líneas verticales discontinuas corresponden a las concentraciones proteicas de 9,5 y 13 % (i.e. límite inferior y superior de los requerimientos de la industria), mientras que la línea sólida corresponde al requerimiento medio de la industria (i.e. GPi, 11 %). En a), b) y c) la línea discontinua indica la probabilidad acumulada del 50 %. En d) la línea discontinua indica el cero para el nivel de limitación nutricional por N o S.

En términos de magnitud, Yg fue mayor respecto a GPg (hay mayor rango en el eje x que en el eje y), alcanzando valores de hasta el 72,7 % (Fig. 3.a). Sin embargo, en la mayoría de las situaciones GPg fue mayor a Yg (i.e. el 61,9 % de las observaciones se encontraron por encima de la línea 1:1, Fig. 3.a). En términos medios, GPg no difirió de Yg (26,5 vs. 26,1 %, $p = 0,83$) y, además, GPg no se asoció a Yg (i.e. el intervalo de confianza de la pendiente incluyó a cero). En las condiciones medianas de rendimiento en grano (función RG50), para obtener el máximo rendimiento en grano (i.e. 6,3 Mg ha⁻¹) el cultivo requirió absorber al menos 130 kg N ha⁻¹ (Fig. 3.b). Para estas mismas condiciones de concentración proteica en grano (i.e. función GP50, Fig. 3.c), se esperaría alcanzar una concentración de hasta 9,8 % de proteína. En concordancia con nuestro trabajo, otros autores han observado una relación curvilínea entre el rendimiento en grano y el incremento de la disponibilidad de N, mientras que la concentración proteica en grano se incrementaba linealmente (McKenzie et al., 2004; O'Donovan et al., 2011). Incluso, en experimentos realizados en la misma región, Reussi Calvo et al. (2022) determinaron recientemente que la dosis de fertilizante N a la cual se maximiza el beneficio económico en función del rendimiento en grano esperado, en muchas situaciones no permitía alcanzar la mínima concentración proteica en grano requerido por la industria.

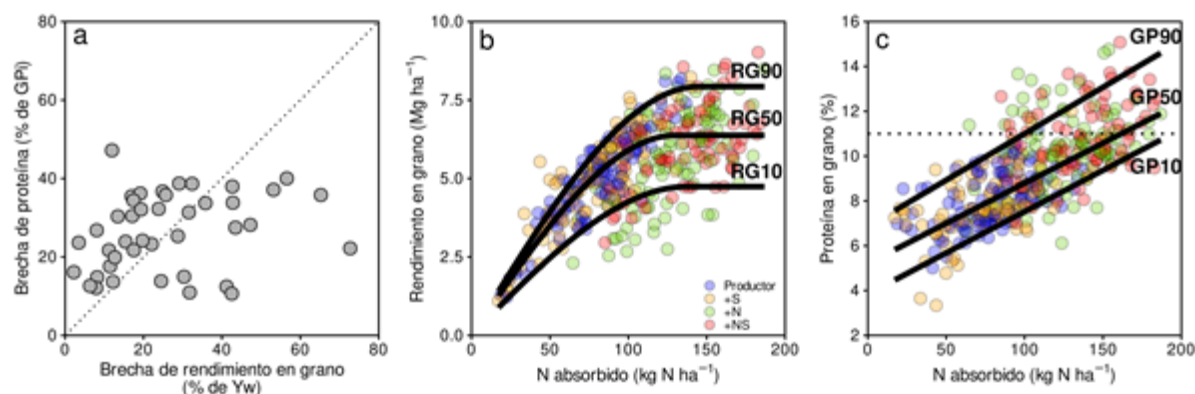


Figura 3. a) Relación entre la brecha de proteína y la brecha de rendimiento de cada lote. La línea punteada corresponde a la relación 1:1. Relación entre b) el rendimiento y c) la concentración de proteína en grano con el nitrógeno absorbido por el cultivo a madurez. En b) las funciones esféricas ajustadas corresponden a los cuantiles 90, 50 y 10 % (funciones RG90, RG50 y RG10, respectivamente). En c) Las funciones lineales ajustadas corresponden a los cuantiles 90, 50 y 10 % (funciones GP90, GP50 y GP10, respectivamente). La línea discontinua horizontal indica el requerimiento de concentración proteica en grano promedio de referencia de la industria (i.e. GPI, 11 %).

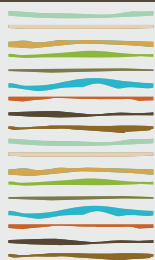
CONCLUSIONES

La mayor parte tanto de Yg como de GPg se debieron a limitaciones por N. Las limitaciones por S sólo ocurrieron en determinadas situaciones, asociadas a situaciones con alta disponibilidad de N, en suelos arenosos o con baja capacidad de retención hídrica y bajo contenido de materia orgánica. Yg y GPg, en términos generales, fueron similares (i.e. ~ 26 %). Sin embargo, alcanzar la concentración proteica en grano requerida por la industria cervecera implica que el cultivo absorba una mayor cantidad de N que la necesaria para maximizar el rendimiento en grano, poniéndose ello en evidencia en los acotados rangos de GPg.

BIBLIOGRAFÍA

- Lobell, D. B., Cassman, K. G. y Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annu Rev Environ Resour*, 34, 179-204.
- McKenzie, R. H., Middleton, A. B., Hall, L., DeMulder, J., Bremer, E. (2004). Fertilizer response of barley grain in south and central Alberta. *Can J Soil Sci*, 84, 513-523.
- O'Donovan, J. T., Turkington, T. K., Edney, M. J., Clayton, G. W., McKenzie, R. H., Juskiw, P. E., Lafond, G. P., Grant, C. A., Brandt, S., Harker, K. N., Johnson, E. N., May, W. E. (2011). Seeding rate, nitrogen rate, and cultivar effects on malting barley production. *Agron J*, 103, 709-716.
- Prystupa, P., Peton, A., Pagano, E., Gutiérrez-Boem, F. H. (2019). Sulphur fertilization of barley crops improves malt extract and fermentability. *J Cereal Sci*, 85, 228-235.
- Reussi Calvo, N. I., Carciochi, W. D., Prystupa, P., Queirolo, I., Sainz Rozas, H. R. (2022). Economic optimum nitrogen rate analysis for feed and malting barley. *Crop Sci*, 1-14.





LA RELACIÓN N:S EN GRANO COMO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE DEFICIENCIA AZUFRADA EN CEBADA

Gómez, F.M.¹, P. Prystupa¹, L.G. Abeledo², J.J. Boero³, G. Ferraris⁴, F.H. Gutiérrez-Boem¹

¹ Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina. INBA-CONICET;

² Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Argentina. IFEVA-CONICET;

³ Departamento de tecnología, Cátedra de Genética y Mejoramiento, Universidad Nacional de Luján, Luján, Buenos Aires, Argentina;

⁴ EEA Pergamino, INTA. fgomez@agro.uba.ar

RESUMEN

Los principales nutrientes que limitan la producción de cultivos de granos en la región pampeana son el N, el P y el S. Se han desarrollado metodologías de diagnóstico de deficiencia de S basadas en la relación entre la concentraciones de N y de S en varios cultivos de grano, aunque no han sido evaluadas en el cultivo de cebada. Además, el S presenta una menor movilidad general del S en la planta respecto a N (i.e. removilización desde tejidos vegetativos y partición hacia granos). Si la relación N:S en grano permitiera distinguir cultivos deficientes de S, sería esperable poder realizar el diagnóstico de esta deficiencia a partir de muestras de biomasa en antesis. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la relación N:S en biomasa aérea en antesis, biomasa aérea en madurez y en grano como herramienta de diagnóstico del estatus azufrado en cultivos de cebada. Para ello se realizaron 50 experimentos a campo en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires. Los tratamientos aplicados fueron: 1. Productor (sin agregado de fertilizante adicional al realizado por el productor), 2. +N: sin limitaciones de N, 3. +S: sin limitaciones de S, 4. +NS: sin limitaciones de N y S. La variable que mejor distinguió los cultivos deficientes de S fue la relación N:S en los distintos órganos y momentos (biomasa en antesis y en madurez, y en grano), aunque solo bajo condiciones de elevada disponibilidad de N. La utilización en conjunto de los umbrales determinados de la concentración de S y la relación N:S en los distintos órganos y momentos no mejoró la capacidad de predicción de estas variables. La relación estequiométrica N-S en grano permitió una adecuada distinción de las situaciones de deficiencia de S.

Palabras clave: nitrógeno, estequiometría N:S, rendimiento en grano.

INTRODUCCIÓN

En región pampeana, los cultivos de granos están frecuentemente limitados por N, P y S. Mientras que las deficiencias nitrogenadas y fosforadas son más generalizadas, la deficiencia de S se suele presentar en situaciones puntuales. Una herramienta de diagnóstico del estado nutricional azufrado en cultivos es el análisis del tejido vegetal. Entre ellos, se encuentran aquellos basados en atributos de los granos, como la concentración de nutrientes o la relación de concentraciones de nutrientes. Si bien los métodos de diagnóstico basados en el análisis del órgano cosechable no permiten realizar correcciones del estado nutricional de los cultivos durante su ciclo, pueden ser útiles para identificar sitios deficientes en un nutriente o para cambiar el manejo nutricional de los cultivos subsecuentes en la rotación. Distintos sistemas de diagnóstico de deficiencias azufradas basados en relaciones N:S han sido propuestos en trigo (Randall et al., 1981; Reussi Calvo et al., 2011), soja (Salvagiotti et al., 2012) y maíz (Carciochi et al., 2019). Sin embargo, en el cultivo de cebada no ha sido explorado aún pese a que la concentración de S del grano condiciona la aptitud maltera del grano de cebada (Prystupa et al., 2019).



Por otro lado, si bien el metabolismo del N y S están interrelacionados, la economía interna de S del cultivo difiere de la de N. El S es un nutriente menos móvil en la planta respecto al N (Eriksen et al., 2001), la remoción de S durante el llenado del grano es menor respecto a la de N y, además, la variación de la concentración de S en el grano frente a cambios en su disponibilidad es menor que en el caso de N (Gómez et al., 2021). Por lo tanto, si la relación N:S en grano fuera una variable que posibilite un adecuado diagnóstico de la deficiencia S en este cultivo, sería esperable que la relación N:S en biomasa en antesis permita caracterizar adecuadamente a los cultivos deficientes en S.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la relación N:S en biomasa aérea en antesis, biomasa aérea en madurez y en grano como herramienta de diagnóstico del estatus azufrado en cultivos de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 50 experimentos con cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en condiciones de campo en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, durante el periodo entre 2014 y 2018. Cada experimento fue el resultado de la combinación sitio-año, en los cuales se aplicaron 3 tratamientos de fertilización: Productor (consistió en la dosis de fertilización aplicada por el productor), **+N** (150 kg N ha⁻¹ o 250 kg N ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor), **+S** (15 kg S ha⁻¹ o 20 kg S ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor). Durante el periodo 2016 a 2018, se agregó un tratamiento con el fin de conformar un diseño factorial completo: **+NS** (15 kg S ha⁻¹ o 20 kg S ha⁻¹ y 150 kg N ha⁻¹ o 250 kg N ha⁻¹ adicionales a la dosis de fertilizante aplicada por el productor). Los experimentos realizados durante 2014 y 2015 tuvieron un diseño factorial incompleto con dos repeticiones, mientras que los realizados durante 2016 a 2018 poseían un diseño factorial completo con 3 repeticiones. Las prácticas de manejo implementadas en los experimentos fueron aquellas realizadas por cada productor en el lote de producción.

En antesis y madurez del cultivo, se cosecharon 4 m lineales de biomasa aérea y fueron secadas a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Las muestras de madurez del cultivo fueron trilladas para determinar rendimiento en grano y rastrojo. El rendimiento en grano fue corregido a un contenido de humedad de 0,13 g H₂O g⁻¹. En muestras de biomasa aérea en antesis, rastrojo y grano, se determinó la concentración de N y de S. Tanto para N como S, el contenido de nutriente en biomasa aérea en antesis, en rastrojo y grano fue calculado como el producto de la concentración de N o S y la cantidad de biomasa aérea en antesis, rastrojo y grano. La cantidad de N y S absorbido a la madurez del cultivo se calculó como la suma del contenido de N o S en grano y rastrojo. La relación N:S en grano y en biomasa aérea en antesis se calculó como el cociente entre la concentración de estos nutrientes en el grano y en la biomasa aérea, respectivamente. La relación N:S en biomasa aérea en madurez se calculó como el cociente entre la cantidad de N y S absorbido.

El rendimiento relativo (RR) se calculó como el cociente promedio entre el rendimiento en grano obtenido en los tratamientos no fertilizados con S (i.e. 'Productor' y '+N') y el rendimiento en grano de los tratamientos fertilizados con S (i.e. '+S' y '+NS'), en cada experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la metodología de Cate y Nelson (1971), se clasificó a los cultivos deficientes en S como aquellos que presentaron un valor de RR inferior al 90 % y, además, un valor de la variable evaluada por debajo del valor crítico establecido. La capacidad de diagnosticar correctamente el estado azufrado de los cultivos se evaluó mediante la correspondencia entre los cultivos clasificados como deficientes en S mediante la metodología de Cate y Nelson (1971) y las observaciones correspondientes a los tratamientos no fertilizados con S (i.e. 'Productor' y '+N') de experimentos en los que se verificó un incremento del rendimiento en grano a través del análisis estadístico y la correspondiente comparación de medias. La capacidad de diagnóstico del estado azufrado de los cultivos a través de umbrales basados en la concentración, la cantidad de S y la relación N:S difirió entre los distintos órganos y momentos de muestreo (biomasa en antesis vs. biomasa en madurez vs. grano). Las variables con menor capacidad de diagnóstico del estado azufrado de los cultivos fueron la concentración de S en biomasa en antesis (detectó 3 de 8 situaciones deficientes, Fig. 1.a) y el contenido de S de los granos (detectó 1 de 8 situaciones deficientes, Fig. 1.h). La variable que mejor distinguió las situa-



ciones de deficiencia de las de suficiencia fue la relación N:S en los distintos órganos y momentos (i.e. se detectaron en todas las variables una mayor cantidad de situaciones de deficiencia). Cabe destacar que las deficiencias que generalmente fueron detectadas se correspondieron a situaciones de alta disponibilidad de N (i.e. cuando el par no fertilizado con S correspondió al tratamiento '+N') (Fig. 1).

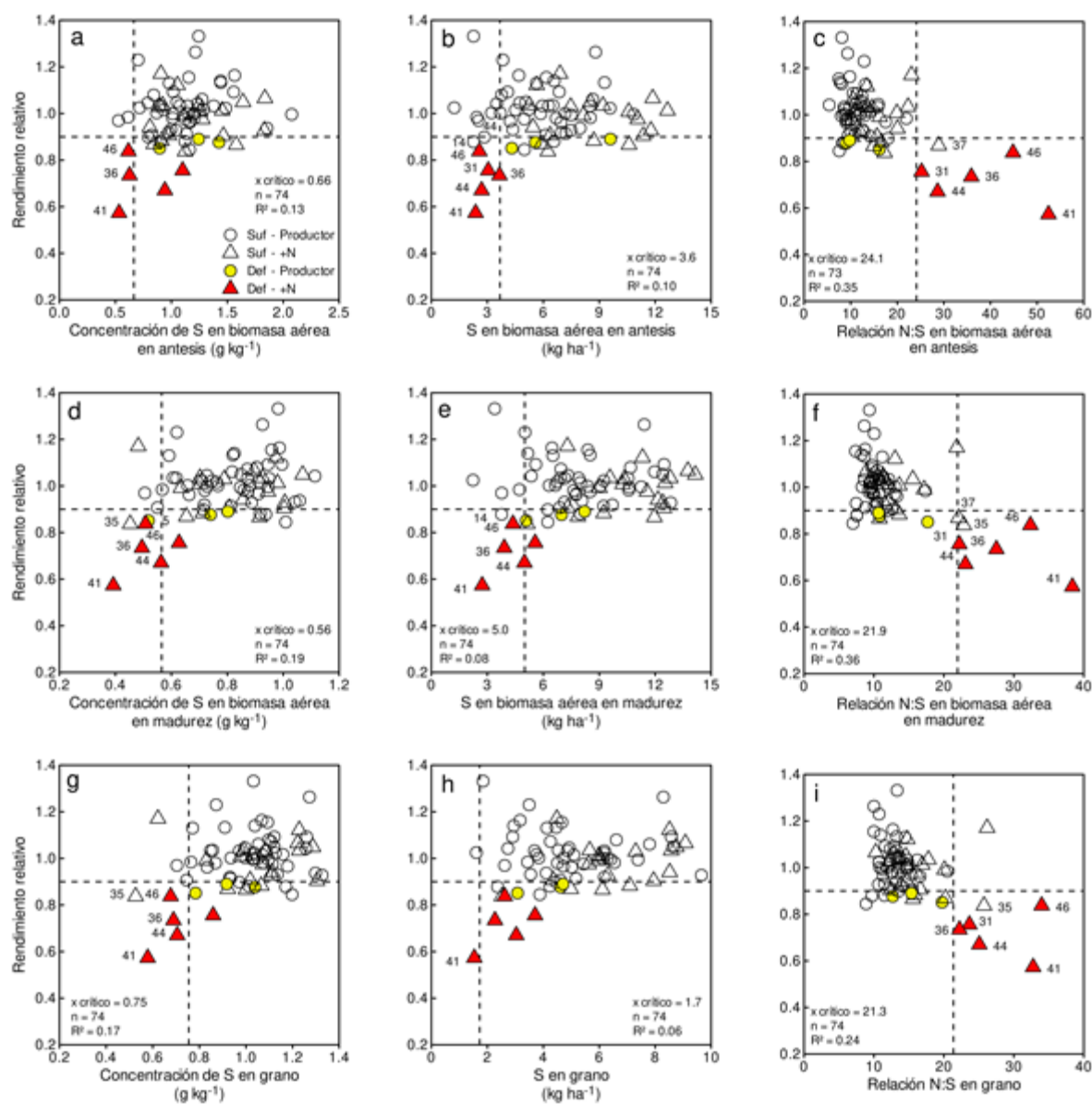


Figura 1. Relación entre el rendimiento en grano relativo y la concentración de S (panel izquierdo), contenido de S en grano (panel medio) y relación N:S en grano (panel derecho) en distintos órganos vegetales y estados fenológicos. a), b) y c) corresponden a biomasa aérea en antesis, d), e) y f) corresponden a biomasa aérea en madurez y g), h) e i) corresponden a grano. La forma de los símbolos refieren al tratamiento no fertilizado de cada par de tratamientos (los círculos corresponden al tratamiento 'Productor' y los triángulos al tratamiento '+N'). Los colores de los símbolos refieren al estatus azufrado del cultivo establecido mediante la comparación de medias (los símbolos vacíos corresponden a los cultivos suficientes y los símbolos llenos a los cultivos deficientes). Las líneas discontinuas horizontales corresponden al RR del 90 %, y las líneas verticales discontinuas corresponden a los valores críticos determinados para las distintas variables evaluadas. Los números ubicados junto a los símbolos corresponden a la denominación del experimento en aquellas situaciones que se encuentran en la zona de deficiencia para cada variable evaluada, a partir de Cate y Nelson (1971).

La utilización en conjunto de los umbrales determinados de la concentración de S y la relación N:S en los distintos órganos y momentos no mejoró la capacidad de predicción de estas variables, respecto a utilizarlas por sí solas (Fig. 2).

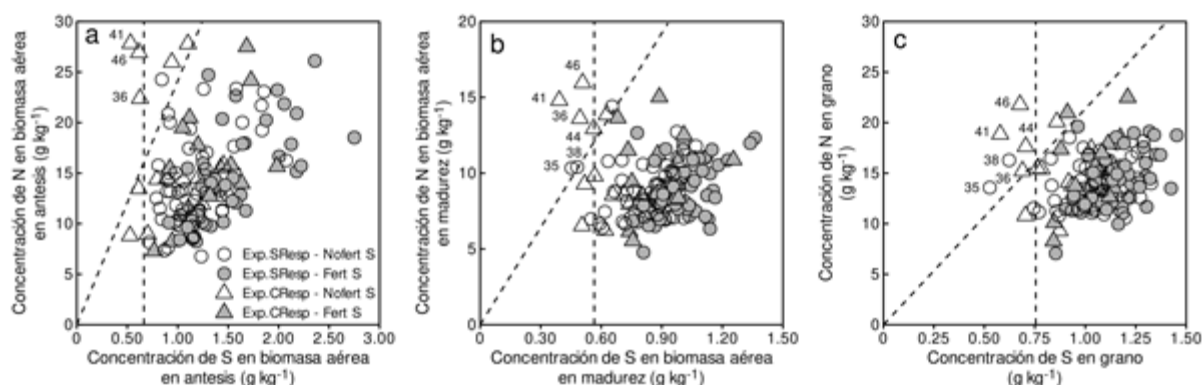


Figura 2. Relación entre la concentración de N y la concentración de S en a) biomasa aérea en antesis, b) biomasa aérea en madurez, c) grano. Los círculos corresponden a experimentos sin respuesta al agregado de S (Exp.SResp) y los triángulos corresponden a experimentos con respuesta al agregado de S (Exp.CResp). La respuesta del rendimiento en grano al agregado de S en los experimentos se evaluó a través del análisis estadístico y la correspondiente comparación de medias. Los símbolos vacíos corresponden a tratamientos sin fertilización con S (tratamientos 'Productor' y '+N') y los símbolos llenos corresponden a tratamientos con fertilización con S (tratamientos '+S' y '+NS'). Las líneas discontinuas corresponden a los valores críticos determinados para la concentración de S y la relación N:S en órgano y momento. Los números ubicados junto a los símbolos corresponden a la denominación del experimento en aquellas situaciones que se encuentran en la zona de deficiencia para cada variable evaluada, a partir de Cate y Nelson (1971).

Las relaciones estequiométricas N-S para las distintas variables evaluadas permitieron una mejor caracterización de las situaciones deficientes de las que no lo son, respecto a la utilización en conjunto de la concentración de S y la relación N:S. A partir de la relación estequiométrica N-S en la biomasa aérea en antesis, se observó un comportamiento similar en los experimentos sin respuesta al agregado de S (independientemente del agregado de S) y en los tratamientos fertilizados con S de los experimentos deficientes en este nutriente (Fig. 1.a). En el caso de la biomasa aérea en madurez, los tratamientos fertilizados con S en experimentos con respuesta al agregado de este nutriente presentaron un comportamiento similar a los tratamientos sin agregado de S en experimentos con suficiencia en este nutriente. Por otro lado, los tratamientos con agregado de S de experimentos sin respuesta a la fertilización con este nutriente acumularon ~ 26,3 % más de S respecto a los tratamientos con agregado de S en experimentos con deficiencia en este nutriente y sin fertilizar con S en experimentos sin deficiencia de S (Fig. 3.b). Tanto en la biomasa aérea en antesis como en madurez, no se observó relación entre la cantidad de N y S en tratamientos sin fertilización S en experimentos con respuesta al agregado de este nutriente ($p = 0,53$ y $p = 0,30$, respectivamente; Fig. 3.a y b). La relación estequiométrica N-S en grano permitió distinguir los experimentos sin respuesta al agregado de S (independientemente de la fertilización S), de los tratamientos de fertilización con S en experimentos con respuesta al agregado de este nutriente y de los experimentos con deficiencia en S y sin fertilizar (Fig. 3.c). En los experimentos con respuesta al agregado de S y que no fueron fertilizados con este nutriente, se acumuló en promedio ~ 35 % de N que en los experimentos sin respuesta al agregado de S, y 54 % más de N que en los tratamientos fertilizados con S en experimentos con respuesta al agregado de este nutriente. El incremento en la precisión de diagnóstico de deficiencia azufrada a través de la relación estequiométrica N-S en grano se encuentra en concordancia a lo reportado por Salvagiotti et al. (2012) en el cultivo de soja.

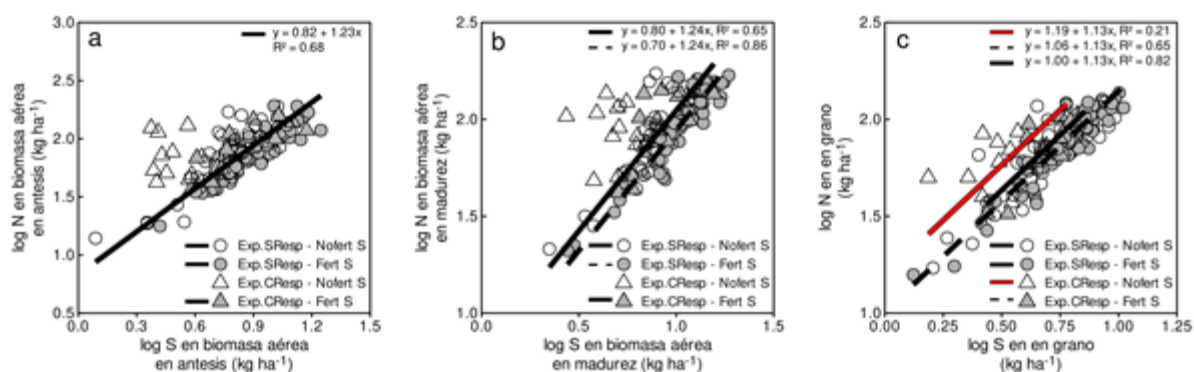


Figura 3. Relaciones estequiométricas N-S en a) biomasa aérea en antesis, b) biomasa aérea en madurez y c) grano. Los círculos corresponden a experimentos sin respuesta al agregado de S (Exp.SResp) y los triángulos corresponden a experimentos con respuesta al agregado de S (Exp.CResp). La respuesta del rendimiento en grano al agregado de S en los experimentos se evaluó a través del análisis estadístico y la correspondiente comparación de medias. Los símbolos vacíos corresponden a tratamientos sin fertilización con S (tratamientos 'Productor' y '+N') y los símbolos llenos corresponden a tratamientos con fertilización con S (tratamientos '+S' y '+NS').

En general, la relación N:S en grano disminuyó frente al agregado de S (i.e. tratamiento 'Productor' vs. '+S' y '+N' vs. '+NS', Fig. 4.a). La excepción la constituyó el tratamiento '+N' del experimento 36 (Fig. 4.a). La variación en la relación N:S en grano disminuyó a medida que la relación N:S inicial era menor (i.e. resultó más fácil disminuir la relación N:S por agregado de S en la medida que el valor del cual se partía era mayor) (Fig. 4.b). Cabe destacar que estas situaciones de mayor valor inicial en la relación N:S en grano y, por tanto, mayor variación en la relación N:S en grano frente al agregado de S, correspondieron a condiciones de elevada disponibilidad de N (i.e. tratamiento '+N').

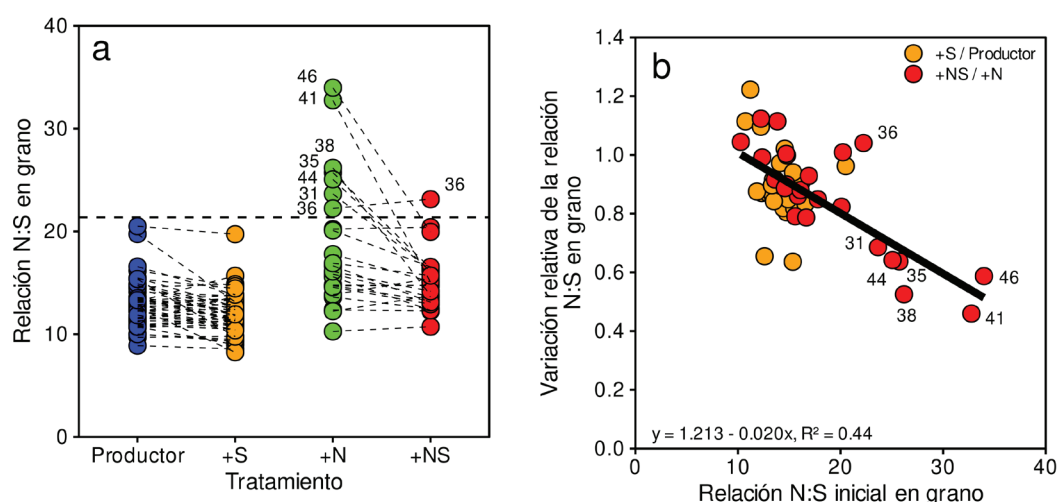


Figura 4. a) Relación N:S según los tratamientos aplicados en los experimentos, b) Relación entre la variación de la relación N:S en grano y la relación N:S en grano inicial. En a) la línea horizontal discontinua corresponde al umbral crítico determinado para la relación N:S en grano (i.e. 21,3). En b) los números ubicados junto a los símbolos corresponden a la denominación del experimento en aquellas situaciones que se encuentran en la zona de deficiencia para cada variable evaluada, a partir de Cate y Nelson (1971).

CONCLUSIONES

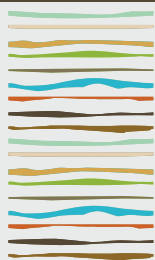
La relación N:S fue la variable que presentó una mejor capacidad de diagnóstico de deficiencia de S en los cultivos, a partir de la determinación de umbrales críticos en las distintas categorías de biomasa y estados evaluados. Sin embargo, sólo se distinguieron adecuadamente los cultivos deficientes en S bajo condiciones de elevada disponibilidad de N. La relación estequiométrica N-S en grano permitió una adecuada clasificación de experimentos con respuesta al agregado de S de aquellos que no lo fueron y los tratamientos con agregado de S de aquellos que no fueron fertilizados con este nutriente.



BIBLIOGRAFÍA

- Carciochi, W. D., Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., Divito, G. A., Eyherabide, M., Echeverría, H. E. (2019). Prognosis and diagnosis of sulfur status in maize by plant analysis. *Eur J Agron*, 108, 1-10.
- Cate, R. B., Nelson, L. A. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci Soc Am J*, 35, 658-660.
- Eriksen, J., Nielsen, M., Mortensen, J. (2001). Redistribution of sulphur during generative growth of barley plants with different sulphur and nitrogen status. *Plant Soil*, 230, 239-246.
- Gómez, F. M., Prystupa, P., Boero, J. J., Gutiérrez-Boem, F. H. (2021). Sulfur partitioning and grain concentration differed from that for nitrogen in malting barley. *Field Crops Res.*, 263, 108053.
- Prystupa, P., Peton, A., Pagano, E., Gutiérrez-Boem, F. H. (2019). Sulphur fertilization of barley crops improves malt extract and fermentability. *J Cereal Sci*, 85, 228-235.
- Randall, P., Spencer, K., Freney, J. (1981). Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. I. Concentrations of sulfur and nitrogen and the nitrogen to sulfur ratio in grain, in relation to the yield response. *Crop Pasture Sci*, 32, 203-212.
- Reussi Calvo, N., Echeverría, H., Sainz Rozas, H. S. (2011). Diagnosing sulfur deficiency in spring red wheat: Plant analysis. *J Plant Nutr*, 34, 573-589.
- Salvagiotti, F., Ferraris, G., Quiroga, A., Barraco, M., Vivas, H., Prystupa, P., Echeverría, H., Gutiérrez Boem, F. H. (2012). Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Res.*, 135, 107-115.





RESPUESTA DEL AGROPIRO (*THINOPYRUM PONTICUM*) A LA FERTILIDAD DEL SUELO Y A LAS PRECIPITACIONES

González, G.M.¹, M.A. Luna^{2*}, H.J. Hernández²

¹Agencia de Extensión Rural INTA Carmen de Patagones. Buenos Aires-Argentina.

²Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica (ruta provincial N°1 y rotonda de Cooperación). Viedma-Río Negro-Argentina.
Mail: gonzalez.guillermo@inta.gob.ar Cel.: 292015663907

RESUMEN

Los cambios en el uso de la tierra en ambientes áridos y semiáridos generan importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas, con impactos negativos sobre los suelos. Debido a los manejos productivos poco conservacionistas se han generado cambios en la composición de la vegetación, con pérdidas de cobertura e incremento de la superficie susceptible a la erosión. Bajo éste escenario, se apuesta al agropiro (*Thinopyrum ponticum*) para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo en estos ambientes, convirtiéndose en una pastura alternativa perenne, que permite dar mayor estabilidad a la cadena forrajera, aportando forraje en cantidad y calidad para la zona.

El estudio se realizó en cuatro establecimientos ganaderos del Partido de Patagones, SO de la provincia de Buenos Aires, donde las precipitaciones en promedio llegan a los 430 mm anuales, lo que limita el abanico de especies perennes viables en la región.

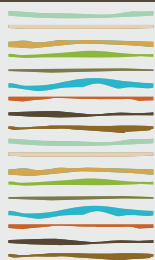
Dada la importancia de esta especie como recurso forrajero, nuestro objetivo fue conocer su performance ante las situaciones edafoclimáticas de la zona, siendo de interés el estudio de parámetros cuantitativos de esta especie, como producción de Materia seca y su relación con indicadores de suelo y precipitaciones. En los cuatro establecimientos, se colocaron jaulas de exclusión al pastoreo de 1 m² y se realizaron cortes estacionales durante los años 2020 y 2021 para determinar producción de materia seca. Sobre cada sitio se tomaron muestras de suelo para analizar las siguientes variables: MO, P, N e IMO (relación entre el contenido de materia orgánica, limo y arcilla). Los datos pluviométricos fueron aportados por los productores de cada establecimiento.

Los resultados encontrados indican que hubo relación positiva entre el IMO, contenido de MO y la producción de materia seca, no así con el N y el P. En relación a las precipitaciones y producción de MS, se observa una variación estacional de la producción durante los años 2020 y 2021. El pico de producción, para ambos años, se registra durante los meses de primavera (794,2 kg Ms/ha) concentrando así el 55,7 %, seguido por la estación de verano con (321,5 kg Ms/ha) 22,5 %. Se destaca la respuesta del agropiro a mejores condiciones físico químicas del suelo y mayor respuesta productiva ante un incremento de las precipitaciones.

Los indicadores e índices que se utilizaron permitieron valorar la calidad del suelo y analizar si la incorporación de esta pastura puede mejorar este recurso y protegerlo ante eventuales riesgos de erosión, compactación e incluso la salinización. La plasticidad de este recurso forrajero para ser incorporado en los planes de manejo del rodeo, es clave, ya que no solamente prosperó en condiciones restrictivas de precipitaciones, sino que permitió disponer de forraje durante gran parte del año manteniendo el suelo cubierto evitando pérdidas por erosión.

Palabras clave: calidad edáfica, degradación, forraje.





ALTERNATIVAS DE SUSTRATOS AGROECOLÓGICOS EN PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE *CUCUMIS MELO*

Gramajo Dominguez, Y.N.¹ *, P. Savino²

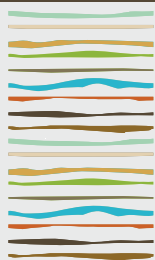
¹INTA EEA Santiago del Estero. dominguez.yesica@inta.gob.ar

²INTA EEA Santiago del Estero, savino.patricio@inta.gob.ar

RESUMEN

La producción temprana de melón *Cucumis melo* se realiza de diferentes formas y en distintos sistemas tanto forzados y como semiforzados, con la utilización de plantines. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción agroecológica de plantines de melón a bajo costo, utilizando como sustrato compost, dando un mayor valor agregado al ser una producción sustentable. La producción de plantines se construyó un macro-túnel con polietileno transparente, donde se colocaron 10 bandejas de 72 alveolos con dos tipos de sustratos: el comercial (Perlita Agrícola): tratamiento A (TA), y orgánico: tratamiento B (TB) (abono orgánico 25% lombricompost, 25% compost y 50% de mantillo). Se evaluaron características morfológicas comparando 2 sustratos: sustrato comercial (A) y sustrato orgánico (B). Se determinaron los parámetros: longitud total (LT), longitud aérea (LA) y raíz (LR), peso verde total (PVT), peso verde de la masa aérea (PVA) y radicular (PVR), peso seco total (PST), aéreo (PSA) y radicular (PSR), relación tallo/raíz (T:R) y concentración de Nitrógeno en planta (Nt). Los plantines de melón con sustrato A emergieron antes que los del B, sin embargo, luego de una semana, los plantines del sustrato B presentaron mejor vigor y color, alta tasa de crecimiento, mayor LT y LA que los del sustrato A, al igual que el PVT, PVA, PVR y Nt.

Palabras clave: sustrato comercial, sustrato orgánico, plantín de melón.



INCIDENCIA DE FECHAS DE SUPRESIÓN DEL CULTIVO DE COBERTURA PREVIO A MAÍZ

Gudelj, V.J., M.B. Conde, C.A. Lorenzon, P.M. Marelli, R.D. Seravalle, L.A. Pereyra, O.E. Gudelj

Técnicos de la EEA INTA Marcos Juárez,
Ruta Provincial N° 12 km 32,5 Prov. de Córdoba
gudelj.vicente@inta.gob.ar

RESUMEN

La vicia villosa (VV) pura o consociada con una gramínea es una alternativa válida a ser utilizada como cultivo de cobertura (CC) previo al cultivo de maíz. Los aportes del CC y su influencia sobre el cultivo de cosecha va a depender del manejo como de las condiciones climáticas que ocurran durante el ciclo de ambos. La definición de la fecha de supresión del crecimiento del CC, en función de los pronósticos climáticos del ciclo agrícola, surge como una alternativa de manejo para tratar de lograr el mejor resultado posible del cultivo de cosecha. El objetivo de este trabajo fue evaluar el aporte de materia seca (MS), el porcentaje de humedad superficial, la cantidad de agua útil hasta 1,5 m de profundidad, la disponibilidad de nitrógeno (N) y el rendimiento del maíz en función de diferentes fechas de supresión del crecimiento del cultivo de VV y VV consociada con trigo (VV+T). Durante el ciclo 2021-22 se instalaron dos ensayos en lotes de producción de la EEA INTA Marcos Juárez, uno con VV y otro con VV+T como CC en los que se definieron cuatro fechas de supresión del crecimiento de los mismos previo a la siembra del maíz. La consociación VV+T aportó mayor cantidad de MS que la VV pura. El T afectó el crecimiento de la VV en la consociación. La disponibilidad superficial de N y el porcentaje de humedad superficial fueron afectados por los CC. El agua útil en el perfil del suelo previo a la siembra fue mayor sobre barbecho que sobre CC. No se observaron mayores beneficios al adelantar la fecha de supresión del crecimiento del CC para las variables medidas antes de la siembra, pero sí sobre el rendimiento del maíz.

Palabras clave: fechas de supresión crecimiento, cultivo de cobertura, maíz

INTRODUCCIÓN

La implantación de vicia villosa (VV) pura o consociada con una gramínea es una alternativa válida a ser utilizada como cultivo de cobertura (CC) previo a maíz. El CC aporta materia seca (MS), capta nutrientes evitando pérdidas, mejora la cobertura del suelo con lo cual reduce la evaporación y la erosión, colaborando también en el control de las malezas. Además, la VV al ser una leguminosa fija nitrógeno (N) desde el aire. Pero también el CC influye en la disponibilidad de agua y nutrientes para el cultivo de cosecha que se implanta luego de la supresión de su crecimiento. En tal sentido Corak y col. (1991) observaron que el consumo de agua de VV previo a maíz reducía el crecimiento temprano de este en años con escasas precipitaciones primaverales. Si bien, el periodo de interrupción química del ciclo de crecimiento del CC justo antes de la etapa reproductiva, demostró ser un buen momento para el manejo del N y del agua, al asegurarse una elevada cantidad de N extraído y un tiempo suficiente para la recarga de agua y nutrientes del perfil (Restovich y col 2008), la magnitud de los beneficios del CC y su influencia sobre el cultivo posterior de cosecha está relacionada con las condiciones ambientales previas a la siembra y durante el crecimiento del CC, como así también a las ocurridas durante el ciclo de cultivo de cosecha (Gudelj y col 2012). Según el pronóstico climático del año se podrían definir diferentes fechas de supresión del crecimiento del CC, de manera de regular mejor el manejo del agua y así obtener el mejor resultado posible con el cultivo de cosecha. El objetivo de

este trabajo fue evaluar el aporte de MS, el porcentaje de humedad superficial, la cantidad de agua útil hasta 1,5 m de profundidad, la disponibilidad de N y el rendimiento del maíz en función de diferentes fechas de supresión del crecimiento del cultivo de VV y VV consociada con trigo (VV+T).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo 2021/22 se condujeron dos experimentos en lotes de producción de la EEA INTA Marcos Juárez, con suelo Argiudol típico perteneciente a la serie Marcos Juárez. Previo a la siembra se tomó una muestra de suelo de 0-20 cm de profundidad para la determinación de propiedades químicas. En los lotes se instalaron freáticos para medir el nivel freático durante el desarrollo del cultivo. La tabla 1 muestra una caracterización general de cada lote.

Tabla 1: Caracterización del lote y manejo de la vicia y el maíz

	LOTE 2	LOTE 4
Años de agricultura y SD continua	35 y 22	42 y 23
Presencia de napa cercana	NO	SI
Materia orgánica (%) (Walkley y Black)	2,44	2,35
Fósforo disponible (ppm) (Bray-Kurtz I)	30	16
Azufre de sulfatos (ppm) (turbidimetría)	1	3,9
Fecha de siembra del CC	31 de mayo	31 de mayo
Especie y densidad (kg.ha ⁻¹) del CC	15 vicia villosa + 15 trigo	20 vicia villosa
Fecha de siembra del maíz	24-10-2022	25-10-2022
Plantas de maíz/metro lineal a 52 cm	4,1	4,1
Fertilización a la siembra (kg.ha ⁻¹)	120 MAP + 90 Yeso	120 MAP + 90 yeso
Fertilización en V6 (kg.ha ⁻¹)	300 Urea	300 Urea

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

Testigo sin CC, Supresión crecimiento CC 16 de Setiembre, Supresión crecimiento CC 28 de setiembre, Supresión crecimiento CC 7 de octubre y supresión crecimiento CC 16 de octubre

Las parcelas fueron de cuatro surcos por diez metros de largo y para la determinación de los rendimientos se cosecharon los dos surcos centrales. Para las variables analizadas previo a la siembra se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, mientras que para la variable rendimiento un diseño de parcelas divididas, donde en las parcelas principales se ubican los momentos de secado (testigo y cuatro fechas) y en las subparcelas la fertilización nitrogenada (con y sin N). Se realizó un análisis de variancias a través de modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta el diseño utilizado y comparando las medias con el test LSD de Fisher al 5 %. Se utilizó software Infostat (Di Rienzo, 2020). Las variables evaluadas fueron: aporte de MS (kg. ha⁻¹), humedad de suelo (%) superficial hasta 20 cm y agua útil (mm) hasta 1,5 m de profundidad (método gravimétrico), N disponible hasta 30 cm (Lote 2) y hasta 20 cm y 1,5 m de profundidad (Lote 4) y rendimiento de maíz (kg.ha⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones ocurridas durante los ciclos del CC y del maíz estuvieron por debajo de las medias históricas. En el ciclo del CC todos los meses fueron deficitarios, contabilizándose 89,6 mm menos en dicho periodo. En el ciclo del maíz considerando fecha de siembra y madurez fisiológica (10-3-2022) precipitaron 374 mm, siendo 168 mm inferior de la media histórica. No obstante, las precipitaciones, fueron oportunas para la incorporación del fertilizante en estado de V6 dado que cinco días luego de la aplicación precipitaron 31 mm. También fueron oportunas en el periodo crítico precipitando 10,5 mm y 24 mm, previo y posterior a la floración respectivamente. Además, analizando el nivel de la napa freática se observó que en el Lote 2 no tuvo influencia durante todo el ciclo del maíz, dado que se ubicó por debajo de los 300 cm. En cambio, en el Lote 4 hubo influencia de la napa en los meses de noviembre y diciembre en donde estuvo a 182 y 230 cm de la superficie respectivamente, retirándose más allá de los 300 cm en enero y febrero. Las temperaturas



medias promedios durante el crecimiento de la VV fueron mayores a los promedios históricos. Las temperaturas medias promedios durante el ciclo del maíz fueron en todos los meses superiores al promedio de temperaturas medias históricas, y óptimas para el crecimiento del cultivo de maíz dado que se mantuvieron todos los meses entre 20 y 30°C, excepto en el mes de octubre. Además, hubo trece días durante el periodo crítico en que las temperaturas máximas superaron los 35 °C, siete antes de la floración y seis días luego de la floración, que, si bien pudo haber afectado la polinización, esto no se evidenció visualmente, observándose un buen cuaje de granos en las espigas. Para analizar el aporte de MS en el Lote 2, se particionó el aporte de VV+T por cultivo. Del análisis estadístico resultó significativa fecha de supresión*cultivo (Tabla 2A).

Tabla 2A: Materia seca (MS) (kg. ha⁻¹) según cultivo en Lote 2

Fecha de supresión	Trigo	Vicia villosa
16 de octubre	4590 a	2131 a
7 de octubre	4576 a	1021 b
28 de setiembre	3423 b	625 b
16 de setiembre	2708 c	427 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

En general, trigo tuvo siempre mayores aportes de MS que vicia. En cada cultivo hubo diferentes aportes de MS entre fechas. Para trigo, las últimas dos fechas fueron las de mayores aportes sin diferencias entre ellas, superando a las primeras fechas.

En vicia sólo se diferenció la última fecha de las demás, poniendo en evidencia el menor crecimiento de esta especie por la competencia que ejerce la gramínea.

Del análisis del aporte de MS total de VV+T (Lote 2) y VV (Lote 4) resultó significativa la interacción lote*fecha (Tabla 2B).

Tabla 2B: Materia seca (MS) (kg. ha⁻¹) por ensayo

Fecha de supresión	VV+T (Lote 2)	VV (Lote 4)
16 octubre	6725 a A	4256 a C
7 octubre	5596 a B	3742 b CDE
28 setiembre	4048 c CD	3278 c DEF
16 setiembre	3135 d EF	2863 d F

(*) Letras diferentes mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) para las medias de la interacción lote*fechas

(**) Letras diferentes minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) dentro de cada lote.

En el Lote 4, donde se implantó VV, se observó un aumento constante y significativo de la cantidad de MS en cada fecha respecto de la anterior (**). Adecuar densidades de siembra y utilizar fechas más tempranas que favorezcan a la vicia podría ser una forma de lograr un mejor equilibrio para el crecimiento y aporte de cada especie. Al comparar el aporte total de MS de cada lote se observa que no hay diferencias significativas en entre lotes para las dos primeras fechas, pero si para las dos últimas fechas a favor de VV+T respecto de VV (*).

En ambos experimentos se midió una disponibilidad significativamente mayor de N previo a la siembra en el tratamiento sin CC, sin diferencias significativas entre cada una de las fechas de supresión en el Lote 2 y una cantidad significativamente mayor de N en la primera fecha de supresión respecto de las posteriores en el Lote 4 en ambas profundidades (Tabla 3). Esa menor cantidad de N disponible en el suelo puede deberse a la absorción del mismo por el CC y/o a una menor disponibilidad de humedad para el proceso de mineralización en las parcelas con CC. La disponibilidad de N en los tratamientos con CC podría haber resultado insuficiente.



te para el normal crecimiento del maíz en algunos casos. En cuanto a las condiciones hídricas, se determinó el porcentaje de humedad superficial y el agua útil disponible hasta 1,5m de profundidad para cada uno de los ensayos evaluados. La humedad superficial (hasta 20 cm) en ambos sitios siempre fue superior en el barbecho respecto del tratamiento con CC, excepto en la última fecha en la que una precipitación de 46 mm tres días antes de la cuarta determinación hizo que se igualara la humedad superficial, siendo óptimas en ambos lotes y tratamientos (Figuras 2 y 3).

Tabla 3: disponibilidad de nitrógeno (N) previo a la siembra del maíz según lote y profundidad

Tratamiento	Kg de N.ha ⁻¹ (muestreo 16-10-2021)		
	Lote 2 30 cm	Lote 4 20 cm	Lote 4 150 cm
Testigo sin CC	59 a	85 a	167 a
Supresión 16-9-2021	27 b	15 b	27 b
Supresión 28-9-2021	20 b	8 c	18 c
Supresión 7-10-2021	10 b	6 c	17 c
Supresión 16-10-2021	10 b	4 c	8 c

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamientos LSD 5%

Figura 2: Humedad (%) 0-20 cm Lote 2

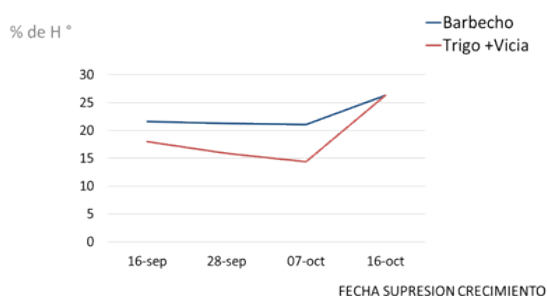
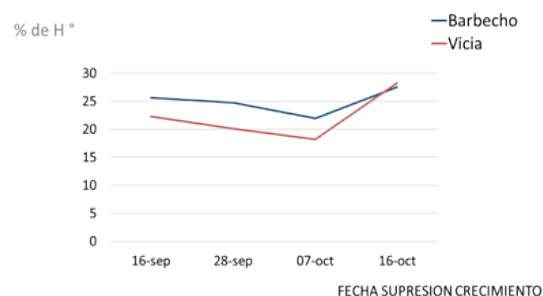


Figura 3: Humedad (%) 0-20 cm Lote 4



No obstante, en el Lote 2 tanto en el barbecho como en cada una de las tres primeras fechas de supresión del CC, la humedad estuvo por debajo de la óptima para la implantación del maíz, siendo óptima en la cuarta fecha de supresión tanto en el barbecho como en el CC debido a la precipitación ocurrida días antes de la determinación (Figura 2). En el Lote 4 ocurrió algo similar en las parcelas con CC, pero en las dos primeras fechas el porcentaje de humedad superficial fue óptimo (25 %) en el caso del barbecho (Figura 3). Esto se atribuye a la mayor cantidad de residuos en superficie del Lote 4. En cuanto al agua útil en el perfil del suelo (Tabla 4) se muestran resultados de la determinación realizada en cada lote el día de la supresión correspondiente, para 0-20 y 20-60 cm. Siendo las mismas en las que en cada fecha

Tabla 4: Agua útil (mm) por profundidad y fechas de supresión en Barbecho y Cultivo de Cobertura(CC) para ambos lotes.

Tratamiento		Profundidad de muestreo (cm)					
		Lote 2			Lote 4		
Fecha de supresión	Cultivo	0-20	20-60	0-150	0-20	20-60	0-150
16 setiembre	Barbecho	22 a	45 a	251 a	33 a	62 a	368 a
	CC	13 b	29 b	238 a	24 b	41 b	283 a
28 setiembre	Barbecho	21 a	44 a	238 a	30 a	57 a	346 a
	CC	8 b	25 b	205 b	18 b	32 b	299 b
7 de octubre	Barbecho	21 a	42 a	220 a	23 a	49 a	301 a
	CC	4 b	19 b	178 b	14 b	28 b	260 b
16 octubre	Barbecho	35 a	56 a	264 a	38 a	60 a	334 a
	CC	33 a	24 b	203 b	40 a	37 b	312 a

Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD 5%) entre barbecho y CC para cada fecha y profundidad por lote.

de determinación hubo diferencias significativas entre la parcela con barbecho y CC en cada lote, excepto en la última fecha donde de 0-20 cm de profundidad se igualaron los tratamientos en ambos lotes debido a una precipitación ocurrida previo a la determinación. Entre 60-100 y 100-150 cm de profundidad (datos sin mostrar) no hubo diferencias significativas en ningún caso, excepto en la última fecha en el Lote 2 (100-150 cm) y primera fecha Lote 4 (60-100 cm) donde en el barbecho superó en 15 y 7 mm respectivamente al tratamiento con CC. También se muestra el análisis de la sumatoria de agua útil de 0-150 cm donde se observaron diferencias significativas entre cultivos en las últimas tres fechas de muestreo en el Lote 2 y en la segunda y tercera del Lote 4. Este lote tuvo influencia de la napa freática que pudo haber equiparado el agua útil en las fechas sin diferencias. En síntesis, las diferencias ocurrieron principalmente hasta los 60 cm de profundidad en ambos lotes, superando el barbecho a la parcela con CC en cada momento de la supresión desde el 16 de setiembre al 16 de octubre en 25, 32, 40, 34 mm en el Lote 2 y en 30, 37, 30 y 21 mm en el Lote 4. A su vez, en el Lote 4 se realizó, en el día correspondiente a la última fecha (tratamiento 5), la determinación de agua útil hasta 150 cm de profundidad en todas las demás fechas de muestreo (datos no mostrados) y observándose solo claras diferencias de 20 a 60 cm donde la parcela sin cultivo de cobertura supero en 15, 16, 18 y 23 mm de agua útil a los tratamientos 3, 2, 4 y 5 respectivamente.

Rendimientos

Considerando las escasas precipitaciones ocurridas durante el ciclo, los rendimientos obtenidos fueron excelentes. En promedio, los tratamientos fertilizados (C/N) tuvieron rendimientos de 14871 (Lote 2) y 15001 (Lote 4) kg. ha⁻¹, significativamente mayores que los no fertilizados (S/N) 11279 (Lote 2) y 11773 (Lote 4) kg. ha⁻¹.



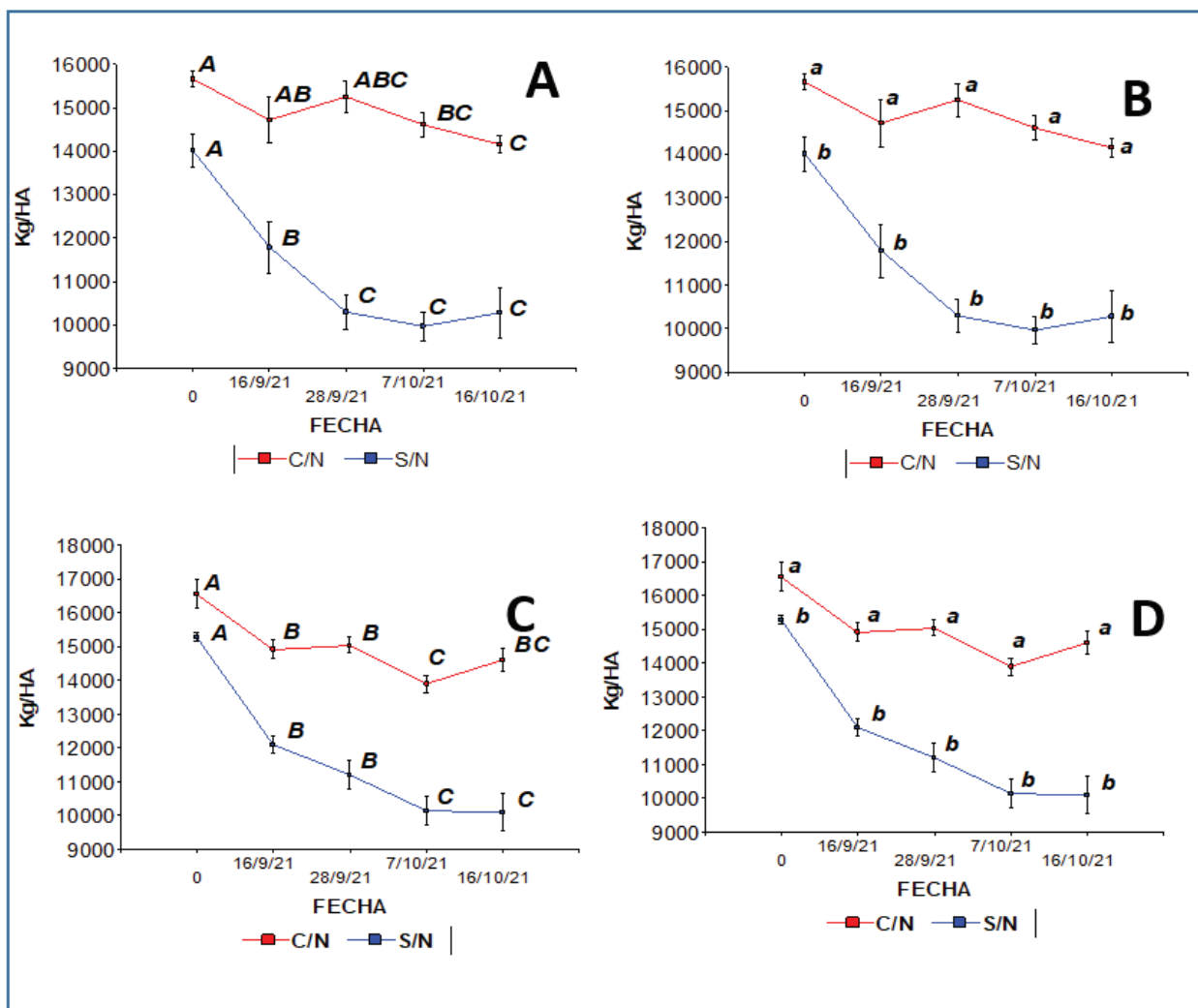


Figura 6: comparación de rendimientos por fecha de supresión del CC y por fertilización.

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD 5%) entre fechas de supresión (A: Lote 2 y C: Lote 4) Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (LSD 5%) entre tratamientos de fertilización por fecha (B: Lote 2 y D: Lote 4).

Hubo diferencias significativas de la interacción de N por fecha de supresión. En el Lote 2 los tratamientos con CC fertilizados mantuvieron el mismo rendimiento que el barbecho hasta la segunda fecha de secado, mientras que los tratamientos con CC no fertilizados en ningún caso pudieron igualar el rendimiento del maíz implantado sobre barbecho (Fig.6A), lo que demuestra que la menor cantidad de N previo a la siembra, observada en los tratamientos con CC (Tabla 5), también afectó el rendimiento. En el Lote 4 ningún tratamiento logró el rendimiento del barbecho sin CC, aunque en los tratamientos fertilizados los rendimientos disminuyeron en menor proporción (rendimiento barbecho 100% > 1ª fecha supresión 91% > 2ª fecha de supresión 90 % > 3ª fecha supresión 88 % > 4ª fecha supresión 84%) que los no fertilizados (rendimiento barbecho 100% > 1ª fecha supresión 79% > 2ª fecha de supresión 73 % > 3ª fecha supresión 66 % > 4ª fecha supresión 66%). Sugiriendo al igual que en el Lote 2 que, si bien la menor disponibilidad hídrica pudo haber afectado el rendimiento del maíz en los tratamientos con CC, también los afectó la menor cantidad de N disponible medido previo a la siembra (Fig. 6C). Al comparar las fechas de supresión con y sin fertilizantes en ambos lotes en todas las fechas de supresión, considerando también el barbecho con y sin fertilización, se observa que en todos los casos los tratamientos fertilizados tuvieron un rendimiento significativamente mayor (Figuras 6B y 6D).

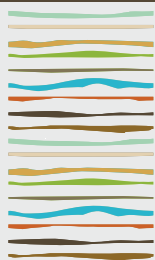
CONCLUSIONES

La consociación VV+T logró una mayor cantidad de MS que la VV en las fechas tardías de supresión. La vicia fue perjudicada por el trigo sugiriendo adecuar fechas y densidades de implantación para lograr un aporte más equilibrado de ambas especies. La disponibilidad superficial de N fue afectada por el CC en ambos lotes respecto del barbecho sin cobertura, no hallándose mayores diferencias entre fechas de supresión. La cantidad de N previo a la siembra determinada en las parcelas con CC resultaría insuficiente para un óptimo crecimiento inicial del maíz, sugiriendo la necesidad de adecuar la cantidad de N en la fertilización de arranque durante la implantación. La humedad superficial en los tratamientos con CC si bien fue más afectada a medida que se atrasó la supresión, en ningún caso fue óptima para la implantación del cultivo de cosecha sin la ocurrencia de una precipitación previa. El agua útil en el perfil del suelo previo a la siembra fue mayor sobre barbecho que sobre CC. El rendimiento del maíz sobre CC fue menor al obtenido sobre barbecho en todos los casos cuando no se fertilizó con N. En cambio, cuando se fertilizó, el descenso del rendimiento fue menor, logrando en algunos casos igualarse con el obtenido sobre barbecho. No se observaron mayores beneficios al adelantar la fecha supresión de crecimiento del CC para las variables medidas antes de la siembra del maíz, pero sí sobre el rendimiento del maíz. Analizando el pronóstico climático se podría evaluar adelantar la fecha de supresión del crecimiento de manera de obtener un mejor resultado cuando se utilizan CC.

BIBLIOGRAFÍA

- Corak, SJ; WW Frye; MS Smith. 1991. Soil & Water Management & Conservation Legume Mulch and Nitrogen Fertilizer Effects on Soil Water and Corn Production
- 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>
- Gudelj VJ; P Vallone; O Gudelj; C Galarza; B Masiero. 2012. Efecto de la utilización de vicia como cobertura y de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de maíz en dos ciclos consecutivos. Congreso ISTRO 2012. Montevideo, Uruguay, 24-28 de setiembre de 2012.
- Gudelj, V; P Vallone; C Galarza; O Gudelj; B Masiero. 2010. Efecto de cobertura con vicia y fertilización nitrogenada sobre cultivo de maíz. IX Congreso Nacional de Maíz-Simposio de Sorgo. Rosario, 17-19 de noviembre de 2010.
- Restovich, SB; AE Andriulo; C Améndola. 2008. Definición del momento de secado de diferentes cultivos de cobertura en la secuencia soja-maíz. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes (SL), Argentina 13-16 de mayo de 2008.





DISTRIBUCION TOPOGRAFICA DEL P EXTRACTABLE EN UN SUELOS FRANCO ARENOSO DEL OESTE BONAERENSE

Heredia, Olga S.,¹, Chirkes J.¹, Sagardoy L.¹, Marquez Molina J¹.

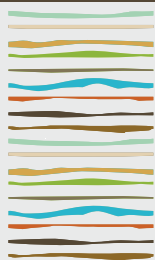
¹ Facultad de Agronomía de la UBA; Av.San Martín 4453. CABA. heredia@agro.uba.ar

RESUMEN

El P es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, calidad de los alimentos y es importante desde el punto de vista ambiental. Es un nutriente crítico en cuanto a su producción mundial ya que sus reservas son escasas. Conocer su disponibilidad es importante para determinar la aplicación de una dosis de fertilizante adecuada. En este punto es importante conocer la variabilidad del elemento para realizar un muestreo adecuado. El objetivo de este trabajo fue determinar su variabilidad espacial en un Hapludol del Oeste de Bs. As. Se realizó una grilla de 8 hileras y 12 filas distanciadas 10 m entre sí, en un gradiente topográfico. Las muestras se tomaron de 0-20 cm de profundidad y se determinó P extractable por Bray&Kurtz 1, como medidas complementarias se determinó pH, CE y Cox. El suelo no es salino, presentó una CE muy baja pero con una variabilidad moderada de 26,2%, el pH varió de 4,7 a 5,9, siendo la mediana del 5,49, variando desde moderada a fuertemente ácido y un CV muy bajo del 3,9%. En cuanto al Cox, el promedio fue de 1,04% con un CV 17,8%. El P presentó una fuerte variabilidad que varió de 0,52 a 43,7 mg.kg⁻¹ con un CV muy alto del 61,3, estos valores nos indican que existen zonas de muy baja disponibilidad y otras de muy buena, considerando la mediana (9.41mg.kg⁻¹) podríamos decir que el suelo es deficiente en el elemento, su variabilidad coincide con trabajos anteriores. Es importante para P realizar un muy buen muestreo y diagnóstico del estado nutricional del suelo, tomar muestras con mayor frecuencia por hectárea que para el resto de los elementos analizados, de lo contrario según donde tomemos la muestra nos indicaría que deberíamos hacer una fuerte fertilización y en otras no fertilizar, llevándonos a un serio error de diagnóstico. Hubo una correlación negativa entre el pH y el P, con un $r = -0.30$ $p < 0,01$. Otra conclusión es que la variabilidad de los elementos evaluados no está relacionada con la topografía del terreno.

Agradecimiento al proyecto UBACyT 20020170100396BA.

Palabras clave: Hapludol, fósforo extractable.



FERTILIZACIÓN AZUFRADA EN LA SECUENCIA CEBADA/CULTIVO DE SEGUNDA: ESTADO NUTRICIONAL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANOS

Iglesias, M.P.¹, W.D. Carciochi^{1,2,*}, P.A. Barbieri^{1,2}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}

¹ Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) – INTA);

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;

* Ruta Provincial 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, waltercarciochi@hotmail.com

RESUMEN

La deficiencia de azufre (S) es cada vez más generalizada en el sudeste bonaerense. Se ha evaluado la respuesta en rendimiento a S en trigo, maíz, soja y girasol, pero aún es escasa la información sobre la respuesta en cebada y su efecto residual en cultivos de segunda. Los objetivos del trabajo son i) evaluar el estado azufrado y la respuesta en rendimiento a la fertilización con S en la secuencia cebada/soja o maíz de segunda y ii) analizar el impacto del S sobre la calidad de los granos de cebada. Se realizaron cuatro ensayos en distintas localidades del sudeste bonaerense donde se evaluaron tres niveles de fertilización azufrada (0, 10 y 20 kg S ha⁻¹). En el estadio de un nudo de la cebada se determinó el índice de verdor (IV) y el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), y a la cosecha el contenido de S-SO₄⁻² (0-60 cm) en suelo. A la madurez fisiológica de los cultivos se determinó el rendimiento y en cebada se analizaron parámetros de calidad de los granos (proteína y calibre). Los resultados obtenidos fueron: i) el IV y el NDVI fueron capaces de detectar variaciones en la disponibilidad de S en estados tempranos de la cebada, ii) la fertilización azufrada incrementó el rendimiento y el calibre y redujo la proteína de los granos, manteniendo los parámetros de calidad dentro del rango exigido por la industria de cebada cervecera y iii) la fertilización azufrada incrementó la disponibilidad de S-SO₄⁻² (0-60 cm) a la siembra de los cultivos de segunda. La fertilización azufrada a la siembra de la cebada mejora el rendimiento manteniendo la calidad de los granos y genera un efecto residual sobre los cultivos de segunda.

Palabras clave: proteína, calibre, residualidad de azufre.

INTRODUCCION

El azufre (S) es el tercer nutriente que limita el rendimiento de los cultivos, luego del nitrógeno (N) y el fósforo (P). En la actualidad, se han reportado numerosos casos de deficiencia de S en áreas cultivadas a nivel mundial, incluida la región pampeana argentina (Echeverría, et al., 2015). Suelos de textura gruesa, bajo contenido de materia orgánica, prolongada historia agrícola, barbechos cortos y ambientes de alto potencial, presentan una alta probabilidad de deficiencia de S (Carciochi, et al., 2015). En el último tiempo, se ha observado una disminución más generalizada de la disponibilidad de S en el sudeste bonaerense, lo cual motiva el estudio de la respuesta a este nutriente en los cultivos extensivos.

Se han desarrollado métodos de diagnóstico para determinar situaciones en las que se requiera la adición de S. Entre ellos, el índice de verdor (IV), a través del medidor de clorofila, y el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), determinado mediante GreenSeeker, serían herramientas promisorias para caracterizar el estado azufrado de los cultivos (Divito et al., 2015; Mateos et al., 2020). También se ha generado información acerca de posibles respuestas en rendimiento al agregado de S para maíz (*Zea mays* L.), soja (*Glycine*



max L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) (Divito et al., 2015; Carciochi et al., 2016, 2019). Sin embargo, pocos trabajos evalúan la respuesta en rendimiento a S en cebada (*Hordeum vulgare* L.) y su efecto residual para el cultivo de segunda posterior.

Se sabe que el S no sólo afecta el rendimiento sino también la calidad de los granos (Prystupa et al., 2016a y b). Las normas de calidad para la comercialización de cebada cervecera establecen que el contenido de proteína debe encontrarse entre 9,5 y 13% y presentar un calibre superior al 85% (SAGPyA, 2013). Por este motivo, es de interés evaluar el posible efecto del S sobre estos parámetros.

Los objetivos del presente trabajo son i) evaluar el estado azufrado y la respuesta en rendimiento a la fertilización con S en la secuencia cebada/soja o maíz de segunda y ii) analizar el impacto del S sobre la calidad de los granos de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña agrícola 2021-2022 se realizaron cuatro experimentos bajo siembra directa y en secano en distintas localidades del sudeste bonaerense (Tandil, Miramar, Balcarce y Pieres). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Cada unidad experimental tuvo un tamaño de 7,5 x 15 m. Se evaluaron 3 tratamientos correspondientes a dosis de 0, 10 y 20 kg S ha⁻¹ aplicados al voleo en superficie en el estadio de dos hojas de la cebada (Z_{12} , Zadoks et al., 1974) y bajo la forma de sulfato de calcio (18,5% S y 23,3% Calcio). Todas las unidades experimentales se fertilizaron con 30 kg P ha⁻¹ y 200 kg N ha⁻¹. En el caso del maíz de segunda, se aplicaron 100 kg N ha⁻¹.

Se realizó un análisis de suelo a la siembra de la cebada con la finalidad de caracterizar cada sitio (Tabla 1). A la cosecha de la cebada se determinó en cada parcela el contenido de $S-SO_4^{-2}$ (0-60 cm) para determinar la residualidad de S para el cultivo de segunda.

Tabla 1. Variedad de cebada y algunas variables edáficas de los sitios experimentales (0-20 cm: clase textural, pH, materia orgánica (MO) y nitrógeno mineralizado en incubación anaeróbica (Nan); 0-60 cm: contenido de $S-SO_4^{-2}$).

Sitio	Variedad de cebada	Cultivo de segunda	Clase textural ¹	pH	MO (g kg ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	$S-SO_4^{-2}$ (kg ha ⁻¹)
Tandil	Montoya	Soja	Fr-Ac	5.5	48.0	57.2	37.8
Miramar	Andreia	Soja	Fr-Ac-Ar	5.8	63.0	64.4	35.6
Balcarce	Andreia	Maíz	Fr-Ac-Ar	5.3	54.0	47.0	35.5
Pieres	Overture	-	Fr-Ac-Ar	5.6	47.3	56.6	33.7

¹ Fr-Ac, franco arcilloso; Fr-Ac-Ar, franco arcillo arenoso.

En el estadio de un nudo (Z_{31}) de cebada se determinó el IV mediante el medidor de clorofila N-tester (Yara, Dülmen, Alemania) y el NDVI con el GreenSeeker (Ntech Industries Inc., Ukiah, CA.). Por cuestiones climáticas, el cultivo de segunda se sembró en tres de los cuatro sitios (maíz en Balcarce y soja en Miramar y Tandil). A madurez fisiológica de los cultivos se determinó el rendimiento mediante cosecha manual de cada parcela y se determinaron los componentes del rendimiento (número y peso de los granos). Se cuantificó la concentración de N en granos de cebada mediante método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y se multiplicó por el factor 6,25 para determinar la concentración de proteína. El calibre de los granos se determinó mediante batería de tamices según SAGyP (2013) y se expresó como porcentaje en peso de los granos retenidos en el tamiz de 2,5 mm.

Para cada variable (IV, NDVI, rendimiento y componentes, parámetros de calidad de grano y $S-SO_4^{-2}$ residual) se evaluó la interacción entre sitio y dosis de S mediante Análisis de Varianza empleando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2008). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05. Para la soja de segunda se realizó el mismo análisis que en cebada, mientras que en maíz sólo se evaluó el efecto de la



dosis de S. También se realizaron regresiones lineales entre variables de interés.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones meteorológicas

Las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de la cebada rondaron entre 233 y 322 mm, lo cual representa entre 57 y 70% de las precipitaciones históricas para ese periodo. Principalmente se dieron bajas precipitaciones durante noviembre y diciembre, lo cual puede haber afectado el llenado de los granos. Respecto a los cultivos de segunda, las precipitaciones durante su ciclo fueron similares a las históricas, pero se registró una helada el 20 de marzo que pudo haber afectado el rendimiento de los cultivos.

Estado nutricional de la cebada

No se observó interacción sitio x dosis de S para ninguno de los índices del estado azufrado, pero sí hubo efecto de la dosis de S (Tabla 2). El IV se incrementó 10% y el NDVI 13% por el agregado de S, sin observarse diferencias entre la dosis de 10 y 20 kg S ha⁻¹ (Figura 1).

Tabla 2. ANOVA para el efecto del sitio, dosis de S y su interacción sobre el índice de verdor (IV), índice normalizado de diferencias de vegetación (NDVI), rendimiento en grano y sus componentes [peso de mil granos (PMG) y número de granos m² (NG)], calibre y concentración de proteína en los granos de cebada y contenido de S-SO₄⁻² en el suelo a la cosecha del cultivo.

Fuente de variación	IV	NDVI	Rendimiento	PMG	NG	Calibre	Proteína	S-SO ₄ ⁻²
Sitio	< 0,001	0,098	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	< 0,001
Dosis S	< 0,001	0,010	0,004	0,003	0,090	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Sitio x Dosis S	0,154	0,972	0,469	0,444	0,605	< 0,001	0,062	0,183

Estos resultados confirman que tanto el IV como el NDVI permiten monitorear el estado azufrado en cebada, así como se ha propuesto para trigo (Mateos, et. al., 2020) y soja (Divito, et. al., 2015), ya que uno de los síntomas más comunes de deficiencia a S es la disminución de la intensidad del color verde. El IV se relacionó lineal y positivamente con el rendimiento de cebada (p=0,013), sin observarse relación entre éste último y el NDVI (p=0,170). Por lo tanto, ambos índices son capaces de detectar diferentes disponibilidades de S en estadios tempranos de la cebada como Z₃₁, donde aún es posible revertir mediante fertilización una posible deficiencia del nutriente.

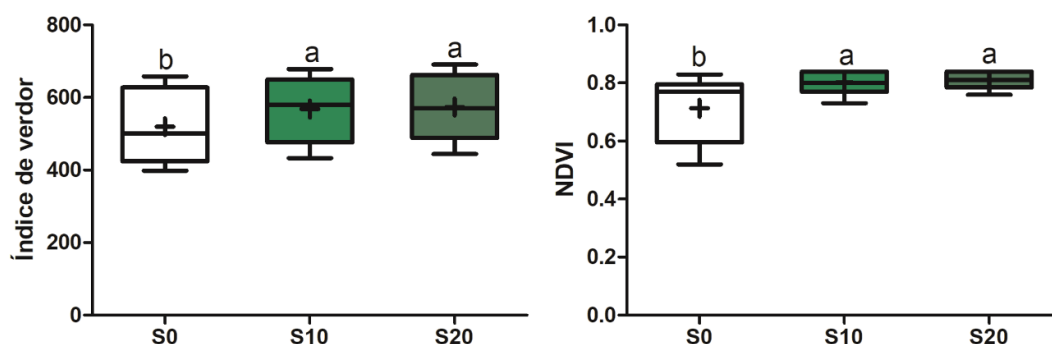


Figura 1. Índice de verdor e índice normalizado de diferencias de vegetación (NDVI) determinados en el estadio de un nudo de cebada para las tres dosis de azufre (S): 0 (S0), 10 (S10) y 20 kg S ha⁻¹ (S20). Los diagramas de caja (n=12) representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior). La línea dentro de la caja representa la mediana y el símbolo "+" muestra la media. Letras iguales entre dosis de S indican diferencias no significativas (p<0,05).

Rendimiento de cebada

No hubo interacción entre sitio y dosis de S en el rendimiento de cebada (Tabla 2). En promedio entre sitios, la fertilización con S incrementó el rendimiento en 692 kg ha⁻¹ (9,5%), sin observarse diferencias entre las dosis de 10 y 20 kg S ha⁻¹ (Figura 2). Por lo tanto, la aplicación de 10 kg S ha⁻¹ sería suficiente para corregir

la deficiencia de S. La eficiencia de uso promedio para la dosis de 10 kg S ha⁻¹ fue de 54 kg grano kg S⁻¹, lo cual supera la relación insumo: producto de 6:1. Estos resultados sugieren que la respuesta a la fertilización azufrada es cada vez más frecuente, lo cual difiere de lo publicado por Prystupa et al. (2016a), quienes no detectaron deficiencias generalizadas de S en cebada. El incremento en rendimiento ante el agregado de S denota la importancia de diagnosticar correctamente la disponibilidad de este nutriente y elaborar una estrategia de fertilización acorde a las necesidades del cultivo.

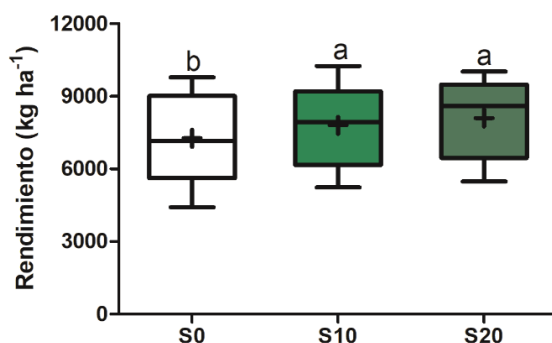


Figura 2. Rendimiento en grano de cebada para las tres dosis de azufre (S): 0 (S0), 10 (S10) y 20 kg S ha⁻¹ (S20). Los diagramas de caja (n=12) representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior). La línea dentro de la caja representa la mediana y el símbolo "+" muestra la media. Letras iguales entre dosis de S indican diferencias no significativas ($p < 0,05$).

Calidad de los granos de cebada

No se observó interacción entre sitio y dosis de S para la concentración de proteína en grano, pero sí para el calibre (Tabla 2). En todos los casos, la mayoría de los valores de proteína y calibre se encontraron dentro del rango requerido por la industria de la cebada cervecera (Figura 3). En promedio entre sitios, la concentración de proteína disminuyó con la fertilización azufrada de 11,3% a 10,2%. La concentración de proteína se relacionó lineal y negativamente con el rendimiento en grano (proteína=12,96-0,0003*rendimiento; $r^2=0,33$; $p < 0,001$, $n=36$). Por su parte, los valores promedio de calibre fueron 86,8, 91,3 y 89,5% para S0, S10 y S20, respectivamente. Sólo en los sitios Balcarce y Pieres hubo efecto significativo de la dosis de S sobre el calibre, observándose los menores valores en el testigo, con calibres de 83,0 y 74,6%, respectivamente. Al igual que los resultados obtenidos por Prystupa et al. (2016a y b), la disminución en la concentración de proteína se debería a un efecto dilución producto del aumento en rendimiento. A su vez, las mejoras en el calibre se asociaron positiva y linealmente al PMG ($r^2=0,44$; $p < 0,01$). A pesar de que los parámetros se encontraron dentro de los límites aceptados por la industria, sería recomendable acompañar la fertilización azufrada con niveles óptimos de N para evitar la caída en los porcentajes de proteína.

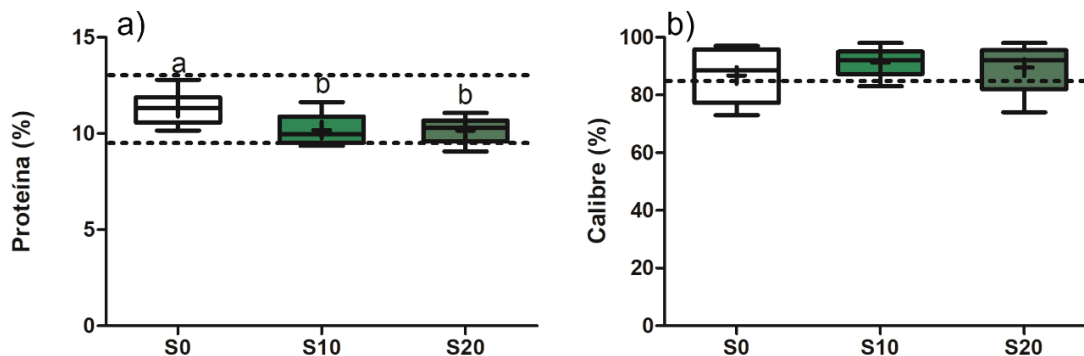


Figura 3. Concentración de proteína (a) y calibre (b) de los granos de cebada para las tres dosis de azufre (S): 0 (S0), 10 (S10) y 20 kg S ha⁻¹ (S20). Los diagramas de caja (n=12) representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior). La línea dentro de la caja representa la mediana y el símbolo "+" muestra la media. Letras iguales entre dosis de S indican diferencias no significativas ($p < 0,05$). Las líneas punteadas del panel (a) indican los límites de proteína requeridos por la industria (9,5 y 13 %) y la del panel (b) el límite de calibre (85%).

Residualidad de S-SO_4^{-2}

El contenido de S-SO_4^{-2} (0-60 cm) a la cosecha de la cebada fue superior ante el agregado de S, observándose en promedio una diferencia respecto al testigo de 4,4 y 3,6 kg $\text{S-SO}_4^{-2} \text{ ha}^{-1}$ (0-60 cm) para S10 y S20, respectivamente (Figura 4). No se observaron diferencias significativas entre las dosis de 10 y 20 kg S ha^{-1} . La adición de S generó residualidad de S-SO_4^{-2} , aumentando la disponibilidad del nutriente para el cultivo siguiente, lo que se podría traducir en incrementos de rendimiento.

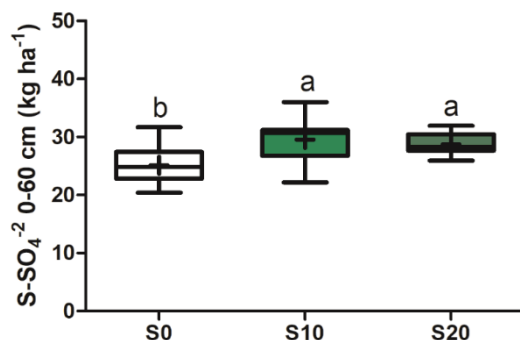


Figura 4. Contenido de S-SO_4^{-2} en el suelo a la cosecha de la cebada para las tres dosis de azufre (S): 0 (S0), 10 (S10) y 20 kg S ha^{-1} (S20). Los diagramas de caja ($n=12$) representan los percentiles 5 y 95 (bigotes), 25 (borde inferior) y 75 (borde superior). La línea dentro de la caja representa la mediana y el símbolo "+" muestra la media. Letras iguales entre dosis de S indican diferencias no significativas ($p < 0,05$).

Rendimiento de los cultivos de segunda

Se observaron incrementos en el rendimiento de maíz debido a la aplicación de S. Las diferencias fueron significativas entre la dosis de 20 kg S ha^{-1} y el testigo (Figura 5). En soja, sólo aumentó el rendimiento con la dosis de 10 kg S ha^{-1} . Los aumentos de rendimiento observados se explicarían por el efecto residual de la fertilización azufrada, lo cual se vio reflejado en parte en la disponibilidad de S-SO_4^{-2} a la siembra de los cultivos de segunda.

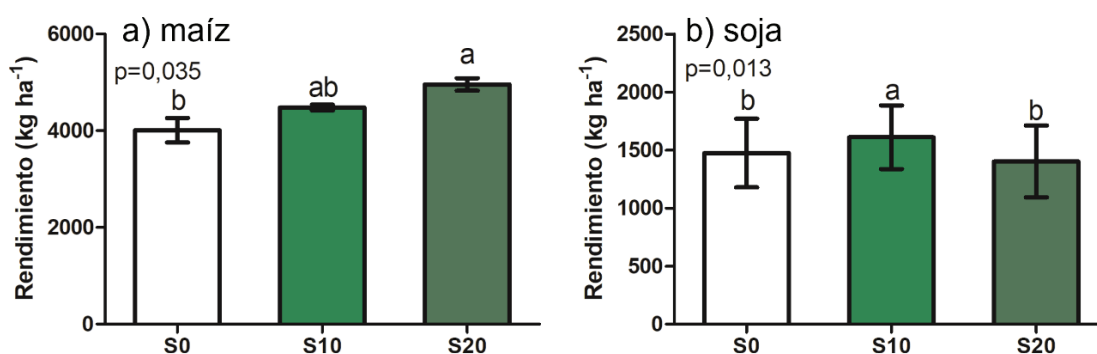


Figura 5. Rendimiento de maíz (a) y soja (b) para las tres dosis de azufre (S): 0 (S0), 10 (S10) y 20 kg S ha^{-1} (S20). Letras iguales entre dosis de S indican diferencias no significativas ($p < 0,05$). Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Los datos de maíz provienen de un sitio y los de soja son promedio de dos sitios.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió demostrar que la respuesta a la fertilización azufrada en el cultivo de cebada es cada vez más frecuente. Por este motivo, es necesario contar con métodos de diagnóstico como el índice de verdor y el índice de vegetación diferencial normalizado que son capaces de detectar variaciones en la disponibilidad de S en estados tempranos del cultivo. La fertilización azufrada mejora el rendimiento de cebada y permite lograr una calidad comercial aceptable, siempre y cuando se complemente el aporte de azufre con niveles adecuados de nitrógeno que no generen reducciones de la concentración de proteína en grano.



Por último, el agregado de azufre mejora la disponibilidad de S-SO_4^{-2} a la siembra de los cultivos de segunda explicando en parte el incremento en sus rendimientos.

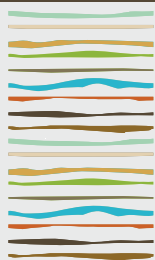
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Nutrien Ag Solutions por el financiamiento y a los dueños de los establecimientos donde se realizaron los ensayos.

BIBLIOGRAFIA

- Bremner, J.M.; Mulvaney, Y.C. 1982. Nitrogen total. In: Page, A.L. (eds). Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. Agron. Monog 9, pp. 595-624.
- Carciochi, W. D.; G. A. Divito; N. I. Reussi Calvo & H. E. Echeverría. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina?. IAH 18: 22-28.
- Carciochi, W.D., N. Wyngaard, G.A. Divito, N.I. Reussi Calvo, M.L. Cabrera, et al. 2016. Diagnosis of sulfur availability for corn based on soil analysis. Biol. Fertil. Soils 52(7): 917–926.
- Carciochi, W.D., J. Mateos, G.A. Divito, F. Mateos Inchauspe, and H.R. Sainz Rozas. 2019. Sulfur Mineralization: A Key Process for Diagnosing Its Deficiency in Wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 83(5): 1553–1563.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2008. InfoStat, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Divito, G.A., H.E. Echeverría, F.H. Andrade, and V.O. Sadras. 2015. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N: S determinations in leaf, shoot and seed. F. Crop. Res. 180: 167–175.
- Echeverría, H.E., N.I. Reussi Calvo & A. Pagani. 2015. Azufre. En: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 287-315.
- Mateos, J., W. Carciochi, G. Divito, F. Mateos Inchauspe, H. Sainz Rozas. 2020. Azufre en trigo ¿Fertilizamos? Visión Rural. 132:15-17.
- Prystupa, P., G.N. Ferraris, L. Ventimiglia, T. Loewy, L. Couretot, et al. 2016a. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. Inf. Agronómicas Hisp. 21: 7–14.
- Prystupa, P., G.N. Ferraris, L. Ventimiglia, T. Loewy, L. Couretot, et al. 2016b. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. II. Efectos sobre el calibre y los componentes del rendimiento. Inf. Agronómicas Hisp. 22: 15–19.
- SAGPyA. (2013). Norma de calidad para la comercialización de cebada cervecera. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolución-27-2013-223950/texto>
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang & C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.





PERFIL DE NITRÓGENO EN EL CANOPEO DE MAÍZ: IMPLICANCIAS EN EL DIAGNÓSTICO

Iglesias, M.P.¹, W.D. Carciochi^{1,2,*}, N.E. Maltese^{2,3}, A.M. Lapaz^{1,2}, O.P. Caviglia^{2,3}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}

¹ Unidad Integrada Balcarce (FCA-INTA);

² CONICET; ³ FCA (UNER)

* Ruta Provincial 226, km 73.5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, waltercarciochi@hotmail.com

RESUMEN

Se han desarrollado y calibrado métodos de diagnóstico de nitrógeno (N) en maíz basados en mediciones en la planta, como el índice de verdor (IV) y el índice de nutrición nitrogenada (INN). Debido a que los híbridos modernos absorben post-floración hasta un 40% del N total requerido, es necesaria la evaluación de dichos métodos en estadios avanzados (floración, R₁). Estos podrían ser mejorados al conocer la distribución vertical del N en el canopeo. El objetivo del trabajo es analizar diferencias de IV entre tratamientos de fertilización nitrogenada en distintos estratos del canopeo del cultivo de maíz y su relación con la disponibilidad de N, el INN y el rendimiento en grano. Se realizaron cinco ensayos en la región pampeana argentina donde se evaluaron cuatro tratamientos: i) testigo sin N, ii) dosis de N media fraccionada 60% en emergencia (V_E) y 40% en ocho hojas desarrolladas (V₈), iii) dosis media en V_E y iv) dosis no limitante de N. En R₁ se midió el IV en cinco estratos: hoja de la espiga (H_E) y cuarta y segunda hoja por encima y por debajo de la H_E. Además, se calculó el INN y a madurez se determinó el rendimiento en grano. La distribución vertical de N en el canopeo no fue homogénea, variando el IV desde 44,5 para H_{E+4} hasta 53,6 para H_{E-4}. Los estratos inferiores (debajo de H_E) mostraron las mayores diferencias de IV entre tratamientos de N. Además, el IV en dichos estratos resultó ser el mejor indicador de la disponibilidad de N (R² ≥ 0,37) y el INN (R² ≥ 0,64); mientras que el de H_E explicó en mayor medida el rendimiento relativo del cultivo (R²=0,75). La información generada es de utilidad para el desarrollo de métodos de diagnóstico basados en lecturas a nivel del canopeo en estadios avanzados.

Palabras clave: índice de verdor, índice de nutrición nitrogenada, nitrógeno disponible.

INTRODUCCION

El nitrógeno (N) es el nutriente que limita en mayor medida el rendimiento de los cultivos, incluido el maíz (*Zea mays* L.). Debido a esto se han desarrollado y calibrado métodos de diagnóstico para determinar su disponibilidad. Algunos de ellos se basan en el análisis de muestras de suelo, como la determinación de N-NO₃⁻ a la siembra; o bien en el análisis de material vegetal, como el índice de verdor (IV) y el índice de nutrición nitrogenada (INN) (Sainz Rozas *et al.*, 2019; Ziadi *et al.*, 2008). El IV es un método rápido, no destructivo y fácil de utilizar, que se relaciona estrechamente con el contenido de clorofila y de N en las hojas. Generalmente se lo utiliza para calcular el índice de suficiencia de N (ISN) que relaciona el IV del sector de interés con el IV de una zona de suficiencia de N. Por su parte, el INN resulta del cociente entre la concentración de N de la biomasa aérea del cultivo y la concentración crítica de N para esa biomasa; ésta última obtenida a partir de la curva de dilución crítica (Gastal *et al.*, 2015).

Los híbridos modernos de maíz absorben post-floración hasta un 40% del total del N requerido a madurez fisiológica, lo cual amplía la ventana de aplicación de dicho nutriente en ambientes sin restricciones hídricas (Fernández *et al.*, 2020). Esto genera la necesidad de validar métodos de diagnóstico de N que han sido utilizados en estadios tempranos (seis y diez hojas desarrolladas, V₆ y V₁₀, Ritchie y Hanway, 1982) (Sainz Rosas



et al., 2019), en estadios más avanzados del cultivo (floración, R_1). A su vez, el N es un nutriente móvil en la planta, por lo que su distribución en el canopeo de los cultivos puede no ser homogénea. Así, conocer la variación de N en el canopeo de maíz ayudará al desarrollo de métodos de diagnóstico basados en los análisis de material vegetal no destructivos. El objetivo del trabajo es analizar diferencias de IV entre tratamientos de fertilización nitrogenada en distintos estratos del cultivo de maíz y su relación con la disponibilidad de N, el INN y el rendimiento en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2020/2021 se realizaron un total de cinco experimentos a campo bajo siembra directa y en secano: Sitio 1 (Vedia, norte bonaerense), Sitio 2 y 3 (Balcarce, sudeste bonaerense) y Sitio 4 y 5 (Aldea San Antonio, oeste de Entre Ríos). En Balcarce y Aldea San Antonio se utilizaron dos fechas de siembra, una temprana y otra tardía (Tabla 1). El diseño experimental se realizó en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, contando cada unidad experimental con un tamaño de 6 surcos x 12 m. El híbrido de maíz empleado fue Dekalb 7620 en el sitio 1, KM3916 VIP3 en el sitio 2 y 3, y Next 22.6 PWU en el sitio 4 y 5. Se evaluaron cuatro tratamientos que combinaron dosis y momento de aplicación de N: sin N (N_0), dosis media fraccionada 60% en la emergencia del cultivo (V_E) y 40% en ocho hojas desarrolladas (V_8) ($NV_E + V_8$), dosis media aplicada en V_E (NV_E) y dosis no limitante de N (N_{full}). En el tratamiento $NV_E + V_8$ y NV_E , las dosis utilizadas fueron de 120 kg N ha⁻¹ en el sitio 1, 70 kg N ha⁻¹ en el sitio 3 y 90 kg N ha⁻¹ en el sitio 2, 4 y 5; mientras que en el N_{full} fueron de 240 kg N ha⁻¹ en los sitios 1, 2, 4 y 5 y de 230 kg N ha⁻¹ en el sitio 3. La fuente de N utilizada fue urea en sitios 1, 2 y 3 y nitrato de amonio calcáreo en sitios 4 y 5; y se aplicó al voleo en cobertura total.

Tabla 1. Variables edáficas (0-20 cm: pH, materia orgánica (MO) y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) y 0-60 cm: $N-NO_3^-$) y condiciones meteorológicas (precipitaciones totales y temperatura media durante el ciclo del maíz) de los sitios experimentales.

Si- tio	pH	MO (g kg ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	$N-NO_3^-$ 0-60 cm (kg ha ⁻¹)	Fecha de siem- bra	Pp. Totales (mm)	Temp. media (°C)
1	5,2	34	60	52	5/10/2020	366,9	20,9
2	5,4	53	42	47	31/10/2020	557,1	19,5
3	5,2	57	62	46	3/12/2020	378,3	19,6
4	7,7	35	90	28	16/09/2020	638,6	21,5
5	6,6	-	91	112	18/12/2020	689,3	22,8

En presiembra se aplicó fósforo y azufre a todas las unidades experimentales para evitar que estos nutrientes limiten el rendimiento. A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo para la determinación de pH, materia orgánica y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis en superficie (0-20 cm) y nitrato ($N-NO_3^-$) en el perfil (0-60 cm) (Tabla 1). En el estadio de R_1 se realizaron mediciones del IV con SPAD-502 (Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL) en cinco estratos del canopeo de maíz: hoja de la espiga (H_E), cuarta y segunda hoja por encima de la H_E (H_{E+4} y H_{E+2} , respectivamente), segunda y cuarta hoja por debajo de la H_E (H_{E-2} y H_{E-4} , respectivamente). A partir de las lecturas de IV, se determinó por estrato el ISN de cada tratamiento como el cociente entre la lectura de la parcela de interés y la de referencia (parcela de suficiencia de N, N_{full}). A su vez, se tomaron muestras de ocho plantas por parcela para determinar la biomasa aérea y la concentración de N de la misma. Con el dato de biomasa aérea (W) se calculó la concentración crítica de N (%Nc) a partir de la curva de dilución crítica (Ecuación 1, Plénet y Lemaire, 1999). Posteriormente, se determinó el INN como el cociente entre la concentración de N de la biomasa aérea en el estadio de R_1 y la %Nc previamente calculada.

$$\%Nc = 3,4W^{0,37}$$

(Ecuación 1)

Por último, a madurez fisiológica se determinó el rendimiento del cultivo en cada unidad experimental mediante la cosecha manual de espigas sobre los dos surcos centrales de cada parcela (7,15 m de largo). Se



midió el contenido de humedad en grano y el rendimiento se expresó al 14,5 %. A su vez, se calculó el rendimiento relativo (RR) como el cociente entre el rendimiento de la parcela en estudio y la de suficiencia (N_{full}).

Se evaluó el efecto del tratamiento de fertilización nitrogenada para cada sitio y estrato del canopeo mediante Análisis de Varianza empleando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2008). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test Tukey ($\alpha=0,1$). También se evaluaron las relaciones entre IV y N disponible (N en suelo a la siembra + N del fertilizante), entre INN e IV y por último, entre RR e ISN mediante modelos de regresión lineal y cuadráticos.

RESULTADOS Y DISCUSION

IV para diferentes estratos del canopeo de maíz

El IV varió entre 31 y 64 unidades entre todos los sitios. El sitio 5 (San Antonio, fecha de siembra tardía) fue el único que no presentó diferencias significativas en el IV entre tratamientos para ninguno de los estratos del canopeo de maíz (Figura 1), lo cual se debe al alto contenido de $N-NO_3^-$ a la siembra (Tabla 1). En cambio, los sitios restantes presentaron diferencias significativas en al menos uno de los estratos evaluados, como H_E en el sitio 1 y H_{E-2} y H_{E-4} en los sitios 1, 2, 3 y 4. Esto demuestra una mayor sensibilidad de los estratos inferiores del canopeo para detectar diferencias en el estado nitrogenado del cultivo.

Considerando el promedio de los sitios 1, 2, 3 y 4, en los cuales hubo diferencias significativas en el IV entre tratamientos, se observó que el IV promedio fue de 44,5 en H_{E+4} , 51,5 en H_{E+2} , 53,5 en H_E , 53,1 en H_{E-2} y 53,6 en H_{E-4} . A su vez, en el estrato H_{E+4} el IV se incrementó 8,8% en el tratamiento N_{full} respecto al N_0 , mientras que el estrato H_E y H_{E-4} aumentó 11,5% y 20,6%, respectivamente. Estos resultados se deberían a la removilización de N hacia hojas más nuevas, ubicadas en la parte superior del canopeo, ocasionando mayores diferencias entre tratamientos de N en los estratos inferiores (Herrman y Taube, 2004). No se determinó efecto del fraccionamiento de la dosis de N sobre el IV en ninguno de los sitios experimentales (Figura 1).



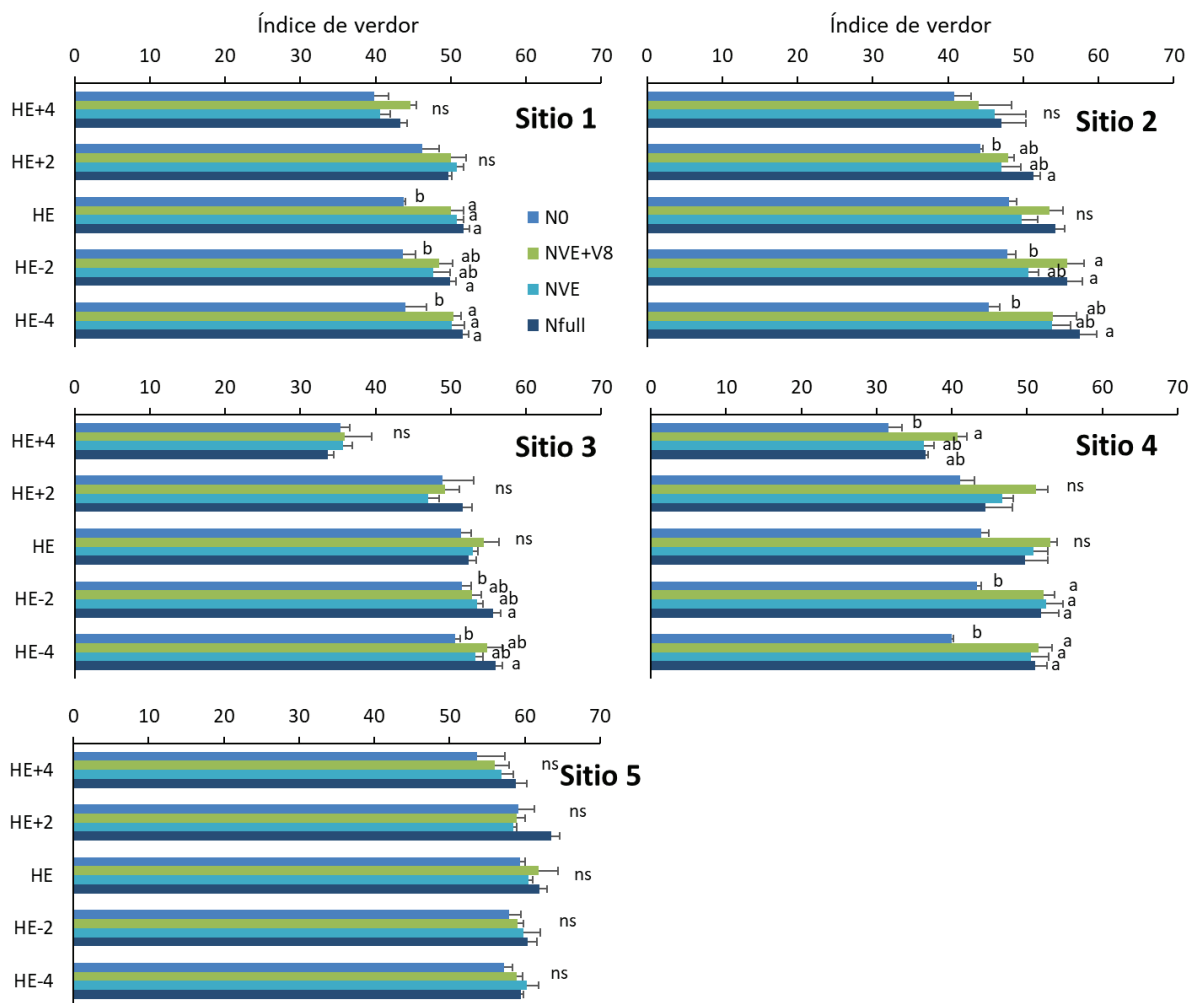


Figura 1. Índice de verdor para distintos estratos del canopy de maíz (H_E hoja de la espiga; H_{E+4} y H_{E+2} cuarta y segunda hoja por encima de H_E respectivamente; H_{E-2} y H_{E-4} segunda y cuarta hoja por debajo de la H_E respectivamente) en cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada (N_0 sin N; $N_{VE}+V_8$ dosis media fraccionada 60% en la emergencia del cultivo (V_E) y 40% en ocho hojas (V_8); N_{VE} dosis media aplicada en V_E y N_{full} dosis no limitante de N) y cinco sitios de la región pampeana argentina. Las barras en cada columna indican el error estándar de la media.

Relación entre IV y N disponible

Al analizar las relaciones entre el IV y el N disponible para cada estrato del canopy de maíz, se observó que aquellos ubicados por debajo de la H_E censaron mejor la disponibilidad de N ya que los modelos generados presentaron mejores ajustes (Tabla 2). Es decir, se obtuvieron valores de R^2 de 0,37 y 0,54 en los estratos H_{E-2} y H_{E-4} respectivamente, en comparación con los estratos superiores ($R^2 \leq 0,32$). Se reconoce que el IV permite estimar la concentración de clorofila y N en las hojas (e.g. Yang *et al.*, 2012). Así, nuestros resultados sugieren que el IV de los estratos inferiores, y por ende la concentración de N en las hojas, son mejores indicadores de la disponibilidad de N para el cultivo.

Tabla 2. Modelos de relación entre el índice de verdor (IV) y el N disponible (N en suelo a la siembra 0-60 cm + N del fertilizante), índice de nutrición nitrogenada (INN) y el IV, y rendimiento relativo (RR) e índice de suficiencia de N (ISN) para cinco estratos del canopeo de maíz (H_E hoja de la espiga; H_{E+4} y H_{E+2} cuarta y segunda hoja por encima de H_E respectivamente; H_{E-2} y H_{E-4} segunda y cuarta hoja por debajo de la H_E respectivamente).

Estrato	Modelo	R ²	p-valor
IV vs. N disponible			
H_{E+4}	$y=34,3+0,07x-9,7E-5x^2$	0,21	0,141
H_{E+2}	$y=44,85+0,05x-4,4E-5x^2$	0,28	0,060
H_E	$y=44,83+0,08x-1,3E-4x^2$	0,32	0,038
H_{E-2}	$y=44,54+0,08x-1,3E-4x^2$	0,37	0,020
H_{E-4}	$y=41,34+0,11x-2,2E-4x^2$	0,54	0,001
INN vs. IV			
H_{E+4}	$y=0,41+0,01x$	0,21	0,042
H_{E+2}	$y=-0,38+0,02x$	0,56	0,001
H_E	$y=-0,64+0,03x$	0,60	0,001
H_{E-2}	$y=-0,74+0,03x$	0,64	<0,001
H_{E-4}	$y=-0,75+0,03x$	0,74	<0,001
RR vs. ISN			
H_{E+4}	$y=-0,19+1,13x$	0,38	0,004
H_{E+2}	$y=-0,12+1,08x$	0,32	0,009
H_E	$y=-0,93+1,90x$	0,75	<0,001
H_{E-2}	$y=-0,86+1,86x$	0,68	<0,001
H_{E-4}	$y=-0,44+1,43x$	0,68	<0,001

Relación entre INN e IV

Las relaciones entre el INN y el IV fueron de tipo lineales, es decir, a medida que aumentó el IV en una unidad, el INN se incrementó entre 0,01 y 0,03 unidades según el estrato evaluado (Tabla 2). Al igual que la relación IV vs N disponible, la determinación de IV en los estratos más bajos del canopeo explicó en mayor proporción la variación del estado nitrogenado del cultivo, cuantificado a través del INN ($R^2 = 0,64$ y $0,74$ para los estratos H_{E-2} y H_{E-4} respectivamente; y $R^2 \leq 0,60$ para estratos superiores). Estos resultados validan el uso del IV como un método rápido para caracterizar el estado nitrogenado del cultivo de maíz, principalmente cuando la determinación se realiza en hojas inferiores a la H_E .

Relación entre RR e ISN

La determinación del IV en H_E obtuvo la mayor capacidad explicativa de la variación en rendimiento relativo (RR) (75%), seguidas por la determinación en H_{E-2} y H_{E-4} (68%) (Tabla 2). Si bien el IV en H_E no resultó ser el mejor indicador de la disponibilidad de N en el suelo ni del estado nutricional nitrogenado (INN), tuvo la mejor performance para detectar la respuesta en rendimiento del maíz a la fertilización nitrogenada (expresado como RR). Esta capacidad explicativa de la respuesta en rendimiento a N se debería a que la H_E corresponde a la fuente más cercana de la espiga, aportando nutrientes y fotoasimilados al órgano de cosecha en desarrollo (Kovács y Vyn, 2017).

La evaluación del IV en los cinco estratos para cada tratamiento de fertilización con N permitió confirmar que la distribución de este nutriente en el canopeo del cultivo de maíz no es homogénea, al igual que lo observado en diferentes especies por Tawanda et al. (2018), quienes también demostraron que la variación en el contenido de N foliar se traduce en modificaciones de las propiedades espectrales del canopeo. Por lo tanto, aquellos métodos de diagnóstico que se basan en lecturas sobre el canopeo mediante distintos sensores remotos podrían cometer errores en la estimación del estado nitrogenado del cultivo al no considerar la he-

terogeneidad de dichas propiedades a lo largo del perfil del cultivo (Winterhalter et al., 2012).

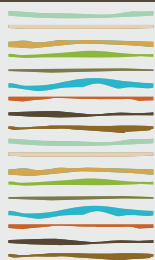
CONCLUSIONES

La distribución vertical de N en el canopeo del maíz no fue homogénea. El IV de los estratos del canopeo ubicados por debajo de la H_E presentó mayor capacidad para detectar diferencias en la disponibilidad de N y el estado nitrogenado del cultivo de maíz. Sin embargo, la determinación del IV en la H_E permitió la mayor capacidad de predecir variaciones en el rendimiento en grano debidas a la fertilización nitrogenada. La información generada es de utilidad para el desarrollo de métodos de diagnóstico basados en lecturas a nivel del canopeo.

BIBLIOGRAFIA

- Di Rienzo J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2008. InfoStat, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gastal, F.; G. Lemaire; J. Durand & G. Louarn. 2015. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In: V. Sadras, and D. Calderini, editors, *Crop physiology*. 2nd Ed. Elsevier Inc., the Netherlands. p. 161–206.
- Fernandez, J.A., J. DeBruin, C.D. Messina, & I.A. Ciampitti. 2020. Late-season nitrogen fertilization on maize yield: A meta-analysis. *F. Crop. Res.* 247(February): 107586
- Herrman, A., & F. Taube. 2004. The Range of the Critical Nitrogen Dilution Curve for Maize (*Zea mays* L.) Can Be Extended Until Silage Maturity. *Agron. J.* 96: 1131–1138.
- Kovács, P., & T.J. Vyn. 2017. Relationships between ear-leaf nutrient concentrations at silking and corn biomass and grain yields at maturity. *Agron. J.* 109 (6): 2898–2906.
- Ritchie, S.W., & J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report N°48. pp. 24.
- Sainz Rosas, H. R.; N. I., Reussi Calvo & P. Barbieri. 2019. Uso del índice de verdor para determinar la dosis óptima económica de nitrógeno en maíz. *Ciencia del suelo*. 37 (2): 246-256.
- Tawanda, W. G.; R. Darvishzadeh; A. K. Skidmore & T. Wang. 2018. Impact of Vertical Canopy Position on Leaf Spectral Properties and Traits across Multiple Species. *Remote Sensing*. 10: 346.
- Winterhalter, L., B. Mistele, & U. Schmidhalter. 2012. Assessing the vertical footprint of reflectance measurements to characterize nitrogen uptake and biomass distribution in maize canopies. *F. Crop. Res.* 129: 14–20.
- Yang, Y., D.J. Timlin, D.H. Fleisher, S.B. Lokhande, J.A. Chun, et al. 2012. Nitrogen Concentration and Dry-Matter Accumulation in Maize Crop: Assessing Maize Nitrogen Status with an Allometric Function and a Chlorophyll Meter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 43 (11): 1563–1575
- Ziadi, N., M. Brassard, G. Belanger, A.N. Cambouris, N. Tremblay, et al. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agron. J.* 100 (2): 271–276.





VALORACIÓN AGRONÓMICA DE LÍQUIDO DE MACERACIÓN DE MAÍZ

J.G. Nicolier¹, M. Simonutti^{1,2}, D.E. Menapacce¹, M.E. Carrizo¹, M.J Masola¹ & Imhoff S^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral.

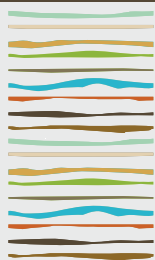
²ICiAgro Litoral-UNL-CONICET-FCA¹. R.P. Kreder 2805 (S3080HOF), Esperanza, Provincia de Santa Fe.

simhoff@fca.unl.edu.ar

RESUMEN

La primera etapa del proceso industrial de molienda húmeda de maíz genera un efluente rico en nutrientes esenciales para las plantas, denominado líquido de maceración de maíz (LMM), que se supuso que podría ser utilizado como fertilizante. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de maíz al agregado de LMM y verificar tanto la dosis óptima como la capacidad de sustitución que posee con respecto a un fertilizante inorgánico. El ensayo se llevó a cabo sobre un suelo Argiudol típico – Serie Esperanza, que está bajo uso intensivo agrícola-ganadero. El experimento se consistió en bloques (3) con 4 tratamientos distribuidos al azar: T0, sin aplicación de LMM; T1: aplicación de LMM para cubrir el 50% del requerimiento de N de maíz; T2: aplicación de LMM para cubrir el 100% del requerimiento de N de maíz; T3: aplicación de LMM para cubrir el 150% del requerimiento de N de maíz. T2 se definió en función de un rendimiento esperado de maíz en grano de 15.000 kg ha⁻¹, teniendo en cuenta el aporte de N del suelo por mineralización. Se tomaron muestras de suelo antes de la aplicación, 7 días después de la misma y posterior a la cosecha de maíz. Se pudo observar que con el agregado de LMM se incrementó el contenido de N total, de NO₃⁻ y P, y levemente la CE y el K en función del incremento de la dosis. El incremento de N total solo se produjo en los primeros 10 cm, el de P y K se verificó hasta los 20 cm y el de NO₃⁻ hasta los 30 cm, lo que hace suponer que el movimiento de K se efectuó en los primeros 20 cm como NO₃K. Por otro lado, la CE y el Na se incrementaron levemente solo en los primeros 10 cm, muy por debajo de los niveles críticos. Por lo tanto, el agregado de LMM, aún en la dosis máxima, no causó efectos negativos en las propiedades del suelo. Con respecto a la producción, se incrementó tanto el rendimiento en grano como la producción de materia seca del cultivo. La mayor respuesta se obtuvo en T2, con un rendimiento superior al esperado (16.828 kg ha⁻¹). Esto sugiere que el LMM estimuló la actividad microbiana del suelo que mineralizó mayor cantidad de nitrógeno del esperado (+28 kg ha⁻¹), generando un beneficio extra. En T3 se obtuvo un rendimiento menor, respondiendo a la ley de mínimo. Los resultados indican que la aplicación con criterio agronómico de LMM puede sustituir en un 100% la adición de fertilizantes inorgánicos nitrogenados, aportando además otros nutrientes sin afectar negativamente las propiedades del suelo.

Palabras clave: nutrientes, argiudol, rendimiento maíz



EFICIENCIA DE USO DE AGUA Y NITRÓGENO EN TRIGO CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Imvinkelried, H.O.^{1*}, M. Pietrobón¹, N. Garrote², F. Buralli²

¹ Docente-investigador, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Kreder 2805 (CP: 3080), Esperanza, Santa Fe;

² alumno de Ingeniería Agronómica, FCA-UNL;

* horaim@fca.unl.edu.ar.

RESUMEN

La producción de biomasa o granos dependen de la capacidad de los cultivos para capturar y emplear los recursos disponibles. El objetivo de este trabajo fue generar información local acerca del impacto de la fertilización nitrogenada en trigo y su efecto en la producción (Rto) y la eficiencia de uso del agua (EUA) y del nitrógeno (EUN) del cultivo. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron dos cultivares de trigo (CC= ciclo corto y CL= ciclo largo) bajo tres niveles de fertilización (N0= 0 kgN ha⁻¹, N1= 80 kgN ha⁻¹ y N2= 180 kgN ha⁻¹). El Rto final (kg ha⁻¹) estuvo afectado por las V y el nivel de F; los CC presentaron mayor Rto por una mejor oferta fototermal durante su período crítico y, la mayor disponibilidad de N (testigo vs. fertilizados) aumentó la producción. La eficiencia del uso del agua y del N en grano presentó diferencia por efecto de la V y de la F. En ambas eficiencias el CC presentó mayores valores. Con relación a la fertilización nitrogenada, la EUA (kg m⁻² mm⁻¹) fue mayor en las parcelas fertilizadas; mientras que, la EUN (kg granos kgN absorbido⁻¹) disminuyó al incrementarse la dosis de N.

Palabras clave: rendimiento, nitrógeno, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCION

La eficiencia de uso de los recursos es definida como la relación entre las salidas (biomasa y/o rendimiento en grano) y las entradas (radiación fotosintéticamente activa, precipitaciones, nutrientes) que condicionan la productividad (Caviglia et al., 2004). La producción de biomasa o granos dependen de la capacidad de los cultivos para capturar y emplear los recursos disponibles, como así también las variaciones climáticas, específicamente la radiación incidente y la temperatura media durante el período previo a la floración (Magrin & Travasso, 1997). Esta es la razón por la cual en la región pampeana norte se pueden obtener rendimientos potenciales de trigo de 5000-6000 kg ha⁻¹ (Abbate et al., 1995). Sin embargo, para alcanzar estos niveles potenciales de producción debe optimizarse el manejo del cultivo, donde la nutrición del mismo juega un rol esencial en la captura de los recursos ambientales.

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción vegetal, debido a las grandes cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan sus deficiencias en los suelos (Echeverría & Sainz Rozas, 2005). Las aplicaciones deficientes de N producen ingresos menores y llevan a la sobreexplotación de los recursos, mientras que las aplicaciones excesivas aumentan los riesgos de pérdida de nutrientes (St. Luce et al., 2011; Guo et al., 2012). Por esta razón, es de gran importancia lograr incrementar la eficiencia de uso del N proveniente de la aplicación de fertilizantes, a pesar de la variabilidad de las condiciones climáticas (Galantini et al., 2000; Martínez et al., 2015), debido a que una baja disponibilidad de N produce una reducción de la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, del índice de área foliar



y de su duración, lo cual afecta el rendimiento del trigo (Abbate *et al.*, 1994).

Actualmente, con el sistema de siembra directa, el contenido de N-NO₃ en la capa superficial, independientemente del cultivo antecesor, es inferior o alrededor de 10 ppm, indicando la necesidad de fertilizar puesto que corresponde a un valor menor a los 17-20 ppm considerado como bien provisto para trigo (Fontanetto *et al.*, 2005). Lograr sistemas de producción agrícola eficientes en el uso de recursos, sustentables y sostenibles en el tiempo resulta un tema estratégico y de relevancia mundial, ya que sus efectos impactan sobre el ambiente y la sociedad. Como consecuencia es esencial tener en cuenta las interacciones entre la fertilización nitrogenada, la oferta hídrica y la producción del cultivo que permitan incrementar la eficiencia en el uso del N y del agua. Es por esto, que el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento y la eficiencia de uso del agua y del nitrógeno en cultivares de ciclo corto y largo en trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la Unidad Experimental de Cultivos Extensivos (UECE) de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL) -31° 24' 56" S 60° 54' 28" O, Esperanza, Santa Fe-. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron dos cultivares de trigo (CC= ciclo corto y CL= ciclo largo) bajo tres niveles de fertilización (N0= 0 kgN ha⁻¹, N1= 80 kgN ha⁻¹ y N2= 180 kgN ha⁻¹). Las variedades fueron Ginkgo (CC) y Guayabo (CL), sembrados en directa, a 17,5 cm entre líneas, el 18 de junio de 2021 y el 23 de noviembre de 2021 se cosecharon. La fertilización se realizó en macollaje, con urea (46-0-0) al voleo. A la siembra se realizó una fertilización de base con 100 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-20-0). En madurez fisiológica (MF) del cultivo se determinó el rendimiento (Rto) y sus componentes principales (número de granos y peso de 1000 granos -P1000-). Se muestrearon 2 m² por parcela, se secaron en estufa y se trillaron con cosechadora estática. Se ajustó a humedad comercial (14 %H) el P1000.

Para obtener la EUA (en g m⁻² mm⁻¹) se determinó el contenido de agua útil inicial almacenada en el perfil de suelo hasta 1 m de profundidad a la siembra del cultivo y el contenido de agua del suelo residual al momento de madurez fisiológica. Con la variación del contenido hídrico del suelo (Δh , mm) se utilizó el método de balance hídrico para la obtención de la evapotranspiración del cultivo (Etc), despejando la ecuación $\Delta h = Etc - Pe - Per$; donde: Etc= evapotranspiración del cultivo (mm); Pe= precipitación efectiva (mm) y Per= percolación profunda (se asumirá= 0 mm). La eficiencia de uso del agua (EUA) se calculó como el cociente entre el Rto en grano y la ETc (EUA_{gr}), según fue definido por Pierce y Rice (1988).

Eficiencia de uso del nitrógeno (EUN_{gr}, kg_{gr} kgN_{abs}⁻¹) se calculó como el cociente entre el Rto y el N total absorbido en MF. Para la determinación del N acumulado en planta y grano de las muestras se tomó una alícuota y se determinó la concentración de N por la metodología de microdestilación Kjeldahl (1883). El contenido de N acumulado en grano y el resto de planta se calculó como el producto de la B de cada fracción y la concentración de N; mientras que, el N total acumulado se estimó como la suma de ambas fracciones. Los datos obtenidos fueron analizados por medio del programa estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020). Los efectos de los tratamientos se evaluaron mediante ANOVA y la comparación de medias mediante el Test LSD con un nivel de significancia de 5 % ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones meteorológicas

Las lluvias del otoño permitieron una regular recarga de agua del perfil del suelo (122 mm), pero fueron escasas durante el ciclo del cultivo (Figura 1). En los meses de ocupación del lote se midieron 260 mm, un 19,7 % menos a la media histórica del lugar.

Con respecto a las temperaturas, las mismas fueron inferiores a los registros históricos (Figura 1). Esta situación, sumado a las buenas condiciones de radiación, permitieron lograr mejores NG y P1000 (valores de cociente fototermal -Q- superiores a la media histórica de la zona; Q₂₀₂₁= 0,61 vs. Q_{histórico}= 0,59), lo



cual impactó positivamente en el Rto final.

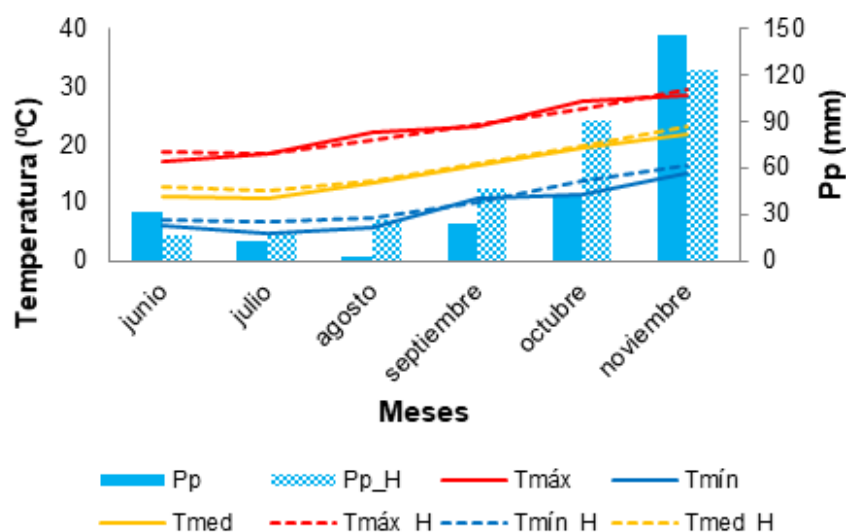


Figura 1. Temperaturas máximas (Tmáx), medias (Tmed), mínimas (Tmín) y precipitaciones (Pp) durante el ciclo del cultivo de trigo – línea y/o barra llena= campaña 2021, línea y/o barra discontinua= datos históricos-. Fecha de siembra= 18/06; antesis (Z6) Ginkgo (CC)= 27/9 y Guayabo (CL)= 10/10.

Rendimiento y sus componentes

El Rto final estuvo afectado por las V y el nivel de F, mientras que el P1000 sólo se modificó por la V (Tabla 1). Mayor Rto y P1000 presentaron las variedades de CC y, además, en Rto un incremento por fertilización -sin diferencias entre dosis N1 y N2-.

La respuesta del NG m² estuvo bajo el efecto de la interacción V*F (Tabla 1, p= 0,0263). En los CC se incrementó el NG a medida que aumentó la oferta de N; mientras que, en los CL las diferencias fueron entre N0 y las parcelas fertilizadas (Figura 2).

Tabla 1. Rendimiento (Rto), peso de mil granos (P1000) y número de granos por m² (NG m²) en trigo según variedad (V; CC= ciclo corto, CL= ciclo largo) y fertilización (F; N0= sin nitrógeno, N1= 80 kgN ha⁻¹, N2= 180 kgN ha⁻¹). Letras distintas indican diferencias significativas según el Test LSD (α = 0,05).

Tratamientos			Variables		
Variedades (V)	Rto (kg/ha)		P1000 (g)		NG m ²
CC	5558	a	39,8	a	14001
CL	5216	b	27,2	b	19180
Fertilización (F)					
N0	4930	a	34,2	a	14902
N1	5572	b	33,8	a	17093
N2	5660	b	32,6	a	17777
p-valor					
V	0,0008		<0,0001		<0,0001
F	<0,0001		0,1836		<0,0001
V*F	0,2349		0,3602		0,0263



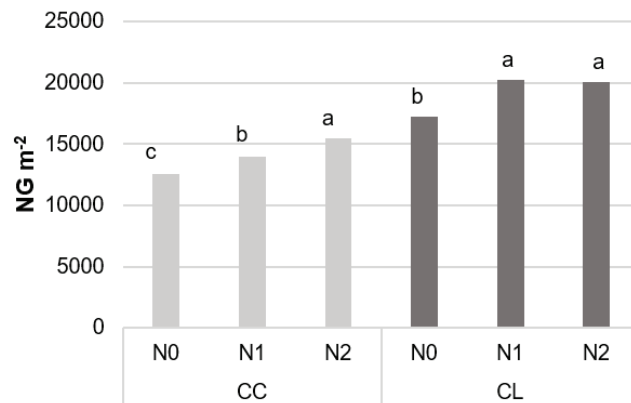


Figura 2. Análisis de la interacción entre variedad y fertilización (V*F) para la variable número de granos por m². Letras distintas dentro de la misma V (CC= ciclo corto, CL= ciclo largo) indican diferencias significativas según el Test LSD ($\alpha=0,05$) entre niveles de F (N0= sin nitrógeno, N1= 80 kgN ha⁻¹, N2= 180 kgN ha⁻¹).

El período crítico (PC) en trigo para la definición del Rto se ubica 20 días antes y 10 posteriores a la floración (antes), donde se define el principal componente del Rto (número de granos –NG–). A través de la elección de fecha de siembra y variedad, se pretende ubicar el PC bajo las mejores condiciones de radiación y temperatura; para lo cual buscamos que la antesis ocurra lo más temprano posible, luego de la fecha probable de ocurrencia de última helada (después del 21 septiembre). Para la V de CL (GUAYABO) la antesis fue 10/10 y la de CC (GINKGO) fue el 27/9, lo que repercutió negativamente en el Rto del CL.

Las temperaturas medias durante la etapa de llenado (octubre) estuvieron por encima de las temperaturas óptimas -18 °C- para asegurar una buena tasa de llenado y duración de la misma (Figura 1). El mayor P1000 en la variedad de CC se debió a que ubicó el inicio de llenado 12 días antes que la de CL, lo que permitió explorar un mejor ambiente fototermal.

Eficiencia de uso de agua y nitrógeno en granos

La eficiencia del uso del agua y del N en grano presentó diferencia por efecto de la V y de la F (Tabla 2). En ambas eficiencias el CC presentó mayores valores; siendo, EUA_gr un 6,6% y la EUN_gr un 5,7% superior.

Con relación a la fertilización nitrogenada, la EUA_gr fue significativamente mayor con fertilizante respecto al testigo (N0); mientras que, la EUN_gr disminuyó al incrementarse la dosis de N (Tabla 2).

Los valores de EUA fueron superiores a los reportados por Imvinkelried (2016), quien informó EUA para trigo entre 0,8 y 1,2 g_gr m⁻² mm⁻¹. Los datos de EUN están levemente por encima de los valores reportados como normales en trigo, los cuales son de 30 kg de granos por kg de N absorbido (Aloé y Toribio, 2007).

Tabla 2. Eficiencia de uso de agua y de nitrógeno en granos (EUA_gr y EUN_gr, respectivamente) para trigo según variedad (V; CC= ciclo corto, CL= ciclo largo) y fertilización (F; N0= sin nitrógeno, N1= 80 kgN ha⁻¹, N2= 180 kgN ha⁻¹). Letras distintas indican diferencias significativas según el Test LSD ($\alpha= 0,05$).

Tratamientos	Variables			
Variedades (V)	EUA_gr m ² mm ⁻¹)	(g	EUN_gr kgN_abs ⁻¹)	(kg
CC	2,09	a	39,1	a
CL	1,96	b	36,9	b
Fertilización (F)				
N0	1,73	b	43,3	a
N1	2,19	a	37,2	b
N2	2,15	a	33,5	c
p-valor				
V	0,0009		<0,0001	
F	<0,0001		<0,0001	
V*F	0,2421		0,1562	

CONCLUSIONES

Las variedades de trigo (CC y CL) y la fertilización con N modificaron la respuesta del cultivo de trigo. El Rto final fue superior en los CC, debido a una mejor oferta fototermal durante su período crítico. La mayor disponibilidad de N (testigo vs. fertilizados) aumentó la producción en granos. La eficiencia del uso del agua y del N fue mayor en los CC. Finalmente, con relación a la fertilización nitrogenada, la EUA fue superior en las parcelas fertilizadas; mientras que, la EUN disminuyó al incrementarse la dosis de N aplicada.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, PE; FH Andrade & JP Culot. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. J. Agric. Sci. 124: 351-360.
- Abbate, PE; FH Andrade & JP Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133. 20 pp.
- Aloé, JM & M Toribio. 2007. Fertilización del cultivo de trigo. Investigación y Desarrollo. 10: 1-12. Disponible en: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/bt-n-10-fertilizacion-del-cultivo-de-trigo-2007-comprimido.pdf>.
- Caviglia, OP; VO Sadras & FH 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.
- Di Rienzo, JA; F. Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno (pp.: 69-95). En: H.E. Echeverría & F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto, H; H Vivas; O Keller; R Albrecht; L Gastaldi & H Castignani. 2005. Consideraciones sobre la fertilización nitrogenada de trigo en la región central de Santa Fe (pp.: 14-26). Información Técnica de Trigo, campaña 2005. Publicación Miscelánea N° 103. Estación Experimental Agropecuaria INTA Rafaela. Santa Fe, Argentina.
- Galantini, JA; MR Landriscini; JO Iglesias; AM Miglierina & RA Rosell. 2000. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. Nutrient balance, yield and grain quality. Soil Till. Res. 53: 137-144.
- Guo, S; H Zhu; T Dang; J Wu; W Liu; M Hao; Y Li & JK Syers. 2012 Winter wheat grain yield associated with precipitation distribution under long-term nitrogen fertilization in the semiarid Loess Plateau in China. Geoderma 190: 442-450.
- Imvinkelried, HO. 2016. Relación entre la calidad del suelo y variables ecofisiológicas de los cultivos de trigo y soja. Tesis para optar por el título de Doctor en Ciencias Agrarias de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Esperanza, Santa Fe, Argentina. 169 p.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen



in organic substances), Zeitschrift für analytische Chemie. 22 (1): 366-383.

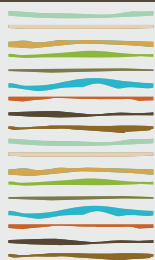
Magrin, G & MI Travasso. 1997. Potencial de producción del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la región pampeana argentina (pp. 34-45). En memorias de la Reunión de Planificación Estratégica de Trigo INTA-CIMMYT. Mar del Plata.

Martínez, JM; JA Galantini & MR Landriscini. 2015. Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de las dosis y momento de aplicación. Agriscientia 32: 15-27.

Pierce, FJ & CW Rice. 1988. Croprotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use (pp.: 21-42). In: W.L. Hargrove (ed.). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.

St. Luce, M; JK Whalen; N Ziadi & BI Zebbarth. 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. Adv. Agron. 112: 55-102.





IS IT POSSIBLE TO PREDICT NITROGEN CONCENTRATION IN CORN USING OPTICAL REMOTE SENSING AND C-SAR?

Lapaz Oliveira, A.M.^{1,2*}, H. Saínz Rozas^{1,2}, W. Carciochi^{1,2}, M. Balzarini^{2,3}, M. Castro-Franco⁴, O. Ávila^{1,5}, S. Tovar Hernández¹, G. Larrea¹, M.P. Rodríguez^{1,2}, N. Reussi Calvo^{1,2}

¹UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP).

²CONICET.

³FCA (UNC), UFYMA (INTA-CONICET).

⁴FCAR (Unillanos, COL).

⁵FONCyT.

*Ruta 226 km 73,5 (Balcarce, AR), mail: adrianlapaz2010@gmail.com

ABSTRACT

Plant nitrogen (N) concentration (N_c) is crucial to estimate the N status of corn (*Zea Mays L.*). Vegetation indices from remote optical sensors and C-band (5.4 GHz) backscatter from synthetic aperture radar (C-SAR) have been used for monitoring N in corn. Both tools have the potential to predict N_c separately or together in an integrated vegetation index. This work aimed to develop and evaluate new vegetation indices for predicting N_c in corn. Eleven corn experiments were conducted in the Pampas region of Argentina. Five N rates (0, 60, 120, 180, and 240 kg N ha⁻¹) were applied at planting. During the stages of the sixth, tenth, and fourteenth developed leaves and flowering of corn (V_6 , V_{10} , V_{14} , and R_1 , respectively) plants were collected for N_c determination, and Sentinel-1 and Sentinel-2 observations over the sampling points were obtained. Vegetation indices were calculated with Sentinel-2 spectral bands and Sentinel-1 C-SAR backscatter at the different sampling times and N_c was modelled. During validation, the integrated index (spectral bands + C-SAR backscatter) was more accurate, with a prediction error of 14% according to the mean absolute percentage error, whereas, with remote sensing, the error was 20%. It was demonstrated that it is possible to predict N_c in corn using optical remote sensing and C-SAR, a prediction that soil data can power.

Keywords: integrated index, C-SAR backscatter, spectral bands.

INTRODUCTION

Plant nitrogen (N) concentration (N_c) is crucial to estimate the N status of corn (*Zea Mays L.*), but its determination in the laboratory is costly and time-consuming. For this reason, several works have investigated the modelling of this variable from proximal sensors and remote optical sensors (Maltese et al., 2020; Xia et al., 2016). These devices have the advantage of measuring close to or in contact with the plant but are limited in capturing the spatial variability of N_c of the entire crop surface (Pagani, 2014). In contrast, remote optical sensors observe the spectral reflectance land surface for large areas (km) (Morris et al., 2018). Spectral observations are digitized into bands and used to calculate vegetation indices such as NDVI, which was adjusted for aboveground biomass (Morris et al., 2018). Modelling of N_c from individual and combined vegetation indices has not been reliable (Li et al., 2014). Combined indices are the result of dividing one vegetation index over another (e.g. NDVI/NDRE). Therefore, new vegetation indices need to be explored with modern remote sensing tools. One alternative is to use active ground-based backscatter observations in the C-band (5.4 GHz microwave) with the synthetic aperture radar (C-SAR) system mounted to satellite platforms.



The C-SAR system emits an electromagnetic pulse to measure the time and intensity of the echo signal reflected from the Earth's surface (backscatter) (Ulaby and Long, 2014). The C-SAR controls the direction of the emitted electric field in Horizontal (H) and Vertical (V) polarizations. In addition, it can receive wave returns in both H and/or V channels. The C-SAR backscatter of VV signaling with V transmission and reception, while those of HV is with H transmission and V reception. Radar vegetation indices with backscatter were adjusted to aboveground biomass in oilseed rape (*Brassica napus* L.) (Zhang et al., 2018). However, there are no radar indices for monitoring corn N_c . In addition, C-SAR backscatter together with spectral bands could develop an “**integrated index**”. This work aimed to evaluate new vegetation indices to predict plant N_c during the maize growing season.

MATERIALS AND METHODS

During the 2020/21 season, eleven N fertilization experiments in corn were conducted on four commercial fields, seven in the north of the Argentine Pampas Region and four in the southeastern region of Buenos Aires. Each experiment was conducted in different productive field management zones, delimited according to historical yields, topography and optical vegetation indices. The experimental design was completely randomized blocks with three replications and five rates of 0, 60, 120, 180 and 240 kg N ha⁻¹ applied at sowing (Urea, 46-0-0). The density and date of sowing were optimal according to the producer. Phosphorus, potassium, sulfur and micronutrients were applied without limitations.

The area of interest for the experimental unit was 50 x 50 m. During the stages of sixth, tenth, and fourteenth developed leaves and flowering of corn (V_6 , V_{10} , V_{14} and R_1 , respectively; Ritchie and Hanway, 1982), twelve plants per plot were cut at ground level distributed according to the Elementary Sampling Unit protocol (Baret et al., 2021) (Figure 1). N_c was determined by the Kjeldahl method.

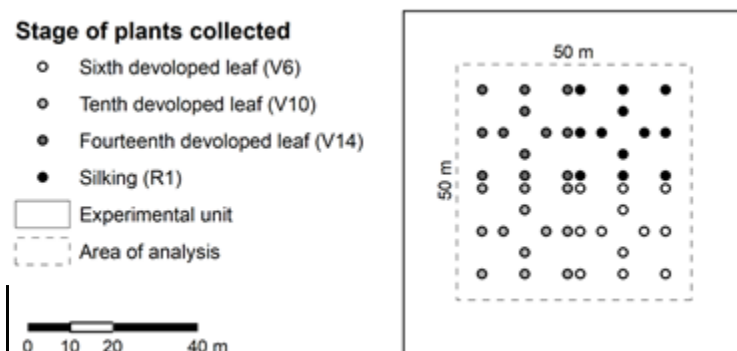


Figure 1. Plants sampling scheme for an experimental unit according to the ESU protocol (Baret et al., 2021). Each point is a plant and the colour is the stage at which it was taken.

Over the points and at each plant sampling stage, Sentinel-2 observations were obtained at the 10 and 20 m spatial resolution. Atmospheric corrections to the top-of-atmosphere were executed with the Semi-Automatic plugin in QGIS 3.16 (Luca Congedo, 2016). C-SAR backscatter acquired in IW-GRD format were processed in SNAP Software (2020) with the following successive steps: Apply Orbit File - Thermal Noise Removed - Removed GRD Border Noise - Radiometric Calibration - Multilooking (4x4) - Speckle (Lee 3x3) - Range Doppler Terrain Correction. HV and vertical-vertical VV backscatter in dB were obtained according to Beta Naught at a spatial resolution of 10 m (digital pixel). The normalization proposed by Kaplan et al. (2021) comprised multiplying the C-SAR backscatter by the local incidence angle (LIA) and was denoted as $VH \times LIA$ and $VV \times LIA$. From the equations in Table 1, more than 100,000 vegetation indices were calculated with the spectral bands and C-SAR backscatter. Six calibration and five validation experiments were used. The selection of the predictor vegetation indices was based on the lowest prediction error according to the mean absolute percentage error (MAPE) of the validation data. In addition, the root mean square of the prediction error (RMSE), RMSE relative to the measured mean (RRMSE), mean absolute error (MAE) and coefficient of determination (R^2), were determined. Analyses were performed in R v 3.6.3 (R Core Team, 2019).

Table 1: Vegetation indices for a combination of factors named a, b and c.

Vegetation indices (IV)	Equation
IV ₁	a-b
IV ₂	a/b
IV ₃	(a-b)/(a+b)
IV ₄	(a-b)/(a+b+0.25)x1.25
IV ₅	(a-b)/(a+b+0.5)x1.5
IV ₆	(a-b)/(a+b+0.75)x1.75
IV ₇	(2a+1-($\sqrt{((2a+1)^2-8x(a-b))}$))/2
IV ₈	(a-b)/(a+b-c)
IV ₉	(a ² -bxc)/(a ² +bxc)
IV ₁₀	100x(a-b)-10x(a-c)
IV ₁₁	(a-b)-0.2x(a-c)x(a/b)
IV ₁₂	(a-b)x(b-c)
IV ₁₃	(a-b)/(a+b)/(a-c)/(a+c)
IV ₁₄	2.5x(a-b)/(a+6b-7.5c)+1
Combined	IV ₁₋₁₄ /IV ₁₋₁₄ (with a, b, c randomly assigned)

RESULTS AND DISCUSSION

The results showed an increase in N_c with increasing N rate, which has been reported by other authors (Zhao et al., 2018). The N_c during the crop cycle averaged 3.80, 2.37, 1.58 and 1.21% for V_6 , V_{10} , V_{14} and R_1 , respectively. The site and stage averages were 1.9, 2.1, 2.3, 2.4 and 2.5% N in the plant for the rate of 0, 60, 120, 180 and 240 kg N ha⁻¹, respectively. During crop development, the effect and interaction of N rate and experiment on plant N_c were determined. In each experiment and eco-physiological stage there was an effect of N rate on N_c . Increases in N application increased N_c . The average plant N_c on the 240N treatment was higher than that of 0N by 15, 34, 64 and 74% during V_6 , V_{10} , V_{14} and R_1 , respectively. Therefore, the response of N_c to N addition was positive and increased with the advancing crop cycle.

The vegetation optical index in figure 2 is composed of the quotient of IV₈ and IV₁₂. The former was developed based on the vegetation optical index Visible Atmospherically Resistant Index (VARI). VARI is calculated with the green (B3), red (B4) and blue (B2) spectra as (B3-B4)/(B3+B4-B2) and is related to the nitrogen status of maize (Michez et al., 2018). In this work, VARI was calculated with the green spectrum band (B3) and the red-edge bands B6 (741 nm) and B7 (783 nm) as (B3-B7)/(B3+B7-B6). Negative values were obtained, which tended to be 0 with increasing N_c . The second index (IV₁₂) was based on the Double-peak Canopy N Index (DCNI) formula and was developed to monitor the nitrogen status of maize with proximal sensors (Li et al., 2010). This index is calculated with the reflectance in nm (R) at the red edge $DCNI = (R_{720}-R_{700})/(R_{700}-R_{670})/(R_{720}-R_{670}+0.03)$. In this work, the DCNI was calculated with the bands green B3, red edge B5 (720nm) and mid-infrared B11 (1614 nm), and the values obtained were negative and tended towards 0 with increasing N_c . The ratio between IV₈ and IV₁₂ showed positive values that decreased with increasing N_c because each index tended to zero as the measured variable increased. With the integrated index (optical sensor + C-SAR), the ratio between IV₂ and IV₈ showed positive values that increased with increasing N_c . IV₂ is a simple ratio between B11 and B5 with positive values that increased with increasing N_c . The fact that the lower the reflectance in the B11 spectrum, the higher the evapotranspiration of the plants due to the lower canopy surface temperature could explain this (Campbell et al., 2022). Likewise, the lower the reflectance in B5, the higher the energy absorption in the red-edge spectrum, hence the higher the photosynthetic activity and the higher the chlorophyll concentration (Li et al., 2014). IV₈ has positive values that increase with increasing N_c as opposed to IV₈ of the optical vegetation index. This index was calculated with spectral bands and the backscatter VV, which is associated with soil and plant moisture (Ulaby and Long, 2014).



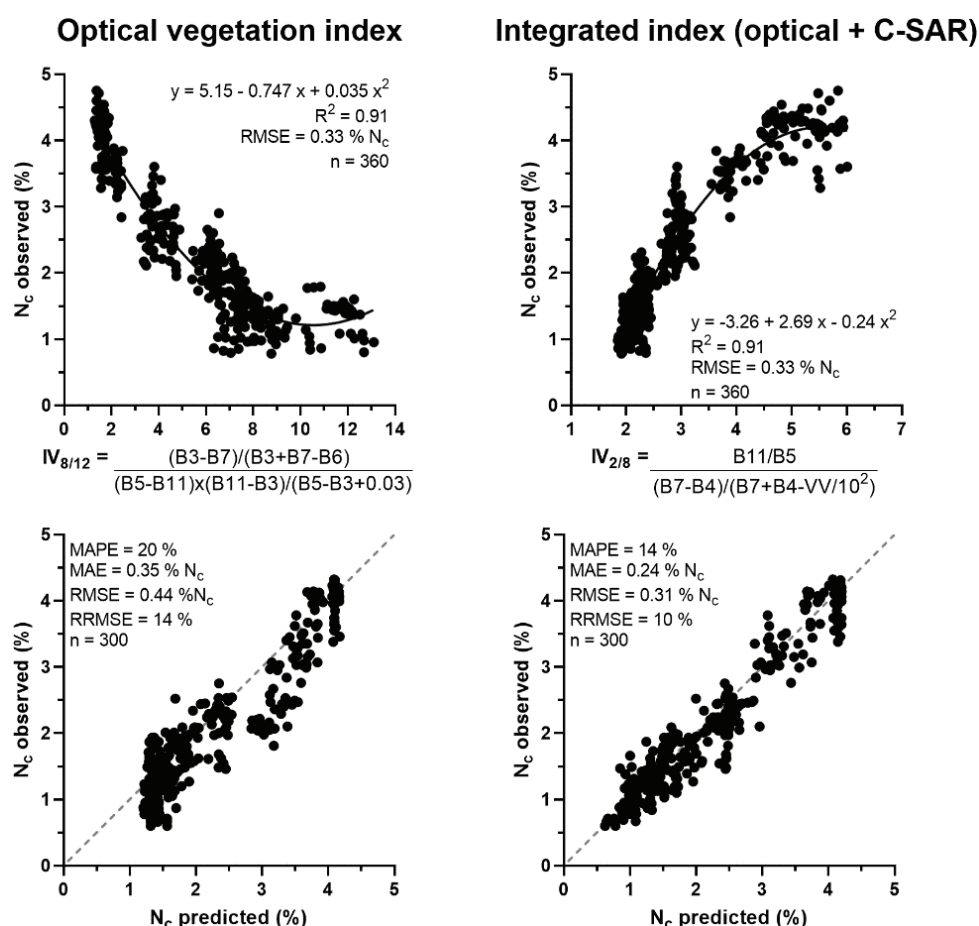


Figure 2. Calibration (top) and validation (bottom) of plant nitrogen concentration (N_c) of the corn from satellite vegetation indices (IV). IV suffixes refer to the formula used according to Table 2 (e.g., $IV_{1/2}$ is IV_1 divided by IV_2), B is Sentinel-2 spectral bands, VV (vertical-vertical) is the absolute C-SAR (Sentinel-1) backscatter and LIA the local angle of incidence.

The models with C-SAR backscatter indices did not pass at least one of the diagnostic principles for a predictive model (linearity, normality, homoscedasticity and independence). In contrast, models calibrated from optical and integrated vegetation indices met these assumptions (Figure 2). A negative association was determined between plant N_c and the optical vegetation index ($R^2 = 0.91$), while for the “integrated index”, it was positive ($R^2 = 0.91$) (Figure 2). Both modelling had a superior fit to those reported in the literature for proximal and remote optical sensors (Li et al., 2014; Zhao et al., 2018). The vegetation indices developed in this research have not been reported in the literature. Then, these results evidence the need to explore new vegetation indices for modern satellite remote sensing tools. In addition, N_c modelling with integrated vegetation indices, which are from spectral bands and C-SAR backscattering, has not been evaluated.

The two vegetation indices found in this study obtained lower prediction errors than those reported in past research (Li et al., 2014; Zhao et al., 2018). However, the validation metrics were different between the two vegetation indices in this study. The integrated index regression model predicted N_c with a MAPE of 14% and RMSE of 0.31% N_c . In contrast, N_c prediction of the optical vegetation index was with an MAPE of 20% and an RMSE of 0.44% N_c . Thus, the modelling of N_c from the integrated index was performed with a balance between variance and bias, while that the optical vegetation index showed an over-fitting as the prediction error was higher (high bias). These results showed that integrating satellite information improves crop monitoring. Integrated vegetation indices are better than those developed with a single source of information, as in previous research (Hosseini et al., 2018). The different maize observations that were developed in the integrated index explained part of this. These observations are of energy in the visible-infrared and microwave spectrum related to biophysical crop parameters that affect N_c dynamics. Remote optical sensors observed crop reflectance and emission in the visible and infrared spectrum, spectra related to photosynthetic activity (Morris et al., 2018). While C-SAR backscattering were observations of microwaves that were attenuated by the crop

canopy and scattered by rigid plant structures (stem, spikes) and the soil surface (Hosseini et al., 2019; Ulaby and Long, 2014). Thus, the integrated vegetation indices captured the variability of N_c and the factors affecting it better than the optical indices. Therefore, integrated indices were more accurate than optical indices in predicting plant N_c throughout the crop cycle.

CONCLUSIONS

An index was developed by integrating C-SAR backscatter with spectral bands from optical sensors, which showed higher accuracy in predicting N_c concerning vegetation indices from a single satellite sensor. This work showed the need for developing new vegetation indices with modern remote sensing technologies for N monitoring in corn. Future research could develop vegetation indices that integrate satellite observations and soil variables to monitor corn N status.

ACKNOWLEDGEMENTS

Research projects that funded this work were FonCyT [Project PICT 0304, 2016] and INTA [Project PE-E9-I177-001, 2019]. We acknowledge the fields of Las Balas (LIAG Argentina), El Cisne (FUMISEM SRL), El Palomar (Mr Pereyra) and La Masía (Mr Pernía) for facilitating the experimental sites. We acknowledge the collaboration of Agronomic Engineers Francisco Melcón, Nicolás Spurio, Diego Aguilera, Jorge Ramírez and Rafael de Velazco.

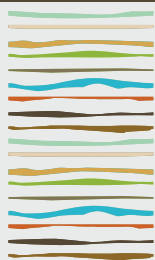
REFERENCES

- Andrade, F.H., Sadras, V.O., 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, INTA-UNMdP. ed. Balcarce, Argentina.
- Baret, F., Weiss, M., Allard, D., Garrigues, S., Leroy, M., Jeanjean, H., Fernandes, R., Myneni, R., Privette, J., Morisette, J., 2021. VALERI: a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products. *Remote Sens. Environ.* 76, 36–39.
- Campbell, J.B., Wynne, R.H., Thomas, V.A., 2022. Introduction to remote sensing, 6th Editio. ed. The Guilford Press, New York, USA. <https://doi.org/10.1117/3.673407.ch1>
- Chen, P.; Haboudane, D.; Tremblay, N.; Wang, J.; Vigneault, P.; Li, B. 2010. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment*. 114(9):1987–1997.
- Fernandez, J.A., DeBruin, J., Messina, C.D., Ciampitti, I.A., 2020. Late-season nitrogen fertilization on maize yield: A meta-analysis. *F. Crop. Res.* 247, 107586.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Davidson, A., Robertson, L.D., 2018. Combination of optical and SAR sensors for monitoring biomass over corn fields, in: En. IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 22-27 July 2018. IEEE, pp. 5952–5955. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518998>
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Dingle Robertson, L., Davidson, A., Homayouni, S., 2019. Synthetic aperture radar and optical satellite data for estimating the biomass of corn. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 83, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101933>
- Kaplan, G., Fine, L., Lukyanov, V., Manivasagam, V.S., Tanny, J., Rozenstein, O., 2021. Normalizing the local incidence angle in sentinel-1 imagery to improve leaf area index, vegetation height, and crop coefficient estimations. *Land* 10. <https://doi.org/10.3390/land10070680>
- Li, F., Miao, Y., Feng, G., Yuan, F., Yue, S., Gao, X., Liu, Y., Liu, B., Ustin, S.L., Chen, X., 2014. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *F. Crop. Res.* 157, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.018>
- Luca Congedo, 2016. Semi-automatic classification plugin documentation. Release 4, 29.
- Maltese, N.E., Maddonni, G.A., Melchiori, R.J.M., Ferreyra, J.M., Caviglia, O.P., 2020. Crop nitrogen status of early- and late-sown maize at different plant densities. *F. Crop. Res.* 258, 107965.
- MICHEZ, A.; BAUWENS, S.; BROSTAUX, Y.; HIEL, M. P.; GARRÉ, S.; LEJEUNE, P.; DUMONT, B. 2018. How Far Can Consumer-Grade UAV RGB Imagery Describe Crop Production? A 3D and Multitemporal Modeling Approach Applied to Zea mays. *Remote Sensing*. 10(11):1798
- Morris, T.F., Murrell, T.S., Beegle, D.B., Camberato, J.J., Ferguson, R.B., Grove, J., Ketterings, Q., Kyveryga, P.M., Laboski, C.A.M., McGrath, J.M., Meisinger, J.J., Melkonian, J., Moebius-Clune, B.N., Nafziger, E.D., Osmond, D., Sawyer, J.E., Scharf, P.C., Smith, W., Spargo, J.T., Van Es, H.M., Yang, H., 2018. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agron. J.* 110, 1–37.



- Pagani, A., 2014. Manejo sitio-específico de nutriente, in: Echeverría, H.E., García, F.O. (Eds.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Bs As, Argentina, pp. 839–870.
- Plenet, D., Lemaire, G., 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical Nc. *Plant Soil* 216, 65–82.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report N°48. pp. 24.
- Ulaby, F.T., Long, D.G., 2014. *Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing*, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing. University of Michigan Press, Michigan, USA.
- Xia, T., Miao, Y., Wu, D., Shao, H., Khosla, R., Mi, G., 2016. Active optical sensing of spring maize for in-season diagnosis of nitrogen status based on nitrogen nutrition index. *Remote Sens.* 8, 605.
- Zhang, W., Chen, E., Li, Z., Zhao, L., Ji, Y., Zhang, Y., Liu, Z., 2018. Rape (*Brassica napus* L.) growth monitoring and mapping based on Radarsat-2 time-series data. *Remote Sens.* 10, 206.
- Zhao, B., Duan, A., Ata-ul-karim, S.T., Liu, Zhandong, Chen, Z., Gong, Z., Zhang, J., Xiao, J., Liu, Zugui, Qin, A., Ning, D., 2018. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. *Eur. J. Agron.* 93, 113–125.





NEW VEGETATION INDICES FOR SATELLITE MONITORING OF THE NITROGEN NUTRIENT INDEX IN CORN

Lapaz Oliveira, A.M.^{1,2*}, W. Carciochi^{1,2}, H.R. Saínz Rozas^{1,2}, M. Balzarini^{2,3}, M. Castro-Franco⁴, S. Tovar Hernández¹, O. Ávila^{1,5}, G. Larrea¹, M.P. Rodríguez^{1,2}, N. Reussi Calvo^{1,2}

¹UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP).

²CONICET.

³FCA (UNC), UFYMA (INTA-CONICET).

⁴FCAYRN (Unillanos, COL).

⁵FONCyT.

*Ruta 226 km 73,5 (Balcarce, AR), mail: adrianlapaz2010@gmail.com

ABSTRACT

The nitrogen (N) nutrition index (NNI) is a reliable indicator of in-season N status in corn (*Zea mays* L.). However, NNI determination is expensive and time-consuming. Therefore, integrating information from satellite remote sensing tools with soil data could estimate the Spatio-temporal variation of NNI. The goal was to develop vegetation indices by integrating soil and satellite information to predict NNI. Eleven field experiments in corn were conducted in the Argentine Pampas, applying five N rates (0, 60, 120, 180, and 240 kg N ha⁻¹) at sowing. Available N (N_{av}) was the sum of the inorganic N in the soil at sowing (0-60 cm) plus the N contained in the fertilizer (N rate). Plants collected at stages sixth, tenth, and fourteenth developed leaves and flowering of corn (V_6 , V_{10} , V_{14} , and R_1 , respectively) were used to determine the NNI. Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite observations were recorded in the areas of the collected plants for each sampling date. With these observations, the vegetation indices were calculated by integrating N_{av} , spectral bands (Sentinel-2) and C-band backscatter from synthetic aperture radar (C-SAR, Sentinel-1). Simple regression models relating NNI to vegetation indices were calibrated and validated. During calibration, the coefficient of determination (R^2) ranged from 0.61 to 0.78 for different models. During validation, the NNI prediction had high accuracy, with the mean absolute percentage error (MAPE) ranging from 6 to 12%. Local incidence angle corrected C-SAR backscatter and reflectance in the red spectrum were essential for calculating the three vegetation indices that were selected. In summary, it was possible to predict NNI in corn by integrating satellite platforms and pre-plant soil information, which then would facilitate N monitoring during the corn growing season.

Keywords: available nitrogen, C-SAR backscatter, spectral bands.

INTRODUCTION

Nitrogen (N) management in corn (*Zea mays* L.) raises the need for tools to monitor the N status of the crop to readjust the pre-plant N rate (Saínz Rozas et al., 2019). For this purpose, the N nutrition index (NNI) (Plénet and Lemaire, 2000) was proposed as an indicator of the nitrogen status of corn. The NNI is the ratio between the N concentration of the plant and the critical N concentration for a specified biomass. However, sampling determinations do not capture the spatial variability of N at the field scale (Pagani, 2014). Moreover, NNI determination is expensive and time-consuming for N fertilization management. Therefore, new satellite remote sensing technologies combined with soil information are appropriate for estimating the spatial variation of corn NNI in a rapid, cost-effective, and non-destructive manner.



Satellite remote sensing tools have the potential to monitor different biophysical parameters in corn (Morris et al., 2018). Remote sensors are classified as passive (optical) and active (synthetic aperture radar, SAR) depending on the mode of observation and the observed ground energy (Reuter, 2009). Remote optical sensors detect the visible and infrared energy emitted or reflected by the crop in the scene being observed. The digital spectral bands allow calculate different vegetation indices to predict the aboveground biomass of corn (Hosseini et al., 2018). SAR observations and modelling of C-band (5.4 GHz, C-SAR) backscatter are independent of atmospheric conditions (McNairn and Shang, 2016). Mandal et al. (2020) have demonstrated the sensitivity of C-SAR backscatter to the biophysical parameters of the corn crop. However, these studies do not predict NNI and do not consider soil information. Also, vegetation indices that integrate different satellite sensors have not been developed. The goal of this work was to develop vegetation indices integrating optical sensors, C-SAR and soil available N to predict corn NNI at the stages of 6, 10 and 14 developed leaves and flowering.

MATERIALS AND METHODS

During the 2020/21 season, eleven nitrogen fertilization experiments were conducted in corn on four commercial fields, seven in the north of the Pampean Region of Argentina and 4 in the southeast of Buenos Aires. Each experiment was conducted in different productive field management zones, delimited according to historical yields, topography and optical vegetation indices. The experimental design was a randomized complete block design with three replications and five rates of 0, 60, 120, 180 and 240 kg N ha⁻¹ applied at sowing (Urea, 46-0-0). The density and sowing date were optimal, according to the producer. Phosphorus, sulphur and micronutrients were not limited.

The area of interest for the experimental unit was 50 x 50 m. During sowing, composite soil samples were taken from a grid (5 x 5 m) and the N-NO₃⁻ content was determined in the 0-60 cm stratum (Keeney and Nelson, 1982). Available N (N_{av}) was calculated as the sum of N-NO₃⁻ in the soil at sowing plus N from fertilizer. During the stages of sixth, tenth, and fourteenth developed leaves and flowering of corn (V₆, V₁₀, V₁₄ and R₁, respectively; Ritchie and Hanway, 1982), local sampling was composed of 12 individual measurements and corresponds to one Elemental Sampling Unit (ESU) used in the VALERI method (Baret et al., 2021) (Figure 1). Plant samples were oven-dried at 60°C until constant weight and weighed to obtain the shoot biomass accumulation (W) in Mg ha⁻¹. The dried plant samples were then ground and passed through a 1-mm sieve for chemical analysis. The N concentration (N_c) of each plant tissue sample was determined by the Kjeldahl method (Bremner and Mulvaney, 1982).

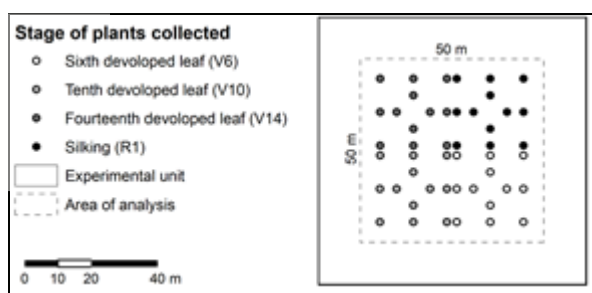


Figure 1. Plants sampling scheme for an experimental unit according to the ESU protocol (Baret et al., 2021). Each point is a plant, and the color is the stage at which it was taken.

The NNI was developed according to Plénet and Lemaire (2000). Treatments with an equal performance at the 240N rate according to Fisher's least significant difference (LSD) test were labelled as not N-limited. Treatments with differences according to LSD were labelled as N-limited. The power regression ($y = ax^b$), was fitted on the variability of N_c (as y) and W (as x) for the N-limited and the non-N-limited points. These averaged values were calibrated with the W to fit the N_c curve that was used to calculate the NNI (equation 1 and equation 2):

$$\text{if } W < 1 \text{ Mg ha}^{-1}, \text{NNI} = \frac{N_c (\%)}{3.5} \quad (1)$$

$$\text{if } W > 1 \text{ Mg ha}^{-1}, \text{NNI} = \frac{N_c (\%)}{(3.5 \times \text{BA} (\text{Mg ha}^{-1}))^{-0.4}} \quad (2)$$

where 3.5 and -0.4 are model parameters for estimating the critical N concentration and are like those reported by Plénet and Lemaire (2000).

Over the points and at each plant sampling stage, Sentinel-2 observations were obtained at the 10 and 20 m spatial resolution. Atmospheric corrections to the top-of-atmosphere were executed with the Semi-Automatic plugin in QGIS 3.16 (Luca Congedo, 2016). C-SAR backscatter acquired in IW-GRD format were processed in SNAP Software (2020) as: Apply Orbit File - Thermal Noise Removed - Removed GRD Border Noise - Radiometric Calibration - Multilooking (4x4) - Speckle (Lee 3x3) - Range Doppler Terrain Correction. HV and vertical-vertical VV backscatter in dB were obtained according to Beta Naught at a spatial resolution of 10 m (digital pixel). The normalization proposed by Kaplan et al. (2021) consisted of multiplying the C-SAR backscatter by the local incidence angle (LIA) and was denoted VHxLIA and VVxLIA. From the equations in Table 1, more than 100,000 vegetation indices were calculated with the spectral bands and C-SAR backscatter. Six calibration and five validation experiments were used. The selection of the predictor vegetation indices was based on the lowest prediction error according to the mean absolute percentage error (MAPE) of the validation data. In addition, the root mean square of the prediction error (RMSE), RMSE relative to the measured mean (RRMSE), mean absolute error (MAE) and coefficient of determination (R^2), were determined. Analyses were performed in R v 3.6.3 (R Core Team, 2019).

Table 1: Vegetation indices for a combination of factors named a, b and c.

Vegetation indices (IV)	Equation
IV ₁	a-b
IV ₂	a/b
IV ₃	(a-b)/(a+b)
IV ₄	(a-b)/(a+b+0.25)x1.25
IV ₅	(a-b)/(a+b+0.5)x1.5
IV ₆	(a-b)/(a+b+0.75)x1.75
IV ₇	(2a+1-($\sqrt{(2a+1)^2-8x(a-b)}$))/2
IV ₈	(a-b)/(a+b-c)
IV ₉	(a ² -bxc)/(a ² +bxc)
IV ₁₀	100x(a-b)-10x(a-c)
IV ₁₁	(a-b)-0.2x(a-c)x(a/b)
IV ₁₂	(a-b)x(b-c)
IV ₁₃	(a-b)/(a+b)/(a-c)/(a+c)
IV ₁₄	2.5x(a-b)/(a+6b-7.5c)+1
Combined	IV ₁₋₁₄ /IV ₁₋₁₄ (with a, b, c randomly assigned)

RESULTS AND DISCUSSION

Results showed corn NNI values increased with increasing N rate have been widely reported (Zhao et al., 2018). The range of variation of the index agreed with the literature (Plénet and Lemaire, 2000). The values ranged from 0.81 to 1.40, 0.55 to 1.53, 0.43 to 1.40, and 0.45 to 1.27 at V₆, V₁₀, V₁₄, and R₁, respectively. NNI values of the 240N treatment were higher than those of the 0N treatment throughout the cycle in all eleven experiments. In almost all experiments from V₆ to R₁, NNI values in the 240N treatments were higher than 1 (N-sufficiency). Whereas in the 0N, they were lower than 1 (N-deficiency). In general, NNI values decreased from V₆ to R₁ and decreasing less with increasing N rate.

Integrated vegetation indices (calculated with N_{av}, remote optical sensor indices and C-SAR backscatter) could model NNI with good fits (R^2 : 0.61 to 0.78) (Figure 2). Furthermore, the predicted nitrogen status during the corn cycle presented high accuracy (MAPE≤12%). The errors observed in this study were lower than those reported with proximal optical (Zhao et al., 2018) and remote (Cilia et al., 2014) sensors. So, from V₆ to R₁, the NNI modelling with vegetation indices integrating satellite data and soil analysis is a promising tool for diagnosing the nitrogen status of corn.



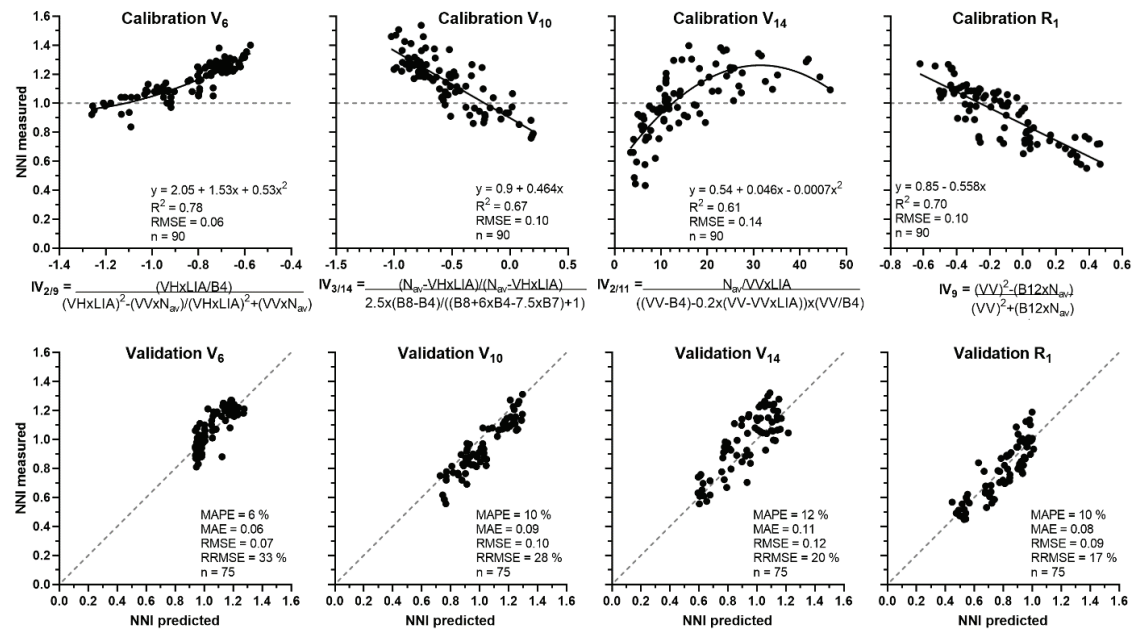


Figure 2. Calibration and validation of corn nitrogen nutrition index (NNI) prediction from integrated vegetation indices (IV). IV_{ij} : indices from Table 1. N_{av} (available N) expressed in $kg\ ha^{-1}/10^3$. B4, B7 and B8 are Sentinel-2 red, red-edge and infrared reflectance bands. VH (vertical-horizontal) and VV (vertical-vertical) are the Sentinel-1 C-band backscatter (SAR): $abs(VH)/10^2$ and $abs(VV)/10^2$. $VHxLIA$ and $VVxLIA$ are VH and VV multiplied by the local incidence (LIA): $abs(VH)xLIA/10^4$, $abs(VV)xLIA/10^4$.

The complementarity between soil analysis and remote observations increased the complexity of corn NNI modelling during its development. Previous work has estimated NNI only with vegetation indices from remote optical sensors, many of which were developed for other crops and/or biophysical parameters (Zhao et al., 2018). N_{av} is the main driver of the NNI response. Optical remote sensing vegetation indices and C-SAR backscatter have been related to biophysical crop parameters (e.g., W and leaf area index). Spectral bands are associated with plant photosynthesis and evapotranspiration (Boegh et al., 2002). Besides, the attenuation and backscattering of C-SAR microwaves vary according to the plant structure (leaf, stem, spike) (Ulaby and Long, 2014). Another interesting observation was that three of the four selected vegetation indices were of the combined (IV_{ij}), which was in line with other research reported for optical remote sensing (Zhao et al., 2018). Three of the four selected integrated indices needed backscatter correction from the LIA. Thus, agrees with that proposed by (Kaplan et al., 2021) for rescaling C-SAR backscatter with the LIA during crop monitoring from different azimuthal observation angles.

CONCLUSIONS

Vegetation indices integrating satellite and soil information allowed for predicting the NNI during the corn cycle. Integrating different sources of information and techniques on optical remote sensing and C-SAR backscatter observations was necessary to monitor the corn N status. Future research should study whether incorporating available water in the soil estimated from satellite increases the predictive accuracy of the NNI models.

ACKNOWLEDGEMENTS

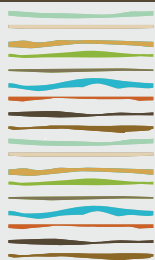
The research funded this work projects FonCyT [Project PICT 0304, 2016]; and INTA [Project PE-E9-I177-001, 2019]. We acknowledge the farms of Las Balas (LIAG Argentina), El Cisne (FUMISEM SRL), El Palomar (Mr Pereyra) and La Masia (Mr Pernia) for providing the locations for the installation of experimental sites. Also, to the collaboration of agronomists Francisco Melcón, Nicolás Spurio, Diego Aguilera, Jorge Ramírez and Rafael de Velazco.



REFERENCES

- Baret, F., Weiss, M., Allard, D., Garrigues, S., Leroy, M., Jeanjean, H., Fernandes, R., Myneni, R., Privette, J., Morissette, J., 2021. VALERI: a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products. *Remote Sens. Environ.* 76, 36–39.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.* 54, 464–465.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total, in: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 595–624.
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Meroni, M., Busetto, L., Amaducci, S., Boschetti, M., Picchi, V., Colombo, R., 2014. Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. *Remote Sens.* 6, 6549–6565. <https://doi.org/10.3390/rs6076549>
- Congedo, L., 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *J. Open Source Softw.* 6, 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Filipponi, F., 2019. Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings* 18, 11. <https://doi.org/10.3390/ecrs-3-06201>
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Davidson, A., Robertson, L.D., 2018. Combination of optical and SAR sensors for monitoring biomass over corn fields, in: *En. IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 22-27 July 2018*. IEEE, pp. 5952–5955. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518998>
- Kaplan, G., Fine, L., Lukyanov, V., Manivasagam, V.S., Tanny, J., Rozenstein, O., 2021. Normalizing the local incidence angle in sentinel-1 imagery to improve leaf area index, vegetation height, and crop coefficient estimations. *Land* 10.
- Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen-Inorganic Forms. Page. A. L. al. (eds.). *Methods soil Anal. Part 2. Chem. Microbiol. Prop. Am. Soc. Agron. Inc. – Soil Sci. Soc. Am. J. Inc. Madison, Wisconsin, USA* 643–698.
- Mandal, D., Kumar, V., Lopez-Sanchez, J.M., Bhattacharya, A., McNairn, H., Rao, Y.S., 2020. Crop biophysical parameter retrieval from Sentinel-1 SAR data with a multi-target inversion of Water Cloud Model. *Int. J. Remote Sens.* 41, 5503–5524. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1734261>
- McNairn, H., Shang, J., 2016. A Review of Multitemporal Synthetic Aperture Radar (SAR) for Crop Monitoring, in: Ban, Y. (Ed.), *Multitemporal Remote Sensing*. Cham Springer, pp. 317–340.
- Morris, T.F., Murrell, T.S., Beegle, D.B., Camberato, J.J., Ferguson, R.B., Grove, J., Ketterings, Q., Kyveryga, P.M., Laboski, C.A.M., McGrath, J.M., Meisinger, J.J., Melkonian, J., Moebius-Clune, B.N., Nafziger, E.D., Osmond, D., Sawyer, J.E., Scharf, P.C., Smith, W., Spargo, J.T., Van Es, H.M., Yang, H., 2018. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agron. J.* 110, 1–37.
- Pagani, A., 2014. Manejo sitio-específico de nutriente, in: Echeverría, H.E., García, F.O. (Eds.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 839–870.
- Plenet, D., Lemaire, G., 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant Soil* 216, 65–82.
- Reuter, F., 2009. Principios de teledetección. Serie Didáctica N° 33 [WWW Document]. URL <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-33-Principios-teledeteccion-REUTER.pdf> (accessed 5.26.19).
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report No48. pp. 24.
- Saíenz Rozas, H.R., Reussi Calvo, N.I., Barbieri, P.A., 2019. Uso del índice de verdor para determinar la dosis optima económica de nitrógeno en maíz. *Unidad Integr. INTA-FCA Balcarce*. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 26.
- Ulaby, F.T., Long, D.G., 2014. *Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing*, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing. University of Michigan Press, Michigan, USA.
- Zhao, B., Duan, A., Ata-ul-karim, S.T., Liu, Zhandong, Chen, Z., Gong, Z., Zhang, J., Xiao, J., Liu, Zugui, Qin, A., Ning, D., 2018. Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. *Eur. J. Agron.* 93, 113–125.





META-ANÁLISIS DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE PASTURAS Y VERDEOS

Lezana, L.^{1,2*}, C. Quintero¹, E. Quinodoz¹, J.M. Pautasso^{1,2}, A. Re³

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER);

² Estación Experimental Agropecuaria Paraná (INTA);

³ Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay (INTA)

* Ruta Provincial 11, km 10,5 (3100) Oro Verde, Entre Ríos, cesar.quintero@uner.edu.ar

RESUMEN

Las pasturas cultivadas son uno de los principales recursos forrajeros de los sistemas ganaderos de la Región Pampeana. Si bien existen evidencias sobre las limitaciones de las deficiencias nutricionales en la productividad de pasturas y verdeos en sistemas de base pastoril, la fertilización, especialmente nitrogenada, sigue siendo deficiente. Adicionalmente, la información disponible sobre respuesta a la fertilización es amplia y se requiere avanzar en estudios que sintetizen y analicen esa información, como insumo para orientar la toma de decisiones. En ese escenario, cobran relevancia los meta-análisis como una herramienta potente para el análisis de información, poco explorada en el ámbito agronómico. En este trabajo, se realizó una revisión sistemática de ensayos de fertilización nitrogenada (publicados e inéditos) en la Región Pampeana y se obtuvo una base de 404 datos, correspondientes a 174 ensayos, 141 en verdeos y 33 en pasturas permanentes. Se realizó una clasificación en función del nivel de fertilización y se calcularon los parámetros estadísticos del meta-análisis para cada nivel. Si bien la base de datos disponible presentaba heterogeneidad (asociada, especialmente a diferentes condiciones agroecológicas), fue posible identificar un patrón de respuesta a la fertilización nitrogenada de pasturas y verdeos en la Región Pampeana.

Palabras clave: forrajes, nitrógeno, productividad

INTRODUCCIÓN

Las pasturas cultivadas comprenden una superficie de 7,4 millones de hectáreas en Argentina y proveen de forraje a los sistemas ganaderos de carne y leche en diferentes regiones del país. La mayor superficie de pasturas se concentra en la región Pampeana, y es la principal fuente forrajera de un stock ganadero de 28,7 millones de cabezas (INDEC, 2021).

En general, la oferta de nutrientes del ambiente resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos de las especies forrajeras. En los sistemas ganaderos de la región, basados en el pastoreo directo de pasturas cultivadas, los nutrientes que en mayor medida limitan la productividad, son el fósforo (P) y el nitrógeno (N) (García *et al.* 2002). La demanda de nutrientes está estrechamente asociada con la producción de forrajes, por lo que, para incrementar la productividad de biomasa por unidad de superficie, se debe recurrir a la fertilización (Rubio *et al.* 2013; Agnusdei *et al.* 2010). Sin embargo, en los planteos ganaderos de Argentina, la aplicación de fertilizantes es escasa y está menos difundida que en las actividades agrícolas, por lo que frecuentemente, las deficiencias nutricionales restringen la capacidad productiva de cada ambiente (Marino y Berardo, 2014) y si bien la fertilización en pasturas es una tecnología conceptualmente reconocida, su correcta aplicación (e.g. dosis de fertilizante, momento de aplicación, fuente de fertilizante) ha sido casi irrelevante en la región (Agnusdei, 2012). Por otro lado, cultivos forrajeros mal nutridos no sólo producen menos que

los fertilizados, sino también aportan menos carbono, generan menor calidad nutritiva e inician procesos de degradación de los suelos (Sheaffer *et al.* 2006; Marino y Berardo, 2014).

Si bien existe un importante caudal de información sobre respuesta a la fertilización de recursos forrajeros implantados, tanto a escala regional como local, es necesario recopilar y analizar esa información para determinar el impacto relativo de diferentes fuentes de variación, tales como: especie forrajera, tipo de nutriente, dosis, fuente, momento de aplicación, suelo, clima, manejo del pastoreo, y así vincular la información basada en evidencia científica con recomendaciones técnicas (Fixen, 2016). El objetivo de éste trabajo es sintetizar y analizar la información disponible sobre fertilización nitrogenada de pasturas y verdeos de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática a partir de dos fuentes de información: a) trabajos de investigación publicados y disponibles online y b) trabajos de investigación no publicados, disponibles a través del contacto con sus autores, investigadores de organismos de ciencia y tecnología (INTA, Universidades, etc.). La búsqueda de trabajos publicados se realizó a través de Google Académico, utilizando las palabras: fertilización + pasturas cultivadas. Se seleccionaron ensayos en condiciones de producción comercial y de estaciones experimentales, que informaran, al menos, producción de materia seca (kg MS/ha) del tratamiento y el testigo, dosis de nitrógeno (kg N/ha) y fecha de fertilización. La búsqueda de trabajos no publicados o publicados, pero no disponibles en la web, se realizó mediante contactos personales con referentes.

Se realizó un meta-análisis considerando la respuesta (kg MS/ha) de cada tratamiento versus el testigo como el estimador del efecto del fertilizante, para todos los ensayos (Borenstein, 2009). Se realizó un análisis de Homogeneidad, utilizando los estadísticos Q e I^2 . Q sigue una distribución Chi-cuadrado; si Q excede un valor crítico de un cola con $k-1$ grados de libertad (donde k es el número de ensayos), la varianza de los efectos de los ensayos es mayor a la esperada y se rechaza la hipótesis nula ($\alpha=0,05$) de homogeneidad de varianza; por lo que se utiliza un modelo de efectos aleatorios para calcular la varianza del meta-análisis. El índice I^2 representa la proporción de la variación total en el estimador del efecto, que obedece a la heterogeneidad de los ensayos y no al azar. Según Higgins y Thompson (2002), se considera que existe baja heterogeneidad si $I^2=25\%$, media heterogeneidad si $I^2=50\%$ y alta heterogeneidad si $I^2=75\%$. Posteriormente al análisis de Homogeneidad, se elaboró un Forest Plot (Lewis & Clarke, 2001) de los ensayos de fertilización analizados. Los cálculos para el análisis de Homogeneidad y el Forest Plot se realizaron mediante la planilla Excel desarrollada por Neyeloff *et al.* (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo una base de 404 datos, correspondientes a 174 ensayos de fertilización nitrogenada, 141 en verdeos y 33 en pasturas (base alfalfa, 29; base lotus, 4). Con el objetivo de interpretar la homogeneidad de los datos, se elaboró el gráfico de L'Abbé (Figura 1), que muestra la relación entre rendimientos de los tratamientos control y rendimientos de tratamientos con agregado de N, para pasturas permanentes y verdeos. Los puntos que se encuentran por encima de la línea $y=x$ son ensayos en los que la respuesta fue positiva y los que se encuentran por debajo, ensayos con respuestas negativas. Se observa la tendencia de los tratamientos a aumentar los rendimientos, sin diferencias en el patrón de respuesta entre pasturas permanentes y verdeos, por lo que el resto de los parámetros del meta-análisis se analizan para el conjunto de datos, sin discriminar por tipo de recurso.

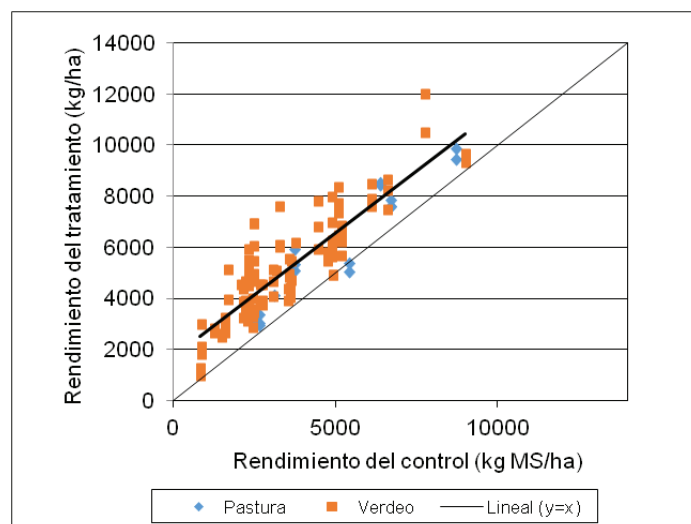


Figura 1. Gráfico de L'Abbé de rendimiento de tratamientos con agregado de N versus testigo.

Para ponderar el meta-análisis, se realizó el test Q de homogeneidad para la totalidad de los datos. El valor de $Q=349,1$ fue significativo ($p<0,05$, 122 grados de libertad), por lo que se rechaza la H^0 de homogeneidad de los ensayos. En el mismo sentido, el índice $I^2=65\%$, indica que existe una importante variabilidad de la respuesta a la fertilización. Se infiere que esta variabilidad en la magnitud del efecto, podría estar dada, por diferencias en las condiciones agroecológicas de los ensayos y por el nivel de fertilización. Por lo que se decidió realizar el análisis, separando los ensayos por el nivel de N agregado. Así se definieron tres grupos de ensayos: N1= 23-41 kg N/ha; N2= 46-120 kg N/ha y N3= 123-300 kg N/ha). En la tabla 1 se presentan los resultados del meta-análisis para los ensayos de cada nivel.

Tabla 1. Valores de Q e I^2 por nivel de N.

Nivel de N	N medio (kg /ha)	Q	Q crítico	grados de libertad	I^2	Efecto (kg MS/ha)	Desvío estándar	Intervalo de confianza (kg MS/ha)
N1	32	27,3	33,9*	14	49%	330,1	2,1	321,8 - 335,4
N2	83	110,4	90,5**	72	35%	509,8	27,8	455,3 - 564,2
N3	212	104,3	47,4**	33	68%	854,1	65,1	726,5 - 981,7

*Se acepta la Hipótesis de Homogeneidad de los ensayos, por lo que se utiliza un modelo de efectos fijos.

** Se rechaza la Hipótesis de Homogeneidad de los ensayos, por lo que se utiliza un modelo de efectos aleatorios.

Se elaboró un Forest Plot (Figura 2), con el efecto (kg MS/ha) de los ensayo para cada nivel N. Cada ensayo es representado por un punto, con un intervalo de confianza (líneas verticales) del 95%, donde los ensayos más precisos (con menor intervalo) tienen mayor peso relativo en el meta-análisis. En los tres niveles de N evaluados, se identifica un efecto positivo a la fertilización (dado que los intervalos de confianza calculados para cada nivel no incluyen el cero). En el nivel N1 (Figura 2a), no se identifican ensayos con efecto significativo en el meta-análisis, dado que los intervalos de confianza cortan al eje x en todos los casos. En el nivel N2 (Figura 2b), se observa que la mayoría de los ensayos poseen efecto positivo, y el 21% (16 de 75 ensayos) tienen efecto significativo en el meta-análisis. Mientras que, en el nivel N3 (Figura 2c), se observa que la mayoría de los ensayos poseen efecto positivo y el 26% (9 de 35 ensayos) tienen efecto significativo en el meta-análisis.

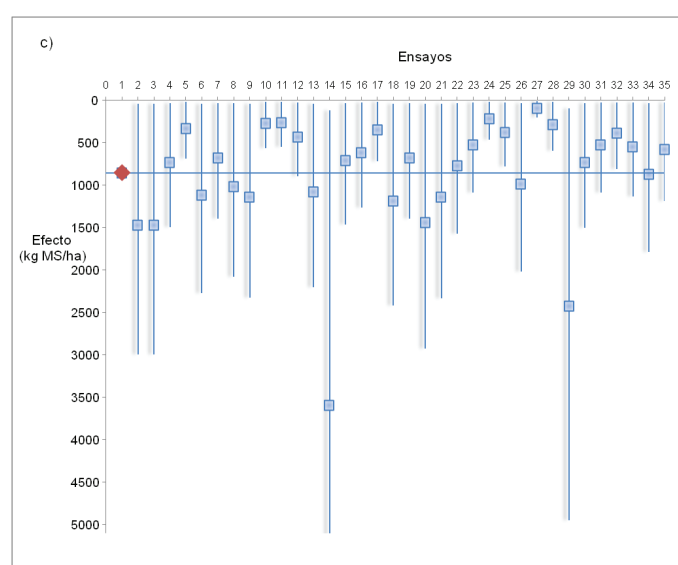
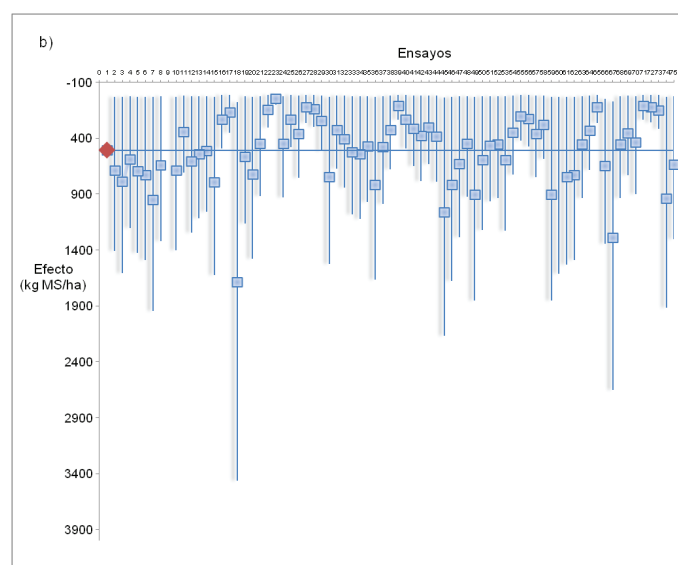
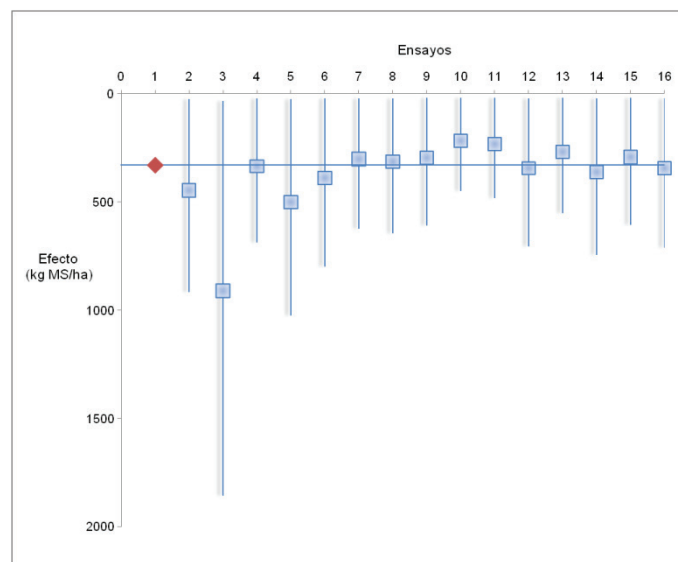


Figura 2. Forest-Plot de los ensayos de fertilización nitrogenada, a) N1; b) N2; c) N3. Las barras indican el intervalo de confianza del 95%. El rombo de color rojo indica el valor medio del meta-análisis para cada grupo de ensayos.

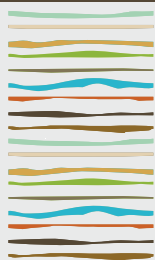
CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran la importancia del meta-análisis como una herramienta para la síntesis de información agronómica, que oriente la toma de decisiones. Si bien la base de datos disponible presentaba heterogeneidad (asociada, especialmente a diferentes condiciones agroecológicas), fue posible identificar un patrón de respuesta a la fertilización nitrogenada de pasturas y verdeos en la Región Pampeana.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei M., Assuero, F. Lattanzi y M. Marino. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2010) 88:215–230. DOI 10.1007/s10705-010-9348-6
- Agnusdei, M. 2012. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. En *Pasturas 2012: hacia una ganadería competitiva y sustentable*. Jornada técnica. Síntesis de material de conferencias. Mar del Plata 23 de marzo 2012. Páginas 13-28.
- Borenstein, M., Cooper, H., Hedges, I., & Valentine, J. 2009. Effect sizes for continuous data. *The handbook of research synthesis and meta-analysis*, 2, 221-235.
- Fixen, P. 2016. Evidence-based agronomy: filling the gaps in soil fertility/nutrient management data. *Great Plains Soil Fertility Conference*. Denver, Colorado, EE.UU.
- García, F. O., Micucci, G. Rubio, M. Ruffo, E I. Deverede. 2002. Fertilización de forrajeras en la región pampeana. Edición INPOFOS. ISBN 987-20486-0-6. 72 páginas.
- Higgins, J.; Thompson, S. G. 2002. Quantifying Heterogeneity in a MetaAnalysis. *Statistics in Medicine* 21(11): 1539-58.
- Indec. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2021. Censo Nacional Agropecuario 2018 resultados definitivos / 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Lewis, S., & Clarke, M. 2001. Forest plots: trying to see the wood and the trees. *Bmj*, 322(7300), 1479-1480.
- Marino, M. y A. Berardo. 2015. Pasturas y pastizales. Pp. 555-583. En: H. Echeverría y F. García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Neyeloff, J. L., Fuchs, S. C., & Moreira, I. 2012. Meta-analyses and Forest plots using a microsoft excel spreadsheet: step-by-step guide focusing on descriptive data analysis. *BMC research notes*, 5(1), 1-6.
- Rubio, G., F. Micucci, y F.O. García. 2013. Capítulo 14: Ciclado de nutrientes y fertilización de pasturas. En *Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. ISBN 978-987-27793-7-5. Páginas 263-292.
- Sheaffer, C., J. L. Halgerson, y H. G. Jung. 2006. Hybrid and N Fertilization Affect Corn Silage Yield and Quality. *Journal of agronomy and crop science*. Volume 192, Issue 4. August 2006. Pages 278–283.





CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO

Lima, M.L.^{1,3*}, R.A. Flores², M.F.N., Xavier³, R.T. do Carmo³, R.G. de Sousa⁴ e F.S.R. de Lima³

¹Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

²Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴Discente de Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;;

*Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74.690-900, mateus.lima@ifrr.edu.br

RESUMO

O uso do silício (Si) na agricultura vem aumentando a cada dia, tanto via aplicação no solo quanto foliar. O Si pode melhorar a condição de cultivo, minimizando os riscos, induzindo resistência aos estresses bióticos e abióticos, além de promover ganhos de produção de grãos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da pulverização foliar contendo silício no desenvolvimento, na fisiologia do milho de segunda safra em condições edafoclimáticas de Cerrado. Foram desenvolvidos um experimento em duas safras, 2020 e 2021, com a cultura do milho. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelas safras (2019/20 e 2020/21), o segundo fator foi a adubação foliar contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha⁻¹ de Si, aplicados na forma de silicato de potássio e cobre). Ressalta-se que em todos os tratamentos foram equilibradas as quantidades de potássio e cobre nas soluções foliares. Foram avaliados, o estado nutricional das plantas (macro e micro-nutrientes) e os teores de silício e a qualidade fisiológica (condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e concentração interna de CO₂). Observou-se que com a aplicação de Si via foliar condicionaram melhores trocas gasosas (em V8) com influencia positiva na fotossíntese líquida, condutância estomática e concentração interna de CO₂. Na avaliação realizada no pleno florescimento, a aplicação de 150 g ha⁻¹ de Si foi a que proporcionou as melhores trocas gasosas das plantas de milho cultivado em segunda safra.

Palavras chave: Zea Mays, adubação silicatada, mitigação de estresses abióticos, milho safrinha, Cerrado.

INTRODUÇÃO

O milho é cultivado em todas as regiões do país, em diferentes épocas por causa das variações climáticas existentes, pois os cultivos são diferenciados quando é cultivada em primavera/verão, no período das chuvas em janeiro e o cultivo após a colheita da soja no verão/outono (Contini et al., 2019). Grande parte do mundo cultiva este cereal que é amplamente utilizado na alimentação humana e animal, bem como empregado para matéria prima na produção de centenas de produtos (Adiaha et al., 2016).

Na safra 2021/22 do Brasil, estima-se uma produção de 269,3 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,4% quando comparada à safra 2020/21, o milho tem uma expressiva participação neste montante com 87 milhões de toneladas colhidas na safra de 2020/21 com projeção de 115,6 milhões de toneladas para safra 2021/22 (Conab, 2022).

O silício (Si) pode ser fornecido às plantas tanto via solo quanto via foliar. Sua aplicação no solo demanda grandes quantidades devido a sua baixa solubilidade. Ao mesmo tempo, a aplicação via foliar tem surgido como alternativa, uma vez que as fontes são altamente solúveis, podendo ser aplicadas em baixas concen-



trações com altas taxas de aproveitamento, reduzindo custos e sendo mais viável economicamente (Flores et al., 2019; Couto et al., 2020; Bueno et al., 2022; Peixoto et al., 2022).

Diversas técnicas agrônômicas e fisiológicas são aplicadas para tornar mínimo o efeito maléfico causado pelo estresse hídrico e ataque de pragas e doenças nas culturas. O Si pode induzir a avanços nas culturas, especialmente quando são analisados os aspectos morfológicos e/ou fisiológicos por meio do aumento da capacidade fotossintética, redução na evapotranspiração das folhas e na condutância estomática (Pareek et al., 2017).

Desta maneira, nota-se a grande importância da aplicação deste elemento benéfico as culturas, representando uma estratégia para melhora das culturas, na região do Cerrado, tal aplicação pode resultar em maiores produtividades e aumento na renda dos agricultores. Fato pelo qual o presente trabalho tem como objetivo a avaliar as características fisiológicas e teores nutricionais em função da adubação foliar contendo silício para a produção do milho de segunda safra no Cerrado brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas safras 2020 e 2021, no campo experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA-UFG), no município de Goiânia, GO, Brasil, nas coordenadas geográficas 16°35'S e 49°21'O, 730 m de altitude. Conforme classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima da região é tropical de savana megatérmico (Aw). A precipitação média anual, dos últimos 36 anos, foi de 1.495 mm segundo Casaroli et al. (2018). O solo do presente estudo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura franco argiloso siltoso (Santos et al., 2018).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, constituído pelas safras (2019/20 e 2020/21), e a adubação foliar contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha⁻¹ de Si), aplicados na forma de silicato de potássio e cobre (Si = 107 g L⁻¹; K₂O = 34,7 g L⁻¹; Cu = 14,9 g L⁻¹; pH = 11,8), estabilizado com sorbitol a 10%. Cada unidade experimental composta por doze linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m.

Para cada solução aplicada contendo o silício, as concentrações de potássio e cobre foram equilibradas na calda de pulverização, com o uso de cloreto de potássio (P.A.) e o óxido de cobre (P.A.), para neutralizar o efeito destes nutrientes nos tratamentos. As pulverizações de silício foram divididas em três momentos: a primeira quando as plantas apresentassem quatro folhas completamente desenvolvida (V4); a segunda com oito folhas completamente expandidas (V8) e, a última no início da fase reprodutiva (R1). O volume da calda foi ajustado para uma vazão de 200 L ha⁻¹, aplicada com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, acoplado a uma barra de pulverização, com 3 m de largura e seis pontas do tipo jato plano (XR 110.02), espaçadas em 0,5 m.

A cultivar de milho utilizada foi a B2433 PWU (Brevant), com semeadura na primeira quinzena de março de cada safra (2020 e 2021). Por ocasião do pleno florescimento e polinização (R1) do milho, em cada safra, foi realizada a amostragem de 30 folhas por unidade experimental (folhas completamente desenvolvidas), para determinação do estado nutricional em R1 (Sousa & Lobato, 2004).

As amostras foliares foram lavadas com água corrente, seguida de água destilada para eliminação das impurezas presentes. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar reguladas para a temperatura de 65 °C por 72h e, posteriormente, moídas em moinho tipo Willey com peneira de 2 mm para realização das análises químicas de macro e micronutrientes conforme recomendações propostas por Silva (2009) e de Si conforme Kraska & Breitenbeck (2010).

No pleno florescimento (R1), foram realizadas as avaliações fisiológicas das plantas, por meio da determinação das trocas gasosas (condutância estomática, transpiração e taxa de fotossíntese líquida). As determinações foram feitas com auxílio de um analisador de fotossíntese, IRGA, com câmara foliar de 6,25 cm². As leituras ocorreram entre as 9:00 e 15:00 horas em três folhas plenamente expandidas a partir do ápice do caule principal e com bom aspecto fitossanitário conforme indicações de Flores et al. (2018).



Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o pacote estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Junior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando avaliado o efeito das doses de Si aplicadas, vê-se que não há diferença significativa somente para os teores foliares de fósforo. Já para nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre foi observado significância entre os tratamentos realizados. Maiores teores foram encontrados com a aplicação de 150 g ha⁻¹ e o tratamento controle (sem silício) para o nitrogênio, magnésio e enxofre.

O cálcio obteve teores maiores com o aumento dos teores aplicados de Si. E para o potássio foi encontrado menor valor com a aplicação de 450 g ha⁻¹. Efeitos das interações entre safras e doses de silício foram observadas para os teores foliares de nitrogênio, potássio e enxofre. Foi encontrada diferença significativa nas doses aplicadas de ferro e manganês, onde com as aplicações de 450 e 600 g ha⁻¹ obteve os maiores teores foliares.

Na Figura 1 são apresentados os desdobramentos das interações entre as safras e a aplicação de silício para os teores obtidos. Para os teores de nitrogênio no milho (Figura 1a), observa-se que com a aplicação de silício reduziu os teores na primeira safra, atingindo o máximo de 51,25 g kg⁻¹ com a aplicação de 42,21 g ha⁻¹ de Si. No entanto, na segunda safra o comportamento foi contrário, com ajuste quadrático, atingindo o máximo teor de 43,08 g kg⁻¹ com a aplicação de 150 g ha⁻¹ de Si e um mínimo de 511,25 g kg⁻¹ com a aplicação de 32,62 g ha⁻¹ de Si.

O potássio tem o comportamento, de seus teores foliares, semelhante ao de nitrogênio. Onde para as duas safras o comportamento foi quadrático, sendo na primeira safra tem-se um máximo teor de potássio de 21,72 g kg⁻¹ com a aplicação de 242,5 g ha⁻¹ de Si. Já na segunda safra um teor mínimo de 21,35 g kg⁻¹ com 300 g ha⁻¹ de Si aplicados (Figura 1b).

Para o cálcio e magnésio observou-se ajuste linear, onde com a aplicação de 600 g ha⁻¹ tem-se um máximo de 4,2 g kg⁻¹ de cálcio e 1,72 g kg⁻¹ de magnésio. Para este segundo obteve 2,62 g kg⁻¹ aplicando-se 150 g ha⁻¹ de Si (Figuras 1c e 1d). O enxofre, desdobrando a safra dentro das doses aplicadas, obteve comportamento quadrático para as duas safras. Sendo que com a aplicação de 300 g ha⁻¹ de Si o máximo de 3,46 g kg⁻¹ e mínimo de 2,28 g kg⁻¹ na primeira e segunda safra respectivamente.

Quando observamos os micronutrientes analisados, observamos um comportamento linear positivo tanto para o ferro quanto para o manganês. Teores foliares de 228,5 mg kg⁻¹ para ferro e 41,7 mg kg⁻¹ para manganês foram encontrados para a maior dose aplicada de Si (Figuras 1f e 1g).



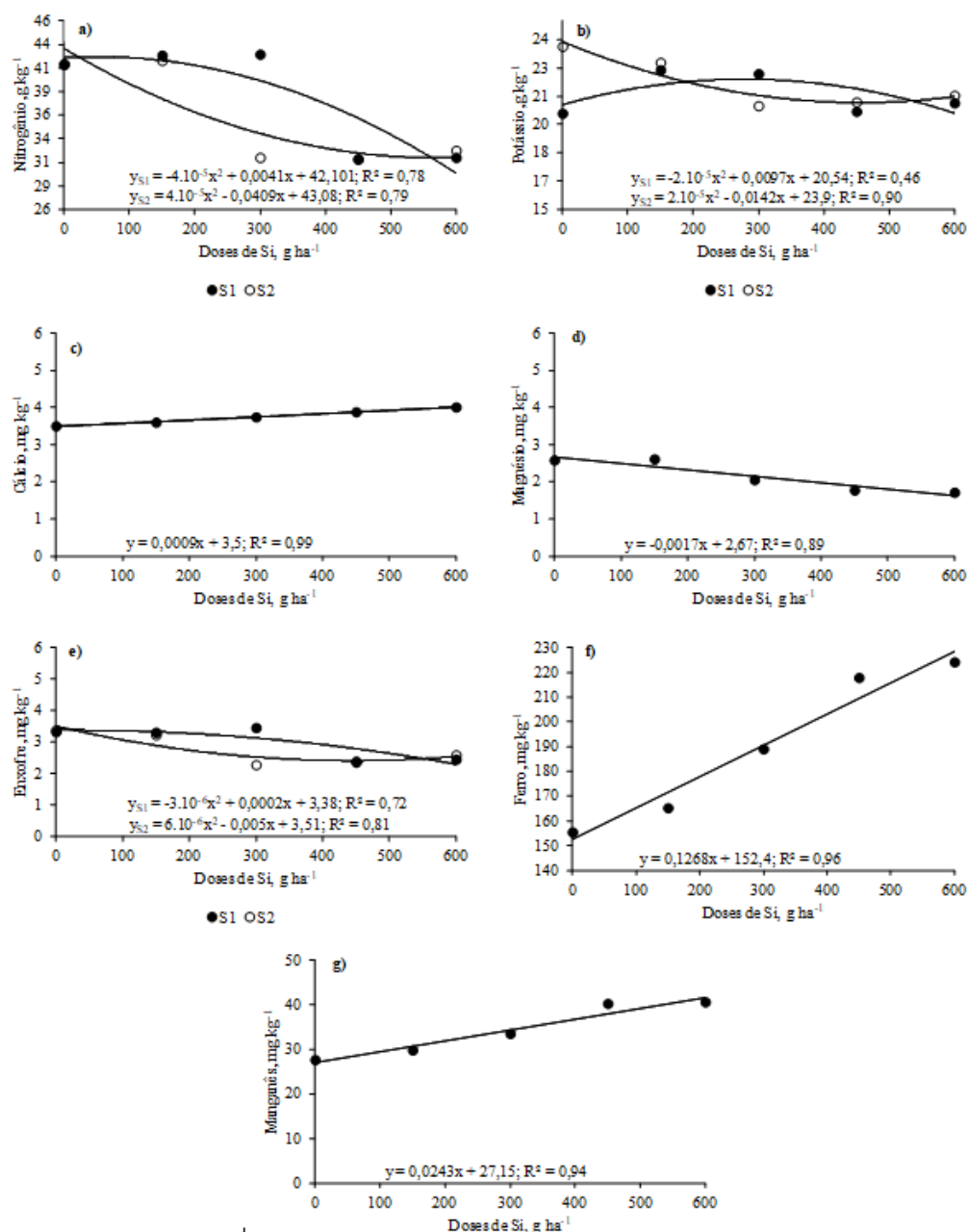


Figura 1. Efeito da interação entre a safra e a aplicação de silício nos teores foliares de Nitrogênio (a), potássio (b), cálcio (c), magnésio (d), enxofre (e), Ferro (f) e manganês (g) do milho cultivada em condições edafoclimáticas de Cerrado.

Após a avaliação da interação entre safras e as doses de Si, observa-se que as maiores taxas fotossintéticas e condutâncias estomáticas foram maiores durante a primeira safra, independentemente da aplicação de silício. A fotossíntese líquida foi menor durante a segunda safra R1 (Figura 2a) em função das doses de silício aplicadas. Em R1, as maiores taxas fotossintéticas de 74,8 e 87,56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foram observadas sem aplicação de Si e com a aplicação de 130 g ha^{-1} de Si, respectivamente (Figura 2a). Para as taxas transpiratórias em R1, os maiores valores foram observados com a aplicação de 100 g ha^{-1} de Si com obtendo 7,97 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira safra, já na segunda safra com a dose de 410 g ha^{-1} de Si tem um mínimo de transpiração de 5,47 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2b). Ainda, quando se avalia da condutância estomática em R1, ambas as safras apresentaram o comportamento com ajustes quadrático, onde as concentrações de 0,51 e 0,19 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira e segunda safra foram obtidos com a aplicação de 175 e 600 g ha^{-1} de Si, respectivamente (Figura 2c).

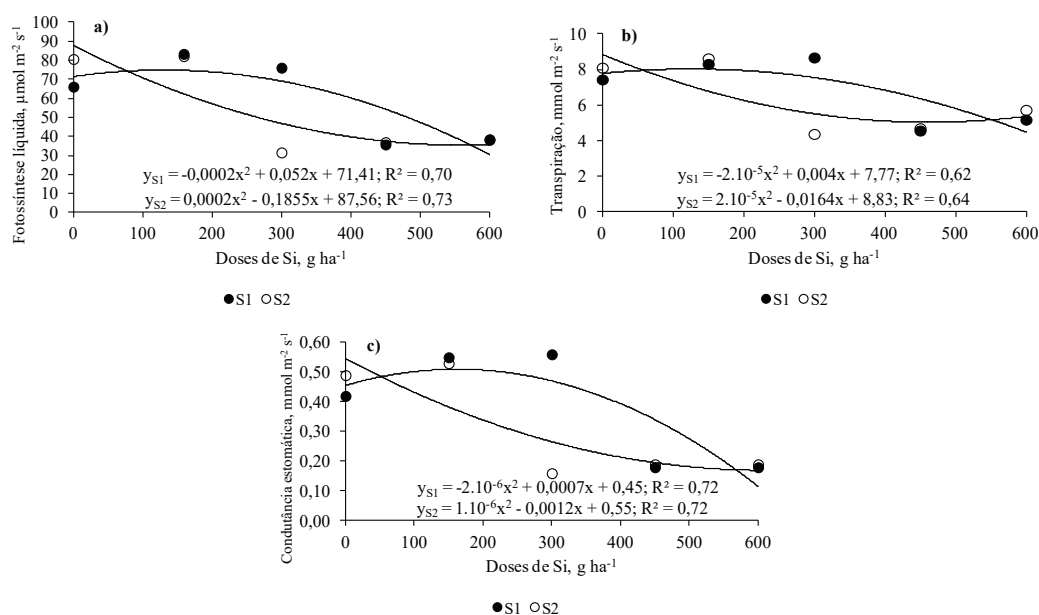


Figura 2. Efeito da interação entre as safras e a aplicação de silício na fotossíntese líquida (a), na transpiração (b) e condutância estomática (c) em R1 do milho cultivada em condições edafoclimáticas de Cerrado.

Em plantas de trigo, Pinto et al. (2012), tratadas com aplicação foliar de 3 g L^{-1} de silicato de potássio obtiveram acréscimo de 44% na taxa de fotossíntese líquida e os tratamentos não influenciaram a condutância estomática e transpiração. Conforme Amaral et al. (2006), a condutância estomática é um fator de grande importância, uma vez que os estômatos correspondem à principal via de trocas gasosas entre atmosfera e interior das plantas, sendo também um canal de elevada perda de água. A condutância estomática por regular as trocas gasosas, tem relação direta com o processo fotossintético (Ferreira, 2008).

CONCLUSÃO

A adubação foliar contendo silício na dose de 150 g ha^{-1} divididas em três pulverizações é capaz de promover as melhores taxas de trocas gasosas das plantas de milho cultivada em segunda safra no Cerrado brasileiro, nas mesmas condições do presente estudo.

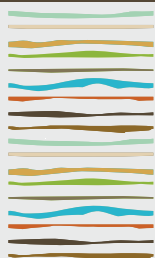
BIBLIOGRAFIA

- Adiaha, MS; OA Agba; EE Attoe; TO Ojikpong; MA Kekong; A Obio & UL Undie. 2016. Effect of maize (*Zea mays* L.) on human development and the future of man-maize survival: A review. **World Scientific News**, 59(1):52-62.
- Amaral, JAT; AB Rena; JFT Amaral. 2006. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(3):377-384.
- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (eds.). 2015. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: UNESP. 396 pp.
- Bueno, AM; RA Flores; EPB Ferreira; AF Andrade; FRS Lima; JP Souza Junior; KO Abdala; M Mesquita & RM Prado. 2022. Effects of foliar silicon application, seed inoculation and splitting os N fertilization on yield, physiological quality, and economic viability of the common bean. **Silicon**, 14:4169-4181.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & JA Júnior. 2018. Padrões de Chuva e de Evapotranspiração em Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247-256.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v.12– Safra 2021/22, n.12, Brasília: Conab, p.1-94.
- Contini, E; MM Mora; R Marra; E Borghi & A Miranda. 2019. **Milho**: Caracterização e Desafios Tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, 45p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2).
- Couto, CA; RA Flores; JC Neto; MM Peixoto & JP Souza Junior. 2020. Crescimento, biomassa e qualidade fisiológica do arroz em função da aplicação foliar de silício. **Brazilian Journal of Development**, 6(4):18997-19014.



- Ferreira, SM. 2008. **Efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossipium hirsutum* L.): aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade**. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – USP.
- Flores, RA; EM Arruda; V Damin; JP Souza Junior & DDC Maranhão. 2018. Physiological quality and dry mass production of *Sorghum bicolor* following silicon (Si) foliar application. **Australian Journal of Crop Science**, 12(4):631-638.
- Flores, RA; JP Souza Junior; AS Santos; FJR Cruz; CDS Campos; GB Silva Junior & RM Prado. 2019. Importância do silício na bioquímica e fisiologia das plantas. In: Flores, RA; PP Cunha; RL Marchão & MF Moraes (Eds.). **Nutrição e adubação: de grandes culturas no Cerrado**. 620 pp. Goiânia: Gráfica UFG. p.77-96.
- Köppen, W & R Geiger. 1928. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag condicionadas. Justus Perthes.
- Kraska, JE & GA Breitenbeck. 2010. Simple, robust method for quantifying silicon in plant Tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 41:2075-2085.
- Pareek, S; NA Sagar; S Sharma; V Kumar; T Agarwal; GA González-Aguilar & EM Yahia. 2017. Chlorophylls: Chemistry and Biological Functions. Fruit and Vegetable Phytochemicals. **Chemistry and Human Health**, 1(2):269-284.
- Peixoto, MM; RA Flores; CA Couto; HDN Pacheco & RM Prado. 2022. Silicon application increases biomass yield in sunflower by improving the photosynthesizing leaf area. **Silicon**, 14:275-280.
- Pinto, DG; MAG Aguilar; CAS Souza; DM Silva; PR Siqueira; JR Cao & LV Zanetti. 2012. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Ceres**, 59(3):360-367.
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira & JF Lumberras (Eds). 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356p.
- Silva, APR. **Formas de aplicação de silício e o seu efeito na mitigação da toxidez de zinco no milho**. 2021. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura), UNESP.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds.). 2004. **Cerrado: correção e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416p.





EFEITO DA ADUBAÇÃO FOLIAR CONTENDO SILÍCIO NO RENDIMENTO PRODUTIVO DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA

Lima, M.L.^{1,3*}, R.A. Flores², M.F.N., Xavier³, R.T. do Carmo³, R.G. de Sousa⁴, e F.S.R. de Lima³

¹Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

²Professor Adjunto da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴Discente de Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

*Rodovia Antonino Menezes da Silva (antiga RR 342), Km 03, Amajari, Roraima, Brasil, CEP 69343-000, mateus.lima@ifrr.edu.br

RESUMO

O silício (Si) é considerado benéfico para o crescimento e desenvolvimento de plantas, no entanto, sua aplicação via foliar na cultura do milho segunda safra ainda são incipientes, evidenciando a necessidade de maiores estudos sobre sua viabilidade técnica. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de silício no rendimento produtivo de grãos do milho de segunda safra cultivado no Cerrado brasileiro. A pesquisa foi realizada sob um delineamento experimental em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. Para o primeiro fator, foram consideradas as duas safras cultivadas (2020 e 2021) enquanto que o segundo fator foram às adubações foliares contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha⁻¹ de Si). Foram avaliados os teores de silício nas folhas, o peso de 1000 grãos e a produtividade de grãos do milho. Ao final da pesquisa, observa-se que os teores de Si nas plantas de milho aumentaram em ambas as safras, refletindo em ganho de peso dos grãos colhidos do milho. No entanto, ao avaliar o rendimento produtivo de grãos, observa-se incremento na produtividade somente na dose de 150 g ha⁻¹ de Si, a qual proporcionou a produção de 5.937 kg ha⁻¹ de grãos, ou seja, um ganho de 9 sacas de grãos em relação ao tratamento controle, sem adubação contendo silício.

Palavras chave: Zea Mays, milho safrinha, cerrado brasileiro.

INTRODUÇÃO

O milho é cultivado em todas as regiões do país, em diferentes épocas por causa das variações climáticas existentes, pois os cultivos são diferenciados quando é cultivada em primavera/verão, no período das chuvas em janeiro e o cultivo após a colheita da soja no verão/outono (Contini et al., 2019). Com a estimativa da safra (2021/22) brasileira em 269,3 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,4% ou 13,8 milhões de toneladas quando comparada à safra 2020/21, o milho tem uma expressiva participação neste montante com 87 milhões de toneladas colhidas na safra de 2020/21 com projeção de 115,6 milhões de toneladas para safra 2021/22 (Conab, 2022).

O Si é avaliado como um elemento benéfico, mas não é considerado um elemento essencial à planta por não atender aos critérios diretos e indiretos de essencialidade definidos por Arnon & Stout (1939), contudo, seus benefícios são agronomicamente comprovados. Dentre os benefícios do Si nas plantas, os principais estão relacionados com o aumento na capacidade fotossintética, redução da transpiração das folhas e na condutância estomática (Pareek et al., 2017).

Os estudos com aplicação de silício comprovam a sua eficiência em vários segmentos, como aumento de



produtividade e a resistência a pragas e doenças, com efeitos significativos na redução de toxicidade por Alumínio e do estresse tanto hídrico quanto salino, o que o torna uma alternativa viável para os produtores (Rodrigues et al., 2011).

A aplicação de Si ao solo é uma prática que vem aumentando a cada dia, pois já se sabe que este elemento traz inúmeros benefícios para o desenvolvimento de algumas plantas. O presente trabalho tem como objetivo a averiguação do potencial da adubação foliar contendo silício no rendimento produtivo de grãos do milho cultivado no Cerrado brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°35'48" S e 49°16'63" O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018). O período de condução do estudo foi durante a segunda safra (entre março e julho de 2022). O solo presente neste estudo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura franco argiloso siltoso, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) (Santos et al., 2018). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, constituído pelas safras (2020 e 2021), e a adubação foliar contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha⁻¹ de Si), aplicados na forma de silicato de potássio e cobre (Si = 107 g L⁻¹; K₂O = 34,7 g L⁻¹; Cu = 14,9 g L⁻¹; pH = 11,8), estabilizado com sorbitol a 10%. Para cada solução aplicada contendo o silício, as concentrações de potássio e cobre foram equilibradas na calda de pulverização, com o uso de cloreto de potássio (P.A.) e o óxido de cobre (P.A.), para neutralizar o efeito destes nutrientes nos tratamentos. As pulverizações de silício foram divididas em três momentos: a primeira quando as plantas apresentassem quatro folhas completamente desenvolvida (V4); a segunda com oito folhas completamente expandidas (V8) e, a última no início da fase reprodutiva (R1). O volume da calda foi ajustado para uma vazão de 200 L ha⁻¹, aplicada com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, acoplado a uma barra de pulverização, com 3 m de largura e seis pontas do tipo jato plano (XR 110.02), espaçadas em 0,5 m.

O plantio do híbrido de milho com a cultivar B2433 PWU (Brevant) foi realizado na primeira quinzena de março de cada safra, 2020 e 2021. Por ocasião do pleno florescimento e polinização (R1) do milho, em cada safra, foi realizada a amostragem de 30 folhas por unidade experimental (folhas completamente desenvolvidas), para determinação de Si em R1 (Kraska & Breitenbeck, 2010). As amostras foliares foram lavadas com água corrente, seguida de água destilada para eliminação das impurezas presentes. Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar reguladas para a temperatura de 65 °C por 72h e, posteriormente, moídas em moinho tipo Willey com peneira de 2 mm para realização das análises químicas de Si. No momento da colheita, foram avaliados o peso de 1000 de grãos (PMS) e a produtividade logo após atingirem a maturação fisiológica. A colheita foi feita por meio da coleta de todas as espigas contidas em 10 m lineares de cada parcela experimental. As espigas foram trilhadas e os grãos secos foram pesados, com os dados corrigidos para a umidade de 13% da base úmida, e transformado para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o pacote estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Junior, 2015). Quando foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, as médias dos parâmetros qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para parâmetros quantitativos estatisticamente significativos, foi realizada análise de regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a pesquisa, observa-se que os teores de Si durante a segunda safra foram maiores que a primeira, independentemente da dose de Si aplicada (Tabela 1). De modo semelhante, quando avaliado isoladamente o efeito da aplicação de Si, observa-se que os teores aumentaram em função da adubação contendo Si (Tabela 1). Contudo, há efeito de interação entre as safras e a adubação foliar contendo Si, onde houve ajuste linear para a primeira safra e ajuste quadrático para a segunda safra do milho, atingindo 1,89 g kg⁻¹ com aplicação de 600 g ha⁻¹ de Si na primeira safra e na segunda safra o maior teor de 1,53 g kg⁻¹ com a aplicação de 600



g ha⁻¹ (Figura 1a). Segundo Korndörfer et al. (2006), os teores foliares de Si no milho podem variar entre 2,5 a 11,4 g kg⁻¹. Observa-se que no presente estudo, os teores médios foram inferiores ao limite estabelecido pelos autores, onde somente com a aplicação de 600 g ha⁻¹ de Si promoveu a absorção de Si para teores superiores ao estabelecidos (Tabela 1).

Tabela 1. Teor foliar de silício, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos de milho em função da adubação foliar contendo Si, cultivado no Cerrado brasileiro. Goiânia, GO, Brasil.

Tratamento	Si	Peso de 1000 grãos	Produtividade
Safra (S)	g kg ⁻¹	g	kg ha ⁻¹
2020	1,29 b	191,80	5.543,78
2021	1,47 a	193,86	5.522,90
F	5,14*	0,54 ^{ns}	2,33 ^{ns}
Doses Si (Si) (g ha⁻¹)			
0	0,77 c	176,43 c	5.381,87 cd
150	1,78 b	186,42 bc	5.937,75 a
300	1,31 b	192,50 b	5.570,37 b
450	1,35b	209,55 a	5.423,79 c
600	2,28 a	199,26 ab	5.352,90 d
F	36,37**	16,14**	248,49**
Efeitos da Interação			
S x Si	9,43**	1,68 ^{ns}	38,94**
Média	1,38	192,83	5.533,33
C.V.	18,83	4,58	0,78

^{ns}, ** e * - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey e, significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



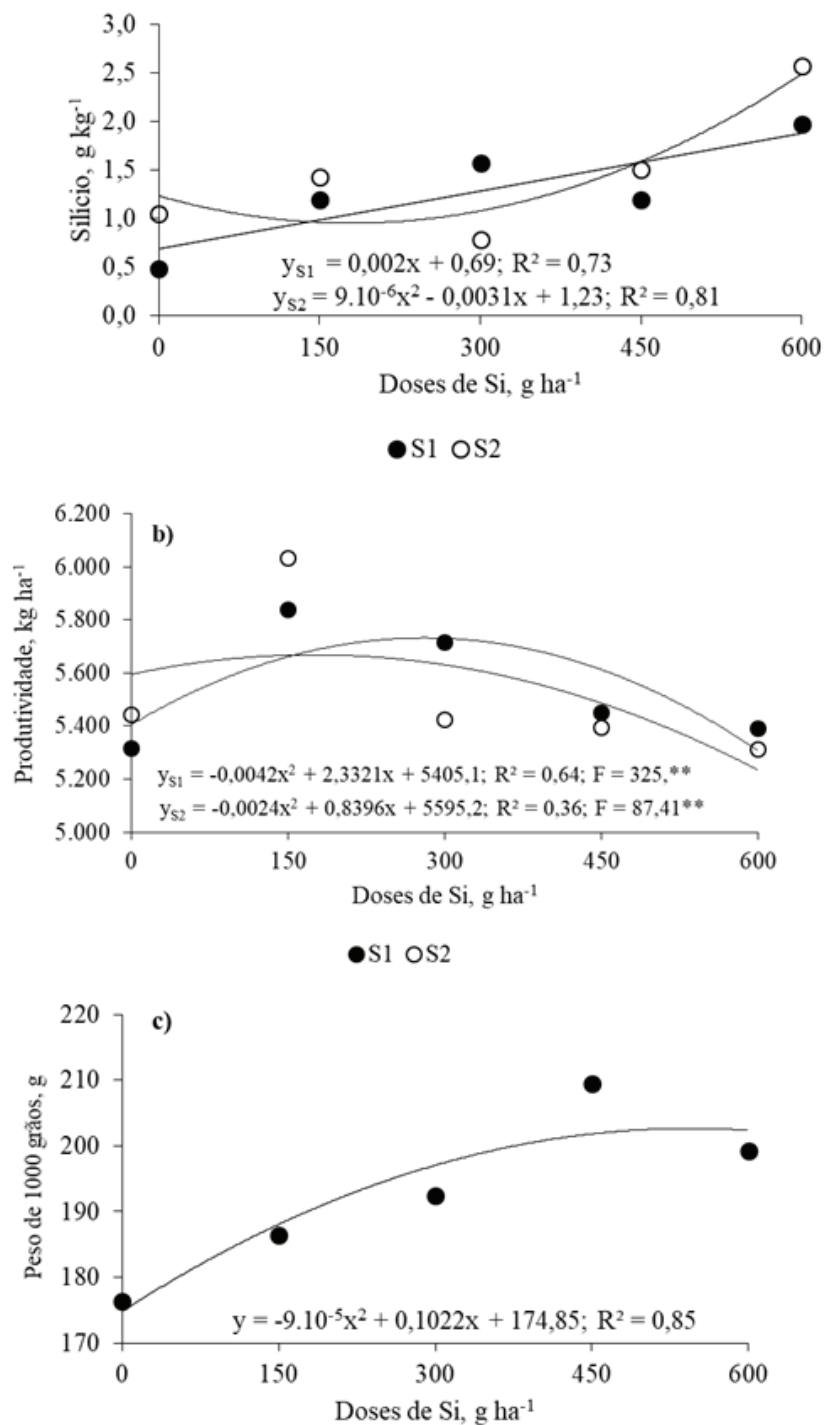


Figura 1. Teores foliares de Si (a), produtividade de grãos (b) e peso de 1000 grãos (c) em função da adubação foliar contendo silício na cultura do milho de segunda safra cultivada no cerrado brasileiro. Goiânia, GO.

Para o peso de 1000 grãos, não houve diferença entre as safras, apresentando um peso médio de 192 g, independentemente da adubação contendo Si (Tabela 1). No entanto, ao avaliar o efeito da adubação silicatada, observa-se um ajuste quadrático para o peso de 1000 grãos, atingindo 232 g com a aplicação de 567 g ha⁻¹ de Si (Figura 1c).

Nota-se que não houveram diferenças estatísticas entre as safras para a produção de grãos do milho cultivado no cerrado brasileiro, as quais apresentaram o valor médio de 5.533 kg ha⁻¹ de grãos (Tabela 1). Contudo houveram efeitos da interação entre as safras e a produtividade de grãos do milho cultivado no Cerrado brasileiro, conforme pode ser observado na Tabela 1. Para a produção de grãos na primeira safra, observa ajuste quadrático, atingindo a máxima produtiva de 5.729 kg ha⁻¹ de grãos com a aplicação de 277,3 g ha⁻¹ de Si, enquanto que na segunda safra, o ajuste também foi quadrático, obtendo a máxima produtiva de 5.669 kg ha⁻¹ de grãos com o fornecimento de 175 g ha⁻¹ de Si (Figura 1b).

Sousa et al. (2010) avaliaram o efeito do silicato de potássio aplicado via foliar no desenvolvimento do milho e concluíram que a sua aplicação influencia positivamente na produtividade de grãos e no peso de mil grãos do milho. Para Miranda et al. (2018), aplicando diferentes fontes e formas de silício na cultura do milho, o peso de 1000 grãos teve efeito significativo entre os tratamentos aplicado porém sem efeitos na produtividade de grãos do milho. Segundo Datnoff et al. (2001) a aplicação de silício para a produção do milho proporciona aumento na capacidade fotossintética e maior aproveitamento da água, proporcionando condições favoráveis para o incremento no peso grãos.

Reis et al. (2019) realizaram estudo com diferentes doses de silicato de magnésio (Agrosilício), onde os resultados de produtividade de grãos de milho cultivado no período da segunda safra do ano de 2018 indicam não haver diferença significativa entre as doses utilizadas. Neste mesmo estudo nota-se uma diferença de 2 sc ha⁻¹ a mais com o tratamento com silício quando comparado com a ausência deste elemento. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2009) e Rodrigues (2020), que não constatou influência no peso de grãos das plantas de milho. Já para Araújo et al. (2022) foi observado diferença significativa na produtividade do milho em resposta a aplicação de Si.

De maneira geral, a aplicação de 150 g ha⁻¹ de Si, dividida em três pulverizações durante o ciclo da cultura é capaz de proporcionar incrementos de até 9 sc ha⁻¹ na produção de grãos, contudo, doses superiores pode promover efeitos deletérios as quais reduzem o rendimento produtivo da cultura.

CONCLUSÃO

A adubação silicatada na dose de 150 g ha⁻¹ de Si é capaz de promover incrementos de até 9 sc ha⁻¹ no rendimento produtivo de grãos do milho cultivado no Cerrado brasileiro, nas mesmas condições avaliadas.

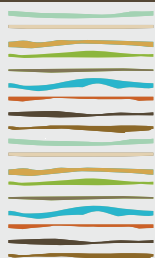
BIBLIOGRAFIA

- Araújo, VS; TKR Sousa; RS Nobre; CM Santos; KKS Silva Negreiros; AC Carvalho; FR Veloso; RC Veloso & JS Rezende. 2022. Influência da aplicação foliar de silício no desenvolvimento e produtividade do milho sob déficit hídrico no semiárido piauiense. *Research, Society and Development*, 11(5):e25711528051.
- Arnon, DI & PR Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14:371-375.
- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. Experimentação agrônômica e agroestat: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: UNESP. 396 pp.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves-Júnior. 2018. Rain fallande vapotranspiration patterns in Goiânia, GO. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(2):247–256.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.12– Safra 2021/22, n.12, Brasília: Conab, p. 1-94.
- Contini, E; MM, Mora; R, Marra; E, Borghi & A, Miranda. 2019. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. Brasília: Embrapa, 45p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2).
- Datnoff, LE; GH Snyder & GH Korndorfer. 2001. Silicion in Agriculture. Amsterdam: Elsevier Science, p.149-158.
- Korndörfer, GH; A, Nolla & LA, Oliveira. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi-ICIAG/UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 2).
- Kraska, JE & GA Breitenbeck. Simple, robust method for quantifying silicon in plant Tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41:2075-2085, 2010.



- Miranda, PS; TR Moraes; JRE Santos; FD Carvalho; JP Viana & R Pérez-Maluf. 2018. Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista Ciências Agroambientais*, 16(1):1-6.
- Pareek, S; NA Sagar; S Sharma; V Kumar; T Agarwal; GA González-Aguilar & EM Yahia. 2017. Chlorophylls: Chemistry and Biological Functions. *Fruit and Vegetable Phytochemicals*. 1(2):269-284.
- Reis, MC; BB Andrade & GR Vasconcelos. 2019. Silicato de cálcio e magnésio no milho segunda safra: fitossanidade, fertilidade do solo e produtividade. *Revista do Comeia*, 1(1):9-22.
- Rodrigues, AAR. 2020. Silício e herbivoria no metabolismo e resistência induzida em milho e sorgo. 2020, 97 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – UFU.
- Rodrigues, F; L Oliveira; A Korndorfer & G Korndorfer. 2011. Silício: um elemento benéfico e importantes para as plantas, *Informações Agronômicas* 134:14 -20.
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumbreras; MR Coelho; JA Almeida; JC Araújo-Filho; JB Oliveira & TJF Cunha (Eds). 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Silva, ACA. 2009. Efeito do silício aplicado no solo e em pulverização foliar na incidência da lagarta do cartucho na cultura do milho. 2009. 74p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas), UNESP.
- Sousa, JV; CR Rodrigues; JMQ Luz; PC Carvalho; TM Rodrigues & CH Brito. 2010. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. *Bioscience Journal*, 26(4):502-513.





XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SILICATADA NA BIOMETRIA E FISILOGIA DO MILHO DE SEGUNDA SAFRA

F.S.R. de Lima^{1,*}, S.R. Conceição², Flores, R.A.³; M.F.N. Xavier¹, R.T. do Carmo¹, M.L. Lima⁴ e N.P.R. Reges¹

¹ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

² Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

* Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, CEP 74.690-900, fredericofredlimaufg@yahoo.com.br

RESUMO

A cultura do milho tem uma grande importância mundial, já que é um dos principais cereais utilizados na alimentação animal e humana. O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigido pela cultura influenciando processos bioquímicos que refletem na capacidade produtiva da cultura. O silício é um importante indutor de resistência aos estresses bióticos e abióticos, comuns na região do Cerrado brasileiro. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento biométrico e fisiológico do milho de segunda safra em função de fontes nitrogenadas e da adubação foliar contendo silício. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2022, em área experimental da Escola de Agronomia da UFG, no município de Goiânia, GO, Brasil. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitratop) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹), divididas em três pulverizações, com seis repetições. Foram avaliados a altura das plantas, o diâmetro do colmo, os teores de flavonóis, antocianina, o índice de balanço de nitrogênio (NBI) e o teor de clorofila nas plantas do milho. As fontes nitrogenadas de forma isolada não foram capazes de afetar a biometria das plantas de milho cultivada em segunda safra. Ao mesmo tempo, os índices de flavonóis foram maiores com o uso do nitratop (27% de N) em relação à ureia (45% de N). Há interação entre a fonte nitrogenada e o fornecimento de silício os índices de flavonóis, indicando que este parâmetro possa ser utilizado para avaliar o comportamento fisiológico das plantas de milho em função do manejo nutricional adotado.

Palavras chave: *Zea mays*, mitigação de estresses abióticos, Cerrado brasileiro.

INTRODUÇÃO

O estado de Goiás, no Brasil, tem se destacado de forma significativa nos últimos anos na produção de grãos. De acordo com 12º levantamento da Conab, comparando-se a safra anterior, o Estado registrou um crescimento de 9,2% na safra 2021/2022 em área plantada, com estimativa de 29,8% na produtividade somente na segunda safra, o qual poderá atingir 86,1 milhões de toneladas de grãos somente no segundo ciclo (CONAB, 2022).

Dessa maneira, a alta produção está relacionada ao manejo adequado na cultura. Assim sendo, o milho é uma cultura que depende muito de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, por ser o mais absorvido, portanto, o suprimento inadequado de nitrogênio (N) está intimamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Com isso, o nitrogênio desempenha uma importante função nos processos bioquímicos, sendo um constituinte de enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos, proteínas e clorofila (Cantarella, 1993).



Por sua vez, a deficiência do nitrogênio na planta causa clorose generalizada, diminuição de área foliar e deformações na espiga. Para realizar a correção, são utilizados fertilizantes nitrogenados, sendo os mais comuns a ureia e o sulfato de amônio, podendo ser perdidos por meio da lixiviação, escoamento superficial, volatilização da amônia ou imobilização na biomassa microbiana (Fernandes, 2019).

A adubação realizada por meio do nitrato de amônio e cálcio (CAN), é uma alternativa bastante afável pelo fato de apresentar algumas vantagens, de não perder o nitrogênio por redução de amônio, não acidifica o solo e ainda fornece simultaneamente nitrogênio e cálcio para a planta (Barros, 2019).

Além do uso do nitrogênio, estudos científicos têm mostrado a eficiência do uso de silício (Si) nas culturas, demonstrando o envolvimento deste em aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da planta, provendo melhorias no metabolismo, ativando genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionada ao mecanismo de defesa. Ademais, tem-se observado em pesquisas, que por meio da aplicação via foliar em quantidades menores, tem se tornando uma opção viável para as plantas, pois o silício influencia na atividade radicular provendo a absorção de água e nutrientes, principalmente, nitrogênio, fósforo e potássio proporcionando efeitos benéficos às culturas (Figueiredo et al., 2010).

Nesse sentido, ressalta-se a importância de um devido manejo sustentável de produção do milho de segunda safra, com o uso de fontes nitrogenadas que promovam a melhor eficiência de aproveitamento, bem como ganhos crescimento e desenvolvimento. Ainda, a inserção do Si no pacote tecnológico surge como alternativa viável para a produção do milho de segunda safra na região, principalmente devido às condições climáticas que favorecem os estresses abióticos como o estresse hídrico e altas temperaturas, comuns na região neste período. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento biométrico e fisiológico do milho de segunda safra em função de fontes nitrogenadas e da adubação foliar contendo silício.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (16°35'48" S e 49°16'63" O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018). O período de condução do estudo foi durante a segunda safra (entre março e julho de 2022).

O solo da área é classificado seguindo os procedimentos propostos por Santos et al. (2018), como LATOSOLO AMARELO Distroférrico. Para fins de caracterização e análise da fertilidade atual, foi realizada a amostragem de solo segundo as recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), e análise química seguindo metodologia proposta por (Silva, 2009) e, análise granulométrica conforme (Teixeira et al., 2017), na profundidade de 0,0-0,20 e 0,2-0,4 m, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Para o plantio, o solo foi preparado conforme sistema de cultivo convencional após o preparo do solo, sendo realizada gradagem seguida de grade niveladora, 10 dias após estes procedimentos foi feita a dessecação das plantas espontâneas com a aplicação de 5,0 L ha⁻¹ de Roundup Original® distribuídos em um volume de calda de 120 L ha⁻¹. As adubação de plantio foi realizada conforme a indicação para a cultura com base na análise química inicial, conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004), sendo: 210 kg ha⁻¹ de N – ureia ou nitrato (30 kg ha⁻¹ no plantio e 180 kg ha⁻¹ em duas coberturas, a primeira com as plantas contendo entre 4-6 folhas e a segunda as plantas contendo entre 8-10 folhas) e 150 kg ha⁻¹ de K₂O – cloreto de potássio (60 kg ha⁻¹ no plantio, e o restante em duas coberturas, a primeira com as plantas contendo entre 4-6 folhas e a segunda as plantas contendo entre 8-10 folhas) e 170 kg ha⁻¹ de P₂O₅ – fosfato monoamônico (MAP).



Tabela 1. Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m antes da instalação do experimento.

Prof. (m)	Argila	Areia	Silte	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.	pH	S
	-----g kg ⁻¹ -----			-----mg dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³
0 – 0,2	420	510	70	2,0	44,0	37,0	5,0	16,0	5,0	2,0
0,2 - 0,4	450	440	110	1,5	65,6	19,2	3,1	13,0	5,3	15,0
Prof. (m)	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	B	V	Na
	mg dm ⁻³			-----cmol _c dm ⁻³ -----				mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³
0 – 0,20	9,2	70,8	2,7	1,3	2,9	0,0	7,09	0,43	59,15	3,2
0,2 - 0,4	3,4	15,9	2,6	1,2	1,8	0,0	5,66	0,28	68,11	3,5

M.O.: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; V%: Saturação por bases.

A cultivar utilizada foi o híbrido B2782PWU. O plantio foi realizado para atender uma população de 65.000 plantas ha⁻¹. No decorrer do experimento foram realizadas, sempre que necessário, capinas manuais para o controle de plantas daninhas, para evitar possíveis efeitos fitotóxicos.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, composto por um esquema fatorial 2x5, onde os componentes principais serão as fontes de adubação nitrogenada (Nitrato (27% de N) e Ureia (45% de N)), e nos componentes secundários serão compostos pelas doses de silício aplicados de forma foliar (0-controle, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹ de Si, aplicados na forma de silicato de potássio), ambos com 6 repetições. Ressalta-se que as adubações foliares contendo o Si foram divididas em três momentos, sendo a primeira em V6, a segunda em V8 a terceira em V10. Para cada tratamento contendo a adubação silicatada houveram o equilíbrio na quantidade de potássio aplicada via forma de silicato de potássio de forma que houvessem as variações somente dos teores de Si. As pulverizações foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal com CO₂ de forma que a vazão fosse constante, calibrada para uma calda de 150 L ha⁻¹. Cada unidade experimental foi composta por 7 linhas de 20 m, espaçadas a 0,45 m, totalizando 63 m².

Quando as plantas atingiram o estágio R1, ou seja, quando as plantas estavam com pelo menos 50% das plantas pendoadas, foram realizadas as seguintes avaliações: Altura das plantas (considerando a base do solo até a inserção da última bainha), diâmetro do colmo (aferido logo após o primeiro nó a partir da base), bem como leituras fisiológicas das plantas de milho com o auxílio de um equipamento Dualex (teor de clorofila, teor de antocianina, teor de flavonóis e o IBN – índice de balanço de nitrogênio).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Para os dados significativos foi realizado o estudo da regressão linear e polinomial. A escolha do modelo de regressão foi baseada na significância dos coeficientes de regressão e no maior valor do coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, observa-se que o uso do nitrato em relação à ureia como fonte nitrogenada não afetou os parâmetros biométricos de altura e diâmetro do colmo das plantas de milho cultivada em segunda safra (Tabela 2). De modo semelhante, os índices de antocianina, balanço de nitrogênio e de clorofila também não foram influenciados pelo uso da fonte de menor solubilidade, nitrato. No entanto, ao avaliar o índice de flavonóis, observa-se que os valores foram superiores com o uso do nitrato em relação à ureia, independentemente da dose de silício aplicada no milho (Tabela 2). Os flavonóis são metabólitos secundários da classe dos polifenóis, gerados quando as plantas estão sob deficiência de N (Demotes-Mainard et al. (2008). Diante disto, acredita que o uso do nitrato como fonte nitrogenada pode ter limitado a liberação e solubilização de N no solo, com reflexos na quantidade inicialmente absorvida pela planta.



Tabela 2. Altura das plantas, diâmetro do colmo e índices fisiológicos das plantas de milho de segunda safra, ano agrícola 2022. Goiânia, GO, Brasil.

Tratamentos	Altura	Diâmetro		Flavonóis	Antocianina	NBI	Clorofila
	m	mm					
Fonte de N							
Ureia	2,11	24,71		2,03b	0,40	23,81	46,98
Nitrato	2,07	24,21		2,15a	0,42	23,70	47,84
F	1,90 ^{ns}	0,71 ^{ns}		6,25*	2,61 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Dose de Si (g ha⁻¹)							
0	2,08	23,80		2,12	0,40	22,35	45,17
450	2,13	24,62		2,20	0,43	24,25	48,45
900	2,14	24,97		2,19	0,41	24,18	48,01
1350	2,04	25,84		2,08	0,41	23,18	46,60
1800	2,05	23,06		1,85	0,39	24,85	48,81
F	2,05 ^{ns}	2,60*		6,04**	1,53 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,02 ^{ns}
Interação FxD							
F	0,69 ^{ns}	3,20*		5,33**	1,73 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,87 ^{ns}
Média Geral	2,09	24,46		2,09	0,41	23,76	47,41
CV	5,00	9,40		9,54	9,08	14,48	10,88

** , * , ns – significativo a 1 e 5% e, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Ao avaliar o efeito da aplicação de silício nas plantas de milho, não foram observados incrementos para a altura da planta, bem como os índices de antocianina, balanço de nitrogênio na planta e clorofila, conforme apresentado na Tabela 2. No entanto, observa-se que há efeito da interação entre a fonte nitrogenada aplicada no solo e a adubação foliar de silício no diâmetro do colmo e no índice de flavonóis das plantas de milho. Ao realizar o desdobramento da interação, observa-se que o diâmetro do colmo das plantas aumentaram com o fornecimento de silício e o uso da ureia como fonte nitrogenada, os quais atingiram o maior diâmetro (26,74 mm) com o uso de 1.117 g ha⁻¹ de Si (Figura 1). Quando utilizado o nitrato como fonte nitrogenada não houve influência do Si no diâmetro dos colmos do milho, os quais apresentaram o valor médio de 24,21 mm.

A aplicação foliar de Si promoveram alterações significativas nos índices de flavonóis, em ambas as fontes nitrogenadas aplicadas no solo, conforme pode ser observado na Figura 1. Nota-se que ao fornecer o nitrogênio na forma de nitrato, houveram efeitos com ajustes quadráticos, atingindo o máximo índice de 2,34 com a aplicação de 946 g ha⁻¹ de Si. Já quando a fonte nitrogenada foi a ureia, houve uma redução linear nos índices de flavonóis com o aumento do fornecimento de Si, atingindo o menor índice de 1,75 com a maior dose de Si aplicada, 1800 g ha⁻¹, divididas em três pulverizações (Figura 1). O Si é capaz de induzir a ativação de enzimas de defesa da planta, tais como peroxidases, polinoloxidase, quitinases, fenilalanina amonialiase e os flavonoides (Perdomo, 2017). De modo semelhante, Silva et al. (2015) relatam que o incremento no teor de Si na planta é capaz de aumentar o acúmulo de flavonóis nas paredes celulares das folhas, o que representa uma forte defesa bioquímica em resposta à infecção de patógenos. No presente estudo, foi observado que o comportamento dos índices de flavonóis foram diferentes em função das fontes nitrogenadas, sugerindo que há possíveis interações entre o teor de N e de Si na planta, o que é relatado na literatura internacional (Wu et al., 2017; Pavlovic et al., 2021). Contudo, no presente estudo, sugere que há interações diferentes entre o momento da disponibilidade de N para a cultura do milho em função das diferentes fontes nitrogenada utilizadas e a aplicação de Si, no entanto o mecanismo deste efeito ainda é objeto de estudo para melhor entendimento do efeito desta interação N e Si.

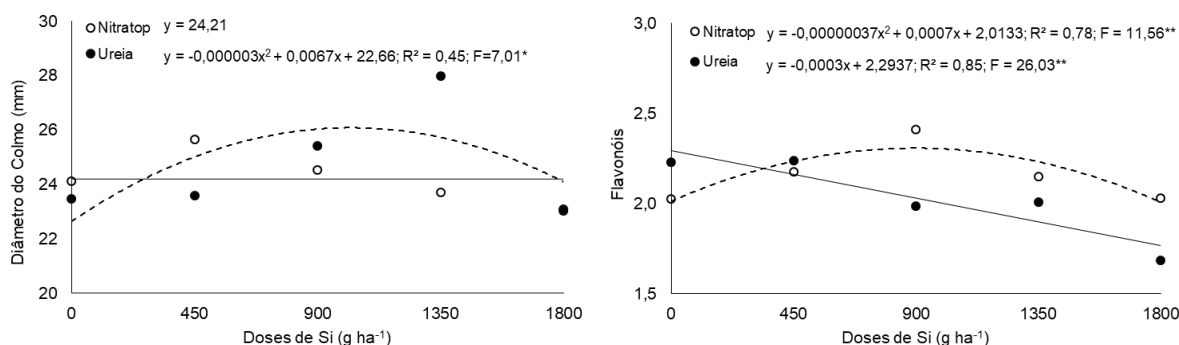


Figura 1. Diâmetro do colmo e índice de flavonóis das plantas de milho cultivado em segunda safra, ano agrícola 2022. Goiânia, GO, Brasil.

CONCLUSÕES

As fontes nitrogenadas de forma isolada não foram capazes de afetar a biometria das plantas de milho cultivada em segunda safra. Ao mesmo tempo, os índices de flavonóis foram maiores com o uso do nitratop (27% de N) em relação à ureia (45% de N).

Há interação entre a fonte nitrogenada e o fornecimento de silício os índices de flavonóis, indicando que este parâmetro possa ser utilizado para avaliar o comportamento fisiológico das plantas de milho em função do manejo nutricional adotado.

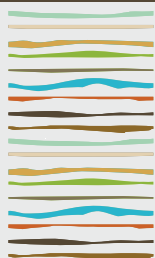
BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP. 396 pp.
- Barros, DTS. 2019. **Produção de milho doce sob fontes e doses de nitrogênio em associação à *Azospirillum brasilense***. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal de Alagoas (UFA).
- Cantarella, H. 1993. Calagem e adubação do milho. In: Bül, LT & Cantarella, H. (Eds). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, p.147-198.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves-Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247–256.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). 2022. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – 12º levantamento**. Brasília 12:1-87.
- Demotes-Mainard, S; R Boumaza; S Meyer & ZG Cerovic. 2008 Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents. **Scientia Horticulturae**, 115:377-385.
- Fernandes, VC. 2019. **Calagem, gessagem, culturas de cobertura e adubação nitrogenada em sistema plantio direto: características químicas do solo, estado nutricional e produtividade do milho**. 57f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Figueiredo, FC; PP Botrel; CP Teixeira; LL Petrazzini; M Locarno & JGD Carvalho. 2010. Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. **Ciência e Agrotecnologia**, 34:1306-1311.
- Pavlovic, J; L Kostic; P Bosnic; EA Kirkbt & M Nikolic. 2021. Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. **Frontiers in Plant Science**, 12:697592.
- Perdomo, DN. 2017. **Doses de silício na produtividade e na indução de resistência de plantas de milho a *Spodoptera frugiperda* (smith) (Lepidoptera: noctuidae)**. 50f. Dissertação (mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU).
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumberras; MR Coelho; JA Almeida; JC Araújo-Filho; JB Oliveira & TJF Cunha (Eds). 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Silva, FC. **Manual of chemical analyzes of soils, plants and fertilizers** (2 th). 2009. Embrapa Informação Tecnológica. 627pp.



- Silva, WL; MFA Cruz; AA Fortunato & FA Rodrigues. 2015, Histochemical aspects of wheat resistance to leaf blast mediated by silicon. **Scientia Agricola**, 72:322-327.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds). 2004. **Cerrado**: correção e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416pp.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3 th). Embrapa. 574pp.
- Wu, X; Y Yu; SR Baerson; Y Song; G Liang; C Ding; J Niu; Z Pan & R Zeng. 2017. Interactions between nitrogen and silicon in rice and their effects on resistance toward the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. **Frontiers in Plant Science**, 8:28.





APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO AFETA A FISIOLÓGIA DAS PLANTAS DE SOJA CULTIVADA NO CERRADO BRASILEIRO

M.L. Lima¹, F.S.R. de Lima^{2,*}, R.A. Flores³; M.F.N. Xavier², R.T. do Carmo², N.P.R. Reges²; R.G. de Sousa⁴

¹ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Campus Amajari, Roraima, Brasil;

² Estudante de Pós-Graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³ Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴ Estudante de Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

* Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, CEP 74.690-900, fredericofredlimaufg@yahoo.com.br

RESUMO

O uso do silício (Si) na agricultura vem aumentando a cada dia, tanto via aplicação no solo quanto foliar. O Si pode melhorar a condição de cultivo, minimizando os riscos, induzindo resistência aos estresses bióticos e abióticos, além de promover ganhos de produção de grãos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação foliar contendo silício na fisiologia da soja cultivada no Cerrado brasileiro. Foi conduzido um experimento a cultura da soja sob o delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 2x2x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelas safras (2019/20 e 2020/21), o segundo fator foi a presença ou ausência de adubação nitrogenada no plantio (0-controle e 20 kg ha⁻¹ de N) e o terceiro fator, a adubação foliar contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha⁻¹ de Si). Foram avaliadas as trocas gasosas das plantas de soja (condutância estomática, transpiração, taxa de fotossíntese líquida e concentração interna de CO₂) tanto em R1 como em R3. O comportamento das trocas gasosas foram diferentes entre as safras avaliadas, independentemente das outras variáveis. Ao mesmo tempo, de forma geral, os tratamentos que não receberam a adubação nitrogenada de plantio apresentaram maiores índices das trocas gasosas, especialmente para a taxa de fotossíntese líquida e transpiração. Apenas para a transpiração e a condutância estomática avaliada em R1 não houveram efeitos significativos para a aplicação de Si. Este resultado, sugere que a ausência de adubação nitrogenada no momento do plantio da soja e a adubação foliar contendo silício são estratégias para promover incrementos nas trocas gasosas das plantas de soja cultivada no Cerrado brasileiro.

Palavras chave: *Glycine max*, mitigação de estresses abióticos, adubação nitrogenada na soja.

INTRODUÇÃO

O silício tem sido estudado como um importante indutor de resistência ao estresse biótico e abiótico nas plantas cultivadas em ambientes tropicais. Dentre os benefícios do Si nas plantas, os principais estão relacionados com o aumento na capacidade fotossintética, redução da transpiração das folhas e na condutância estomática (Pareek et al., 2017).

Na soja, o nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pela cultura, onde para a produção de 1.000 kg de grãos são necessários 80 kg de N (Fagan et al., 2007). Alguns estudos tem relatado a possível interação entre o Si e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em soja. Dakora (2005) realizando estudos em nódulos radiculares de feijão caupi observou que o aumento nas taxas de FBN com o fornecimento de Si deveu-se a um aumento no número de bacteróides e simbiosomas por célula infectada, locais onde oco-



re a redução do N_2 à NH_3 nos nódulos.

Desta maneira, acredita-se que a adubação foliar contendo silício possa ser uma estratégia viável para a produção da soja no Cerrado brasileiro, aumentando a eficiência da FBN, e consequentemente reduzindo os custos com adubação e promovendo ganhos em rendimento produtivo. Assim, o presente estudo teve como objetivo a avaliação da adubação foliar contendo silício na fisiologia das plantas da soja cultivado no Cerrado brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás ($16^{\circ}35'48''$ S e $49^{\circ}16'63''$ O, aproximadamente 730 m altitude), com precipitação média anual 1494,7 mm (Casaroli et al., 2018). O período de condução do estudo foi durante a segunda safra (entre março e julho de 2022). O solo presente neste estudo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura franco argiloso siltoso, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) (Santos et al., 2018). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelas safras (2019/20 e 2020/21), o segundo fator foi a presença ou ausência de adubação nitrogenada no plantio (0-controle e 20 kg ha^{-1} de N), aplicados na forma de ureia e, o terceiro fator, a adubação foliar contendo silício (0-controle, 150; 300; 450 e 600 g ha^{-1} de Si), aplicados na forma de silicato de potássio e cobre (Si = 107 g L^{-1} ; K_2O = $34,7 \text{ g L}^{-1}$; Cu = $14,9 \text{ g L}^{-1}$; pH = 11,8), estabilizado com sorbitol a 10%. Para cada solução aplicada contendo o silício, as concentrações de potássio e cobre foram equilibradas na calda de pulverização, com o uso de cloreto de potássio (P.A.) e o óxido de cobre (P.A.), para neutralizar o efeito destes nutrientes nos tratamentos. As pulverizações de silício foram divididas em três momentos: três folhas trifoliadas completamente desenvolvida (V4); a segunda no início do florescimento (R1) e, a última no início da formação das vagens (R3). O volume da calda foi ajustado para uma vazão de 200 L ha^{-1} , aplicada com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO_2 , acoplado a uma barra de pulverização, com 3 m de largura e seis pontas do tipo jato plano (XR 110.02), espaçadas em 0,5 m.

Cada unidade experimental composta por seis linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m. O plantio da soja com a cultivar M7110 IPRO foi realizado na primeira quinzena de novembro de cada safra, 2019/2020 e 2020/2021. Antes do plantio, as sementes foram tratadas com Demacor (1 mL kg^{-1} de semente), Singular (1 mL kg^{-1} de semente) e Rancona T (2 mL kg^{-1} de semente).

No estágio fenológico R1 e R3, foram realizadas as avaliações fisiológicas das plantas, por meio da determinação das trocas gasosas (condutância estomática, transpiração, taxa de fotossíntese líquida e concentração interna de CO_2). As determinações foram feitas com auxílio de um analisador de fotossíntese, IRGA, modelo LCpro-SD/iFL Portable, com câmara foliar de $6,25 \text{ cm}^2$. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando o pacote estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Junior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação entre as safras, observa-se maiores trocas gasosas em R1 para a taxa de fotossíntese líquida ($F=5966^{**}$), transpiração ($F=1326^{**}$), condutância estomática ($F=41,82^{**}$) e concentração interna de CO_2 ($F=5478^{**}$) durante a primeira safra, enquanto que em R3, as maiores trocas gasosas ocorreram para a transpiração ($F=614^{**}$) e condutância estomática ($F=379,82^{**}$) também na primeira safra. Como os tratamentos eram iguais para ambas as safras, acredita-se que as condições edafoclimáticas interferem nas trocas gasosas das plantas da soja, uma vez que na primeira safra, as chuvas foram mais distribuídas durante o ciclo em relação à segunda safra, a qual concentrou mais no início do ciclo da cultura (dados disponíveis em: <https://www.agro.ufg.br/p/7944-estacao-agrometeorologica>). Já para o fator adubação nitrogenada, observa-se que a taxa de fotossíntese líquida em R1 ($8,75^{**}$) e R3 ($F=4,03^*$), além da transpiração em R1 ($14,39^{**}$) foram maiores quando não houveram a adubação nitrogenada no plantio, independentemente da safra e da adubação foliar contendo silício.

Ao realizar o desdobramento das interações entre as safras e a adubação silicatada, observa-se interações significativas para a condutância estomática (R1 e R3), a transpiração e a concentração interna de CO_2 em



R3. A condutância estomática foi maior durante a segunda safra em R1 (Figura 1a) e menor em R3 (Figura 1c) em função das doses de silício aplicadas. Na primeira safra, a maior condutância estomática em R1 foi observada com a aplicação de 600 g ha⁻¹ de Si, a qual atingiu 0,73 mmol m⁻² s⁻¹, enquanto que na segunda safra, a maior taxa foi obtida com a aplicação de 285,7 g ha⁻¹ de Si, a qual atingiu 0,82 mmol m⁻² s⁻¹ (Figura 1a). Já a condutância estomática em R3, as maiores taxas de 0,78 e 0,44 mmol m⁻² s⁻¹ foram observadas com a aplicação de 375 e 300 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 1c). Para as taxas transpiratórias em R3, os maiores valores foram de 7,36 e 3,77 mmol m⁻² s⁻¹ na primeira e segunda safra, com aplicação de 383 e 181 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 1b). Ainda, quando se avalia a concentração interna de CO₂ em R3, ambas as safras apresentaram o comportamento com ajustes quadrático, onde as concentrações de 247,4 e 210,2 μmol m⁻² s⁻¹ na primeira e segunda safra foram obtidos com a aplicação de 223,3 e 1217 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 1d).

No entanto, quando se afere o efeito da interação entre a adubação nitrogenada e silicatada, observa-se que houveram efeitos significativos para praticamente todas as variáveis analisadas, com exceção da fotossíntese líquida em R1. Realizando o desdobramento destas interações é possível observar que a condutância estomática em R1 apresentou incrementos lineares na ausência da adubação nitrogenada, atingindo 0,78 mmol m⁻² s⁻¹ com o uso da maior dose de Si, enquanto para o tratamento que recebeu a adubação nitrogenada de plantio, houve ajuste quadrático, atingindo 0,74 mmol m⁻² s⁻¹ com o uso de 250 g ha⁻¹ de Si (Figura 2a). Já as concentrações interna de CO₂ avaliada em R1 apresentaram comportamentos semelhantes, com ajustes quadráticos, sendo os maiores valores observados de 155,1 e 173,1 μmol m⁻² s⁻¹ nos tratamentos sem adubação nitrogenada e com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N, com o uso de 150 e 366 g L⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 2b). Quando se avalia a taxa de fotossíntese líquida em R3, houveram efeitos significativos com ajustes quadráticos para a adubação nitrogenada e a silicatada. Nota-se que as maiores taxas de 27,6 e 24,4 μmol m⁻² s⁻¹ para os tratamentos sem e com adubação nitrogenada foram obtidas com a aplicação de 270 e 342,5 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 2c). Ainda em R3, as taxas transpiratórias apresentaram ajustes lineares para o tratamento sem adubação nitrogenada, atingindo a maior taxa de 6,0 mmol m⁻² s⁻¹ com a maior dose de Si aplicada, enquanto que no tratamento com adubação nitrogenada de plantio, as maiores taxas de 5,3 mmol m⁻² s⁻¹ foi obtida com a aplicação de 166,7 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 2d).

De modo semelhante ao observado em R1, a condutância estomática das plantas em R3 também apresentaram comportamentos quadráticos. No entanto, no tratamento sem adubação nitrogenada de plantio, as taxas aumentaram atingindo 0,78 mmol m⁻² s⁻¹ com a aplicação de 600 g ha⁻¹ de Si, enquanto que no tratamento com adubação nitrogenada, houveram decréscimos nas taxas, atingindo o mínimo de 0,56 mmol m⁻² s⁻¹ com a aplicação de 450 g ha⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 2e). Já a concentração interna de CO₂ reduziu de forma linear para os tratamentos sem adubação nitrogenada, enquanto que para o tratamento com adubação nitrogenada de plantio, houve ajustes quadrático, atingindo 239,8 μmol m⁻² s⁻¹ com a aplicação de 327,25 g ha⁻¹ de Si (Figura 2f).

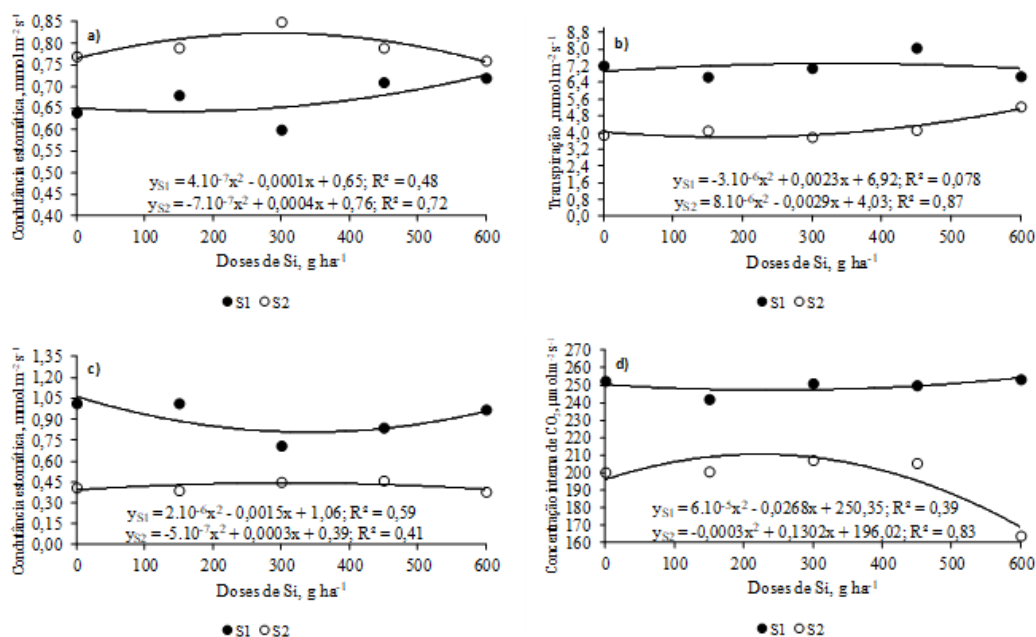


Figura 1. Efeito da interação entre as safras e a aplicação de silício condutância estomática em R1 (a), na transpiração (b), condutância estomática (c) e concentração interna de CO_2 (d) em R3 da soja cultivada em condições edafoclimáticas de Cerrado.

Sabe-se que o Si aplicado via foliar é depositado principalmente na parede celular da epiderme dos colmos, folhas e formando assim uma dupla camada de sílica-celulose e sílica-cutícula, que com isso beneficia tanto por meio da diminuição do acamamento das plantas; maior interceptação de luz, ou seja, maior taxa de fotossíntese; redução da transpiração; fortalecimento e rigidez da parede celular (Reis et al., 2007). Esses benefícios podem ser oriundos do Si reduzir o autossombreamento por causa das folhas mais eretas oriundas da melhoria da arquitetura foliar (Reis et al., 2007). De modo geral, o Si proporciona um efeito benéfico na relação hídrica das plantas, logo reduzindo sua transpiração, aumentando tanto a concentração interna de CO_2 como as taxas de fotossíntese, e convertendo em influência nas características agrônômicas e na produtividade das culturas (Crusciol et al., 2013).

O Si quando depositado na superfície foliar é capaz de modificar o espectro de emissividade de luz, por isso, mediante aplicação de doses elevadas resulta em uma camada espessa de sílica na epiderme foliar, com capacidade de influenciar tanto no desenvolvimento como na formação dos estômatos (Da Luz, 2006).

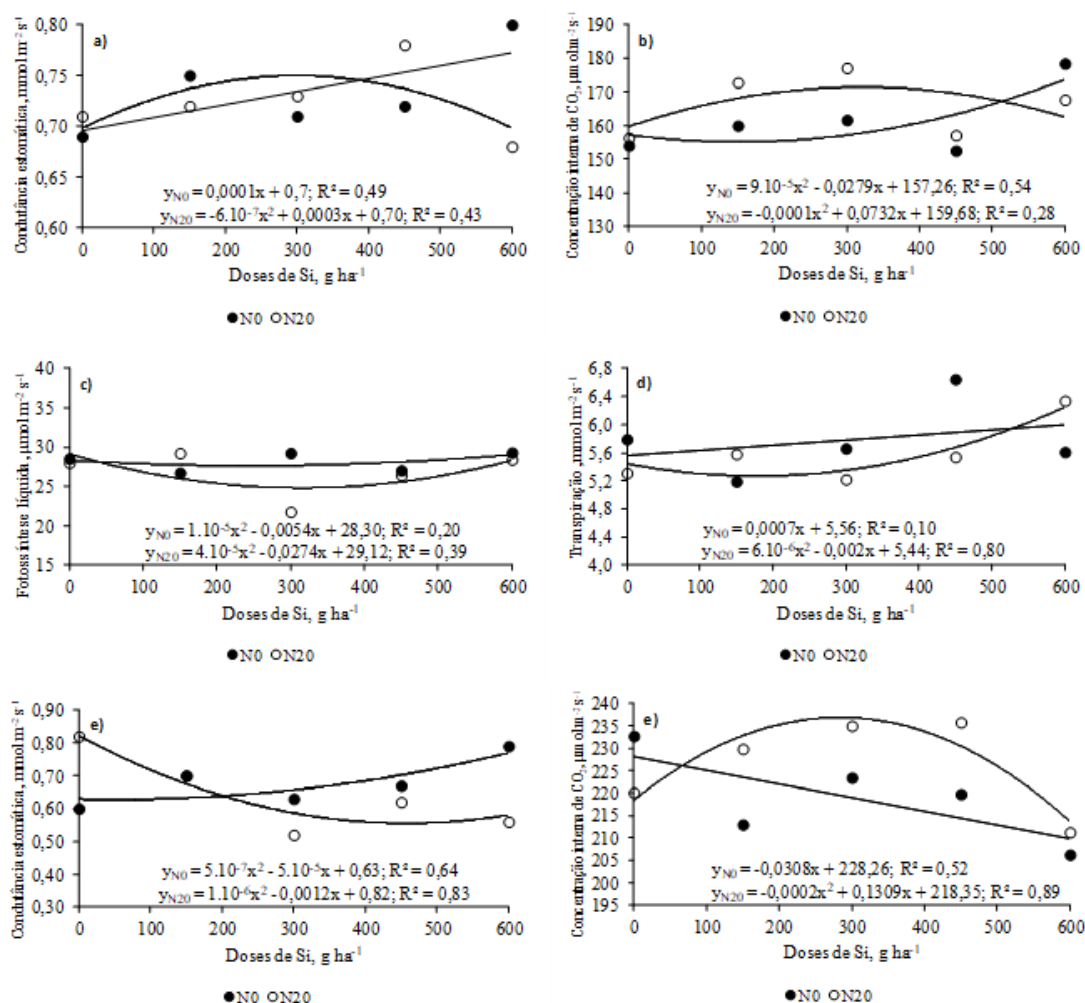


Figura 2. Efeito da interação entre a adubação nitrogenada e a aplicação de silício condutância estomática (a) e na concentração interna de CO₂ (b) em R1 e na taxa fotossintética líquida (c), na transpiração (d), condutância estomática (e) e concentração interna de CO₂ (f) em R3 da soja cultivada em condições edafoclimáticas de Cerrado.

Tripathi et al. (2021) obtiveram maior significância nos valores de taxa de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática quando as plantas de soja foram tratadas com Si. No aspecto morfológico das folhas, mediante aplicação de Si sabe-se que há aumento da taxa de fotossíntese líquida, que pode ser justificada ao passo que em condição de campo a radiação solar para as plantas é uniforme, causando tanto aumento da utilização da radiação solar nas folhas como a absorção de CO₂ (Asmar et al., 2013). Tendo em vista estas influências positivas nos aspectos fisiológicos causados pelo uso de Si, corrobora-se ainda mais com o aumento da taxa de transpiração e influxo de CO₂, que ocorre por causa da abertura estomática que o acúmulo deste elemento benéfico proporciona (Barros et al., 2018).

Nos experimentos geralmente conduzidos em sistema de sequeiro a aplicação de Si nas plantas possui efeito de incrementar na tolerância das plantas aos possíveis estresses hídricos que podem ocorrer em suas diferentes fases de desenvolvimento durante seu ciclo.

CONCLUSÕES

O comportamento das trocas gasosas pode ser alterada em função de uma safra para a outra, sugerindo que as condições edafoclimáticas podem afetar o desempenho fisiológico das plantas, principalmente em função da temperatura e da quantidade de chuvas ao longo do ciclo.

A ausência da adubação nitrogenada de plantio indica que a planta precisa de maior desenvolvimento fisiológico para absorver o N por meio da FBN, afetando diretamente as trocas gasosas das plantas.

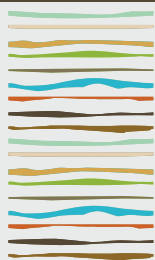


O resultado da pesquisa sugere que a ausência de adubação nitrogenada no momento do plantio da soja e a adubação foliar contendo silício são estratégias para promover incrementos nas trocas gasosas das plantas de soja cultivada no Cerrado brasileiro.

BIBLIOGRAFIA

- Asmar, AS; EM Castro; M Pasqual; FJ Pereira & JDR Soares. 2013. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. **Scientia Horticulturae**, 161:328-332.
- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. **Experimentação agrônômica e agroestat**: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: UNESP. 396 pp.
- Barros, V; M Santos; DG Ramos; HM Falcão & MG Santos. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, 127:469-477.
- Casaroli, D; TR Rodrigues; APB Martins; AWP Evangelista & J Alves-Júnior. 2018. Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2):247-256.
- Crusciol, CAC; RP Soratto; GSA Castro; CHM Costa & Ferrari Neto. 2013. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, 44(2):404-410.
- Da Luz, BR. 2006. Attenuated total reflectance spectroscopy of plant leaves: A tool for ecological and botanical studies. **New Phytologist**, v. 172, p. 305-318, 2006.
- Dakora, FD. 2005. Silicon nutrition and N₂ fixation in symbiotic legumes In: Silicon in Agriculture Conference, 3, Uberlândia, 2005. **Resumos...** Uberlândia: UFU. p.133.
- Fagan, EB; SLP Medeiros; PA Manfron; D Casaroli; J Simon. 2007. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, 14(1):89-106.
- Pareek, S; NA Sagar; S Sharma; V Kumar; T Agarwal; GA González-Aguilar & EM Yahia. 2017. Chlorophylls: Chemistry and Biological Functions. Fruit and Vegetable Phytochemicals. **Chemistry and Human Health**, 1(2):269-284.
- Reis, THP; PTG Guimarães; FC Figueiredo; AAA Pozza; FD Nogueira & CR Rodrigues. 2007. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 124p. (Boletim Técnico, v.82).
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumberras; MR Coelho; JA Almeida; JC Araújo-Filho; JB Oliveira & TJF Cunha (Eds). 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. (Eds.). 2017. **Manual de métodos de análise de solo** (3 th). Embrapa. 574pp.
- Tripathi, P; R Tayade; B Mun; BW Yun & Y Kim. 2022. Silicon Application Differentially Modulates Root Morphology and Expression of PIN and YUCCA Family Genes in Soybean (*Glycine max* L.). **Frontiers in Plant Science**, 13:842832.





FERTILIZACIÓN BALANCEADA EN CEREALES DE INVIERNO

Lopez de Sabando, M. J.¹; J.M. Erreguerena¹; I. Besteiro¹; K. Leaden¹; M.J. Eiza¹

¹ INTA BALCARCE, Rodríguez 370, (7000) Tandil. sabando.marcelo@inta.gob.ar

RESUMEN

En trigo, cebada y avena el nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que limitan con mayor frecuencia sus rendimientos. En los últimos años se han reportado deficiencias de azufre y de cinc. En éstos cultivos se han determinado efectos de interacción y efectos aditivos en las respuestas a la fertilización. Los objetivos de este trabajo fueron ayudar a decisiones de nutrición de cultivos de trigo, de cebada y de avena considerando: (i) Cuantificar los efectos sobre la producción de la fertilización con nitrógeno, con fósforo, con azufre y con cinc, y (ii) evaluar los efectos de interacción con objetivo de mejorar la respuesta al agregado de los nutrientes y considerar estrategias de nutrición balanceadas. Se realizaron experimentos de fertilización considerando aportes individuales y combinados de fósforo, nitrógeno, azufre y cinc en 3 sitios (Tandil, San Manuel y Lobería) en tres cultivos (Trigo, Cebada y Avena). La fertilización balanceada incorporando fósforo, nitrógeno, azufre y cinc mostro rendimientos mayores que los efectos individuales de estos nutrientes en trigo y en cebada. Los incrementos de rendimientos atribuidos a la diferencia entre la fertilización balanceada sobre la suma de los efectos de fertilización individual fueron de 330 kg ha⁻¹ en trigo y de 352 kg ha⁻¹ en cebada. En avena, los datos disponibles no permiten determinar diferencias entre la fertilización balanceada y los aportes individuales de cada nutriente. Para las condiciones evaluadas las mayores respuestas a la fertilización requieren un correcto diagnóstico y ajuste de fertilización de fósforo nitrógeno azufre y cinc. La consideración de la fertilización balanceada en trigo y en cebada mostró mejoras de 20% en los aumentos de las respuestas a la fertilización.

Palabras clave: cereales de invierno, fertilización balanceada, siembra directa.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y la avena (*Avena sativa* L.) son los cereales de invierno con mayor superficie sembrada en la región pampeana (Argentina). Para los tres cultivos, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los macronutrientes que limitan con mayor frecuencia sus rendimientos de grano (Sadras y Calderini, 2020; Prystupa *et al.*, 2012; Wehrhahne, 2006). En los últimos años se han determinado deficiencias de azufre (S) para la producción de trigo y de cebada. Sin embargo, estas deficiencias no son generalizadas (Michiels y Degenhart, 2004; Prystupa *et al.*, 2007; Carciochi *et al.*, 2015; Reussi Calvo *et al.*, 2011). Otro nutriente, el cinc (Zn), también ha mostrado deficiencias y respuestas en trigo bajo condiciones específicas de suelos y de manejos (Martinez Cuesta *et al.*, 2021).

Resulta necesario para adecuar el manejo de la nutrición de trigo, de cebada y de avena considerar la disponibilidad de los distintos nutrientes y la relación entre los nutrientes según sus incrementos de producción. Se han reportado efectos de interacción y efectos aditivos en las respuestas a la fertilización. La interacción se observa cuando la respuesta a un nutriente depende de la disponibilidad de otro nutriente (Black, 1993; Colwell, 1994). Los efectos aditivos corresponden cuando la respuesta a la fertilización de un nutriente es independiente a la disponibilidad de otro nutriente, siendo la respuesta a la aplicación conjunta de los dos



nutrientes igual a la suma de las respuestas observadas para cada nutriente por separado. Para condiciones de la región pampeana, se han evaluado los efectos considerando la respuesta a la fertilización con P, N y S en trigo, soja, maíz y girasol. Alvares (2009) ha integrado redes experimentales y descripto efecto aditivo en la fertilización con N, P y S en trigo. Los experimentos considerados correspondieron principalmente a la región semiárida pampeana. Similares resultados fueron observados por Alvarez y Grigera (2004) en cultivo de trigo en 6 campañas incluyendo datos de experimentos con P y N y lotes de producción. Interacción positiva en la respuesta de trigo a la fertilización con N y P fueron observadas por Ron y Loewy (2000) en sudoeste de la región pampeana. Estos autores observaron interacción positiva bajo condiciones de menores niveles de materia orgánica y con ciclo de cultivos intermedios y cortos. En cebada y en avena en la región pampeana no se han integrado redes experimentales para cuantificar los efectos de fertilización con estos nutrientes. En la región pampeana se han reportado efectos de degradación de los suelos y los efectos de la disminución de la disponibilidad de los principales macronutrientes (Sainz Rozas *et al.* 2019). Entre las implicancias de la menor disponibilidad de nutrientes en los suelos corresponde el incremento en el uso de fertilizaciones tanto con nutrientes frecuentemente utilizados como nitrógeno y fósforo, como con nutrientes utilizados con frecuencia menor como azufre y cinc. Los objetivos de este trabajo intentan ayudar a ajustar las decisiones de nutrición de cultivos de trigo, de cebada y de avena considerando: (i) Cuantificar los efectos sobre la producción de la fertilización con nitrógeno, con fósforo, con azufre y con cinc, y (ii) evaluar los efectos de interacción con objetivo de mejorar la respuesta al agregado de los nutrientes y considerar estrategias de nutrición balanceadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción general de los experimentos en cada sitio

Los experimentos de fertilización se realizaron en los cultivos de trigo, cebada y avena durante las campañas 2017 a 2021 en 3 localidades (Tandil, San Manuel, Lobería) de región Pampa Austral (Hall *et al.* 1992). Los sitios seleccionados corresponden a suelos Argiudoles con variabilidad de profundidad de los horizontes petrocálcicos (Tabla 1). En cada sitio se realizaron experimentos de fertilización con P, N, S y Zn, según se detalla en Tabla 2. El diseño de los experimentos fue en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 10 surcos separados a 0,2 m por 6 metros de largo (12 m²). El manejo de los cultivos se realizó considerando las prácticas recomendadas en la zona, tanto en época de siembra, densidad, cultivar y control de malezas y enfermedades.

En el momento de la siembra, se tomaron muestras compuestas de suelo. De 0 a 0,2 m de profundidad se determinó textura (Walter *et al.*, 1978), materia orgánica (Nelson y Sommers, 1996), P extraíble Bray⁻¹ (Kuo, 1996), N mineralizado en incubación anaeróbica de 7 días (Gianello y Bremner, 1986), pH (1:2,5 suelo:agua, por potenciometría) y Zn extractable-DTPA (Lindsay y Norvell, 1978). Además, N-NO₃⁻ y S-SO₄⁻² (Bremner, 1996) se determinaron en capas de 0,2 m hasta 0,6 m de profundidad cuando la profundidad del suelo lo permitía. El contenido de N-NO₃⁻ y S-SO₄⁻² del suelo hasta los 0,6 m de profundidad se estimó considerando una densidad aparente media de 1,28 Mg m⁻³.

La cosecha en todos los sitios se realizó con cosechadora experimental recolectando la totalidad de la parcela. Los datos se ajustaron a humedad de comercialización de cada cultivo. Se cuantificó el peso de los granos y el número de los granos.



Tabla 1: Detalle de los experimentos: Localidad y año de realización, profundidad de horizonte petrocálcico, propiedades de suelo y cultivos de trigo, cebada y/o avena. Pe= Fósforo extractable. Nan= N mineralizado en incubación anaeróbica.

Localidad y año	Profundidad de suelo	Materia orgánica %	pH	S de Sulfatos (0-60 cm) kg ha ⁻¹	Pe mg kg ⁻¹	N-NO ₃ (0-60 cm) kg ha ⁻¹	Nan mg kg ⁻¹	Zn-DTPA mg kg ⁻¹	Trigo	Cebada	Avena
Tandil 2017	+ 100 cm	4,2	6,3	38,2	8,0	42,1	42,6	1,1	Ceibo	Andreia	-
Loberia 2018	+ 100 cm	4,2	5,9	35,4	10,0	49,1	47,0	1,0	SY 120	Andreia	Aiken
San Manuel 2018	45 cm	5,7	6,5	33,6	9,5	65,3	87,9	1,2	-	Andreia	-
Tandil 2019	+ 100 cm	4,9	6,3	28,8	9,0	55,0	72,0	1,2	Cumelen	Overture	Calen
San Manuel 2019	57 cm	4,2	6,7	34,2	12,2	51,0	45,0	1,0	SY 120	Overture	Calen
San Manuel 2020	65 cm	4,3	6,8	34,7	11,0	41,5	50,0	0,8	Saeta	Andreia	Lucia
Tandil 2020	+ 100 cm	5,5	5,8	28,9	13,0	50,5	61,1	0,9	SY 109	Andreia	-
Tandil 2021	+ 100 cm	5,1	5,9	47,9	20,0	43,3	60,5	1,0	B 802	Andreia	-

N-NO₃⁻ y S-SO₄⁻² fueron medidos 0-60 cm o hasta la profundidad de la tosca.

Tabla 2: Detalle de dosis de fósforo, nitrógeno, azufre y cinc aplicado y fuente de fertilizante utilizado según tratamientos.

Tratamientos	Fósforo (kg/ha)	Nitrógeno (kg/ha)	Azufre (kg/ha)	Cinc (kg/ha)
	Fertilizacion			
Testigo	0	0	0	0
P	20	0	0	0
N	0	120	0	0
P+N	20	120	0	0
P+N+S	20	120	15	0
P+N+S+Zn	20	120	15	1,5
Fuente de fertilizante	Fosfato monoamónico	Urea	Yeso	Foliar ZnO / Semilla Zn-EDTA
Grado (N-P-K-S)	0-23-0-0	46-0-0-0	0-0-0-18,6	80% / 14%



Interacción en la respuesta a la fertilización

Al considerar los nutrientes fósforo y nitrógeno, los tratamientos utilizados fueron: testigo sin fertilización, fertilización con fósforo, fertilización con nitrógeno y fertilización combinada con fósforo y con nitrógeno. Las respuestas de los nutrientes se calcularon como la diferencia entre cada tratamiento fertilizado y el testigo. Se obtuvo así, para cada nutriente, una respuesta individual a fósforo, una respuesta individual a nitrógeno y otra a la aplicación conjunta de fósforo y nitrógeno.

Al considerar los nutrientes azufre y cinc, los tratamientos utilizados fueron: la aplicación conjunta con fósforo y nitrógeno, la fertilización conjunta con fósforo, nitrógeno y azufre, y la aplicación conjunta con fósforo, nitrógeno, azufre y cinc. Las diferencias entre los rendimientos con la aplicación de los tres o cuatro nutrientes y los tratamientos con la aplicación de dos o tres nutrientes representaron los efectos individuales de la fertilización con el nutriente faltante en la combinación de dos nutrientes en el caso de azufre y de tres nutrientes en el caso de cinc. El diseño de esta red de fertilización no estaba pensado para el estudio de interacciones entre nutrientes y los resultados del análisis realizado en este trabajo deben tomarse con recaudos porque no existen tratamientos con aplicación de nutrientes individuales de azufre y de cinc. Al cuantificar los efectos individuales de los nutrientes existe un efecto parcial de solapamiento de interacciones.

Análisis estadístico

La determinación de la significancia de la respuesta a la aplicación individual de cada nutriente y de las combinaciones, a nivel de sitio de experimento, se realizó testeando si las respuestas promedio eran diferentes de 0 usando un test de t ($P = 0,10$). Una vez que se determinó las respuestas individuales, se calculó la posible interacción entre nutrientes en las respuestas a la fertilización comparando por un test de t apareado las respuestas a las aplicaciones combinadas de nutrientes contra la suma de las respuestas a las aplicaciones individuales o la suma de los efectos de los nutrientes ($P = 0,10$). Se consideró como par de datos los generados en cada experimento. En caso de no existir interacción significativa a nivel de red, las respuestas a las aplicaciones combinadas y las sumas de las respuestas a las aplicaciones individuales o efectos individuales no deberían diferir estadísticamente, indicando efectos aditivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos independientes e interacción integrando todos los experimentos

La fertilización balanceada incorporando fósforo, nitrógeno, azufre y cinc mostro rendimientos mayores que los efectos individuales de estos nutrientes en trigo ($p=0,001$) y en cebada ($p=0,020$). Los incrementos de rendimientos atribuidos a la diferencia entre la fertilización balanceada sobre la suma de los efectos de fertilización individual fueron de 330 kg ha^{-1} en trigo y de 352 kg ha^{-1} en cebada. Estos aumentos representan mejoras de 20% en las respuestas de trigo y de cebada a la fertilización con fósforo nitrógeno azufre y cinc (Figura 1). Estos resultados muestran diferencias con los observado por Alvares (2009) al evaluar la fertilización en trigo y en girasol, y por Alvarez y Grigera (2004) al evaluar los efectos en trigo. La incorporación de ambientes con mayor rango de rendimientos a los observados por estos autores, y la incorporación de sitios con mayor variabilidad en la oferta de nutrientes en el suelo pueden ser parte de la explicación de las diferencias observadas.

En avena, los datos disponibles no permiten determinar diferencias entre la fertilización balanceada y los aportes individuales de cada nutriente ($p=0,160$). Para avena para grano son pocos los trabajos que comparan estrategias de fertilización balanceada. La información de Cardenau y Gonzalez Montaner (1994) y de Wehrhahne (2006) no incorpora la evaluación de estrategias balanceadas en el análisis de resultados, pero muestra similares rangos de respuestas a la fertilización con nitrógeno que se observó en este trabajo.



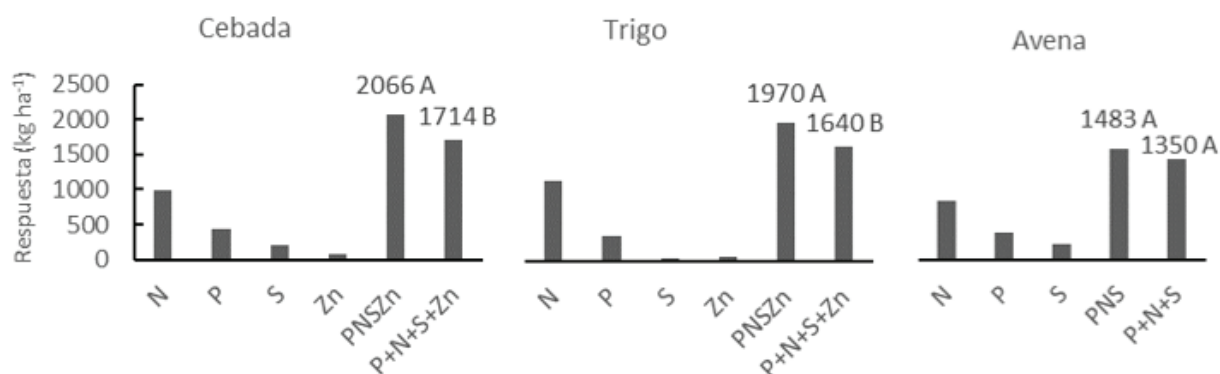


Figura 1: Respuesta promedio de toda la red de experimentos a la fertilización con nitrógeno, con fósforo, con azufre y con cinc, y respuesta a la fertilización combinada con todos los nutrientes (PNSZn o PNS) y a la suma de los aportes individuales de los nutrientes (P+N+S+Zn o P+N+S) según cultivos de cebada trigo y avena. Datos promedio de red de 8 experimentos realizados en San Manuel, Lobería, y Tandil durante las campañas 2017 a 2021. Letras diferentes indican diferencias entre la suma de aportes individuales de los nutrientes (P+N+S+Zn en trigo y cebada y P+N+S en avena) y la fertilización combinada (PNSZn en trigo y cebada y PNS en avena) según Tukey ($p=0,05$).

CONCLUSIONES

En trigo y en cebada la fertilización balanceada incorporando fósforo, nitrógeno, azufre y cinc permitió incrementos de rendimientos mayores que los efectos individuales de estos nutrientes. La fertilización balanceada representó mejoras del 20% en los incrementos de rendimientos asociados a la fertilización. En avena los datos disponibles no permitieron determinar diferencias comparando la fertilización balanceada con los aportes individuales de cada nutriente. Para las condiciones evaluadas las mayores respuestas a la fertilización requieren un correcto diagnóstico y ajuste de fertilización de fósforo nitrógeno azufre y cinc.

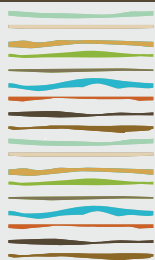
BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R. 2009. Aditividad en la respuesta de los cultivos extensivos a la fertilización con distintos nutrientes en la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 43: 8-11.
- Alvarez, R., y Grigera, S. 2005. Analysis of Soil Fertility and Management Effects on Yields of Wheat and Corn in the Rolling Pampa of Argentina. *Agronomy and Crop Science*. 191:321-321.
- Black, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publ., Boca Raton, pág. 729.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen Total. In D. L. Sparks (Ed). *Methods of Soil Analysis* (5th ed., pp. 1085-1121). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.
- Carciochi W.D., G.A. Divito, N.I. Reussi Calvo, y H.E. Echeverría. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina?. *Actas Simposio Fertilidad 2015*. Rosario, 19 y 20 de mayo.
- Cardenau, G. y J. Gonzalez Montaner. 1994. Respuesta al riego y a la fertilización nitrogenada en trigo y avena en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. III Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca, Buenos Aires. 53-54.
- Colwell, J.D. 1994. Estimating fertilizer requirements. *CAB Int. Inglaterra*, 259 pag.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). InfoStat ver 2011. InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Retrieved september 20, 2021, from <http://www.infostat.com.ar>.
- Gianello y Bremner, 1986 nan Gianello, C., and J.M. Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17:195-214.
- Hall, A.J., Rebella, C.M., Ghersa, C.M., Culot, J. Ph., 1992. Field-crop systems of the Pampas. In: Pearson, C.J. (Ed.), *Field Crop Ecosystems Series: Ecosystems of the World*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 413-450. Nelson y Sommers, 1996.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3, pp. 869-919). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.



- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421–428.
- Martínez Cuesta, N.; Carciocchi, W.; Salvagioti, F.; Sainz Rozas, H.; Wyngaard, N.; López de Sabando, M.; y P. Barbieri. 2021. DTPA-extractable zinc threshold for wheat grain yield response to zinc fertilization in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal* 2021:1-6.
- Michiels, C. y S. Degenhart. 2004. Ensayo de fertilización en cebada cervecera, var Scarlett. *Informaciones agronómicas* 22: 18-20.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed), *Methods of Soil Analysis*. (pp. 961-1010). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Prystupa, P.; Bergh, R.; Ferraris, G.; Loewy, T.; Gutierrez Boem, F.H. y L. Ventimiglia. 2007. Fertilización: nitrogenada y azufrada en cebada cervecera. *Red INTA – Fertilizar. Simposio Fertilidad 2007: Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos*: 50:56.
- Prystupa, P.; Ferraris, G.; Loewy, T.; Gutierrez Boem, F.H.; Ventimiglia, L.; Couretor, L. y R. Bergh. 2012. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. En "Cereales de invierno. Investigación científico-técnica". (S.A. Stenglein, M.V. Moreno, M. Cogliatti, W.J. Rogers, M.A. Carmona y R.S. Lavado, editores). Editorial Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, pp102-110.
- Reussi Calvo, N.I.; Echeverría, H.E. y H. Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulphur deficiency in spring red wheat: plant analysis. *J. Plant Nutr.* 34: 573-589.
- Ron M. y T. Loewy. 2000. Modelos de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el Sudoeste Bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 18:44-49.
- Sadras, V., & Calderini, D. (Eds.). (2020). *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*. Academic Press.
- Sainz Rozas H., Eyherabide M., Larrea G., Martínez Cuesta N., Angelini H., Reussi Calvo N., y N. Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Actas del Simposio de Fertilidad 2019. Fertilizar Asociación Civil*. Rosario, Argentina. 8 y 9 de mayo 2019.
- Walter, N. F., Hallberg, G. R., & Fenton, T. E. (1978). Particle size analysis by the Iowa State University soil survey laboratory. In G. R. Hallberg (Ed), *Standard procedures for evaluation of quaternary materials in Iowa* (pp. 61-90). Iowa City, USA: Iowa Geological Survey.
- Wehrhahn, L. 2006. Avena: ensayo de fertilización con urea. *Carpeta de actualización técnica de cosecha fina 2005/06. Chacra experimental de Barrow*. Número 84.





CRECIMIENTO DE *EUCALYPTUS BETHAMII* MAIDEN & CAMBAGE FERTILIZADO CON N Y P, EN ALBARDONES DEL DELTA DEL PARANÁ

Lupi, A.M.^{1*}, H. Rimski-Korsakov², I. Fosco³, J.M. Garcia Conde⁴

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA, Hurlingham, Argentina.

* lupi.ana@inta.gob.ar;

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. FAUBA. Buenos Aires, Argentina;

³ Arauco Argentina SA;

⁴ Profesional independiente

RESUMEN

El *Eucalyptus benthamii* se destaca por su mayor tolerancia a bajas temperaturas y heladas generando un potencial para expandir la frontera forestal de los *Eucalyptus* en regiones, como el Delta del Paraná. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de *E. benthamii* a la fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P), a los 41 meses después de la misma. Se instaló un experimento en albardones del Delta del Paraná, en Zárate, Provincia de Buenos Aires. Se dispuso un diseño factorial con 2 factores (N y P) con 3 niveles cada uno, dispuestos en 4 bloques completos al azar. El N se aplicó como urea (0, 21 y 42 g N planta⁻¹) y el P como superfosfato triple (0, 18 y 36 g P planta⁻¹). Se relevó el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todas las plantas y la altura total de 6 plantas por parcela. Se estimó la altura total de todas las plantas y se calculó el área basal (AB) por hectárea. Se analizaron los valores mediante ANVA factorial. La fertilización fosforada no generó diferencias en la altura de las plantas totales, ni entre las dominantes. La fertilización nitrogenada incrementó la altura total de las plantas como en las dominantes, el DAP y el AB. El incremento en la dosis de N no generó una mayor respuesta. Las alturas de las plantas fueron de 10,4, 11,0 y 11,2 m para los tratamientos 0N, 21N y 42 N, respectivamente. El AB fue de 12,9, 15,8 y 17,4 m² ha⁻¹ para los tratamientos 0N, 21N y 42 N, respectivamente. No hubo interacción significativa entre N y P. Los datos encontrados sirven para conocer el comportamiento de una especie no difundida en nuestro país, mostrando un crecimiento razonable en su primera etapa.

Palabras clave: *Eucalyptus benthamii*, fertilización, Delta del Paraná.

INTRODUCCIÓN

Para lograr el adecuado establecimiento de las plantaciones forestales se requiere la optimización de los factores que se combinan tales como: la genética adaptada al sitio, condiciones climáticas y edáficas favorables y plantines de alta calidad. Sin embargo, es posible que los rendimientos potenciales se vean afectados por factores ambientales como la disponibilidad de agua y nutricional (entre otros). Por lo anterior es necesario ajustar la silvicultura, de tal manera que el genotipo empleado pueda expresar su potencial de crecimiento en el ambiente que se cultiva.

Las especies de eucalipto se consideran de alta demanda nutricional, principalmente de fósforo en la fase temprana y potasio en la fase juvenil y adulta (Días et al, 2015). Por lo tanto, una nutrición adecuada es fundamental para el establecimiento de bosques de alto rendimiento (Gonçalves et al., 2004). Es relevante abastecer los nutrientes limitantes para promover un desarrollo temprano rápido, para que las plantas alcancen un tamaño donde se minimice, por ejemplo, la competencia por luz, agua y se reduzca el daño por frío.



La respuesta a la fertilización ha mostrado en algunos casos mantenerse en el tiempo. Este fue el caso de un estudio desarrollado en Uruguay con *Eucalyptus grandis*, donde la respuesta se mantiene hasta los 4 años (Methol, 1996). Por su parte, Gaitan et al. (2004), en suelos mestizos de Entre Ríos, también indican que la fertilización con N y P en *E. grandis* se mantiene con el tiempo aumentando las diferencias en términos absolutos pero menores en términos relativos a la producción total. En *E. benthamii* este comportamiento se reportó en el sur de Brasil por Rosa et al. (2020) hasta los 48 meses posteriores a la fertilización.

La región del Delta del Paraná es una importante zona forestal cultivándose principalmente Salicáceas. Las condiciones de baja fertilidad sumado al mayor riesgo de heladas en esta región reducen el rendimiento y generan daños de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Dalla Tea, 1995; Aparicio et al., 2005). Existen diversas alternativas de manejo que permiten reducir o atenuar estas limitantes naturales a la productividad forestal. Algunos antecedentes indican que el uso de material genético más tolerante a las bajas temperaturas, como los nuevos genotipos híbridos interespecíficos o clones de especies, y la práctica de fertilización inicial, han demostrado ser opciones efectivas para lograr mayores tasas de crecimiento y menores daños por heladas en las plantaciones instaladas en la mencionada región (Guarnaschelli et al., 2015). *E. benthamii* es una especie que está generando un creciente interés en el sector forestal argentino por su tolerancia al frío y posibilidad de expandir las zonas aptas para su producción (Oberschelp et al., 2016). En las evaluaciones realizadas por el programa de mejoramiento genético forestal de INTA se ha comportado como una especie con alta productividad volumétrica y buen desarrollo de fuste, ubicándose entre las especies más productivas, junto a *E. grandis* y *E. dunnei*, las que ya son parte de las forestaciones argentinas (Harrand et al., 2019).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de *E. benthamii* a diferentes dosis de fertilización con nitrógeno (N) y fósforo (P), a los 41 meses desde la fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló en sitios de albardones del Delta del Paraná en el predio Oasis, localizado en Zárate, Provincia de Buenos Aires. Los sitios de albardones son depósitos de inundación originados por la acumulación de sedimentos en las orillas de las islas, destacándose por su mayor altura respecto al terreno circundante. El suelo en el sitio del ensayo posee una textura en el primer metro de profundidad franco arenosa, franco limosa y arenosa franca. En los primeros 10 cm posee 6,04% de C orgánico, 0,69% de N total y 21,4 ppm de P disponible. A partir de los 10 cm se encuentran niveles de altos de sodio ($PSI > 18,9$). La conductividad eléctrica (CE) nos indica que se trata de un suelo sódico no salino ($1,2$ a $2,37$ dS m⁻¹). El sitio del experimento proviene de una plantación de *Salix* spp.

La preparación del terreno consistió en una pasada de rastra y luego la realización de camellones en la línea de plantación. Los plantines de *E. benthamii* se produjeron en el vivero de la empresa Arauco Argentina SA, con semilla procedente de un rodal semillero de Candoi, Estado de Parana Brasil (Golden tree). La plantación se realizó manualmente a inicios de octubre de 2017. La distancia entre filas fue de 3 m y de 1,4 m entre plantas de la fila.

El experimento se dispuso bajo un diseño factorial con 2 factores (N y P) con 3 niveles dispuestos en 4 bloques completos al azar. El N se aplicó en forma de urea (0, 21 y 42 g N planta⁻¹) y el P en forma de superfosfato triple (0, 18 y 36 g P planta⁻¹). Quedando definidos 9 tratamientos: 0N0P, 21N0P, 42N0P, 0N18P, 0N36P, 21N18P, 21N36P, 42N18P y 34N36P. Los fertilizantes se distribuyeron en forma de corona circular en torno a las plantas, a una distancia de 30 a 40 cm de su cuello. Cada parcela estuvo constituida por 56 plantas (7 x 8 plantas), con una línea externa de bordura quedando 30 plantas medibles por parcela.

En abril de 2021 (3 años y 5 meses desde la fertilización) se relevó el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todas las plantas de cada parcela y la altura de 6 plantas por parcela. Con los valores del DAP y la respectiva altura del árbol se ajustó una ecuación que fue empleada para estimar la altura de cada individuo (Ecuación 1). También se calculó la altura media por parcela del 35 % de las plantas más altas. Con el DAP se calculó el área basal por hectárea (AB ha⁻¹).

$$\text{Altura (m)} = 4,1255 + 0,7074 * \text{DAP} \quad \text{Ecuación 1}$$



DAP es el diámetro a la altura del pecho (m)

La altura de todas las plantas, la altura del 35 % de las plantas más gruesas ($H_{35\%}$), y $AB\ ha^{-1}$ fueron analizados estadísticamente utilizando ANVA factorial. Los valores medios se compararon mediante el test de Tukey ($p<0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables analizadas no presentaron interacción entre los factores analizados (N y P), por lo que el análisis se realizó para cada factor independientemente. La fertilización fosforada no generó diferencias en la altura de las plantas totales, ni entre las dominantes (35% superiores) (Tabla 1). Por el contrario, la fertilización nitrogenada incrementó significativamente la altura tanto considerando el plantel total de las plantas como en las $H_{35\%}$ y el área basal (Tabla 1). La altura del tratamiento testigo fue un 5% y 7% menor a 21N y 42N, respectivamente. Por otro lado, la altura del 35% de las plantas más altas del tratamiento testigo fue un 6% y 7% menor a 21N y 42N, respectivamente. El AB mostró cambios más notorios que en la altura. En el tratamiento testigo fue un 18% y 26% menor a 21N y 42N, respectivamente. El incremento en la dosis de N no mostró una mayor respuesta en ninguna de las variables medidas.

Tabla 1. Efecto de la fertilización con N y P sobre la altura total de las plantas, altura plantas más gruesas ($H_{35\%}$), diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal (AB) a los 3 años y 5 meses desde la fertilización

	Dosis de nutriente (g planta ⁻¹)	Altura total (m)	$H_{35\%}$ (m)	DAP (cm)	$AB\ ha^{-1}$ (m ² ha ⁻¹)
N	0	10,4 b	12,7 b	8,7 b	12,9 b
	21	11,0 a	13,5 a	9,8 a	15,8 a
	42	11,2 a	13,7 a	9,9 a	17,4 a
P	0	10,9 a	13,4 a	9,5 a	15,2 a
	18	10,7 a	13,2 a	9,3 a	15,5 a
	36	11,0 a	13,4 a	9,7 a	15,4 a

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

La ausencia de diferencias generadas entre las dos dosis de N muestra que, si bien el N se encontraba en deficiencia para el período de medición, la dosis menor fue suficiente para generar la máxima respuesta. A la vez, el nivel de fósforo en el suelo no apareció como limitante para esta etapa de crecimiento. Serpe (2015) reporta importantes diferencias en crecimiento en DAP, área basal y volumen en *E. benthamii* en tratamientos fertilizados con NPK respecto del testigo sin fertilizar en Brasil. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio la altura total no fue afectada por la fertilización.

Los resultados encontrados a los 3 años y 5 meses continúan mostrando un patrón similar al informado por Lupi et al. (2019) y Lupi et al. (2020) determinado hasta los 4, 8 y 17 meses desde la fertilización (Figura 1).



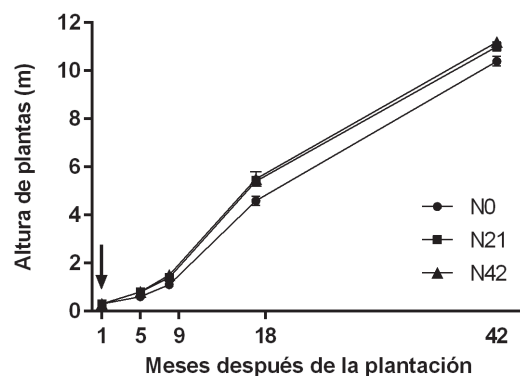


Figura 1. Altura promedio medidas 1, 5, 9, 18 y 42 meses después de la plantación. La flecha indica el momento de la fertilización (34 días después de la plantación). Barras indican error estándar.

CONCLUSIONES

Eucalyptus benthamii respondió en forma positiva a la fertilización inicial. La altura total, la altura del 35% de las plantas más gruesas y el área basal aumentó significativamente con el agregado de 21 g de N por planta. El crecimiento no fue significativamente superior al duplicarse la dosis de N. La fertilización fosforada no generó respuestas significativas en ninguna de las variables analizadas. La respuesta al N fue independiente al agregado de P.

AGRADECIMIENTOS

El experimento fue parcialmente financiado por la empresa Arauco Argentina SA. mediante un convenio de vinculación tecnológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, JL; F Larocca & Dalla Tea F. 2005. Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis*. Revista IDIA XXI N° 8, 64-67
- Dalla Tea F. 1995. Factores del suelo que afectan la productividad de *Eucalyptus grandis*. Información Forestal INTA EEA Concordia. C9. 6 p
- Dias, LPR; LC Gatiboni; G Brunetto; MA Simonete & B Bicaratto. 2015. Eficiencia relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* maiden e *Eucalyptus benthamii* maiden et cambage em solo sem e com calagem,” *Ciencia Florestal*, 25 (1): 37–48
- Gaián, JJ; F Larocca & F Dalla Tea. 2004. Fertilización de *Eucalyptus grandis*: Dinámica de la respuesta durante la rotación comercial. En *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia Del Suelo y II Simposio Nacional Sobre Suelos Vertisólicos*. Paraná. Entre Ríos. 10 p.
- Gonçalves, JLM; JL Stape; V Benedetti; VAG Fessel & JL Gava. 2004. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: *Forest nutrition and fertilization*. JLM Gongalvez & V Benedetti (Eds). IPEF. 2 edition. Chapter 2 13-64.
- Guarnaschelli, AB; AM Lupi; A Garau; P Pathauer; FD Caccia & E Craig. 2015. PIA 12065. Productividad de plantaciones de *Eucalyptus* en el S de Entre Ríos: Contribución del componente genético y de prácticas silviculturales de vivero y de implantación durante el establecimiento. Páginas 266-270. En *MAGyP- UCAR. Investigación Forestal 2011-2015*.
- Harrand, L; J Oberschelp & AM Lupi. 2019. *E. benthamii*. ¿Especie alternativa frente a las heladas? Hoja Informativa N18. Noviembre de 2019. Publicación irregular. ISSN 2545-7195. 5p
- Lupi, A. M.; Rimski-Korsakov, H.; Fosco, I.; Phoels, M.; Tommasi, M.; Garcia Conde, J.M. 2019. Respuesta del *Eucalyptus benthamii* E. a la fertilización en albardones del Delta del Paraná. *XVIII Jornadas Técnicas y ambientales de Misiones. Eldorado, Misiones*.
- Lupi, A.M., H. Rimski-Korsakov, Fosco, J.M. Garcia Conde. 2020. Respuesta del *Eucalyptus benthamii* a la fertilización inicial en albardones del Delta del Parana. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables. 13 al 16 de octubre de 2020. Corrientes, Arg. ISBN 978-987-46870-3-6.
- Methol R. 1996. Laboreo y fertilización en *Eucalyptus grandis* en la zona norte. Montevideo: INIA. 4 p. (Hoja de divulgación 52). <http://>



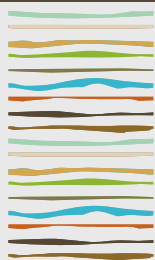
www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12390/1/sad120ccap6p1-5.pdf

Oberschelp, GPJ; AB Guarnaschelli; E Margarit; F Podestá; N Tesón; GN Pastorini; EG Bianchi & L Harrand, L. 2016. Evaluación de la tolerancia a estrés por temperaturas de congelación en tres especies de *Eucalyptus*: primeros resultados VII Reunión GEMFO. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina – 24 al 26 de agosto de 2016, 49-52.

Serpe, EL 2015. Efeitos de diferentes dosagens de adubação no crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* na região sul do estado do Paraná – Irati, PR : [s.n], 2015. 82f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal. <https://www2.unicentro.br/ppgf/files/2015/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O-EUCALYPTUS-BENTHAMII-SERPE-E.-L.1.pdf?x76404>

Rosa, D; MC Navroski; M Oliveira Pereira; GA Borsoi; B Nascimento; R De Andrade & C Moraes 2020. Liming and Fertilization on the Growth of *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* in Brazil. International Journal of Forestry Research 8850641, 8 <https://doi.org/10.1155/2020/8850641>





LA RELACIÓN SUELO-CULTIVO EN ANTESIS COMO INDICADORA DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA DEL GRANO DE TRIGO

Mac Maney, M.^{1,*}, L. Benech-Arnold¹, D.J. Miralles^{1,2}, E.H. Satorre^{1,2}, L.G. Abeledo^{1,2}

¹ Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA);

² IFEVA-CONICET;

* Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, mmacmaney@agro.uba.ar

RESUMEN

La concentración de proteína del grano (CPG) de trigo pan es la principal variable que define su aptitud panadera. Dado que la CPG posee una relación directa con la concentración de nitrógeno del grano, se han buscado en la condición nitrogenada del cultivo indicadores para estimar la calidad de sus granos. El objetivo de trabajo fue evaluar la relación suelo-cultivo, considerando el cociente entre el nitrógeno disponible en el suelo y la biomasa total o reproductiva del cultivo a antesis y madurez, como indicadores de la CPG en trigo. Se realizó un ensayo en el campo experimental de la FAUBA sobre un Argiudol vértico, combinando seis cultivares de trigo (factor C) con dos condiciones nitrogenadas en suelo (60 y 240 kg N/ha; factor N). El diseño fue en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Se midió biomasa aérea y su concentración de N en las partes vegetativas y reproductivas en antesis y en madurez. El rendimiento varió entre 1,78 y 8,73 Mg/ha, por efecto N ($p < 0,0001$) y C ($p < 0,05$); mientras que la CPG varió entre 8,4 y 15,9 %, por efecto N y C (ambos $p < 0,0001$). La CPG fue explicada por el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo y (i) el rendimiento ($R^2 = 0,61$, $p < 0,001$), (ii) la biomasa total a madurez ($R^2 = 0,55$, $p < 0,001$), (iii) la biomasa de espigas a antesis ($R^2 = 0,62$, $p < 0,001$) y (iv) la biomasa total a antesis ($R^2 = 0,61$, $p < 0,001$). La relación N suelo-biomasa del cultivo, sea a antesis o a madurez, fue indicadora de la CPG de trigo. El presente trabajo muestra que la CPG podría ser estimada en antesis. La consistencia de esta relación en condiciones distintas a las ensayadas debería ser evaluada, previamente a su uso como herramienta de decisión.

Palabras clave: concentración de nitrógeno del grano, nitrógeno en suelo, *Triticum aestivum* L.

INTRODUCCIÓN

La importancia de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) como especie cultivable radica en las características de sus granos que lo hacen apto para ser panificado. La concentración de proteína del grano (CPG) de trigo pan es la principal variable que define la aptitud panadera de una partida de granos. La industria molino-harinera demanda granos con CPG preferentemente superiores al 11 %. El tipo de proteínas del grano es otro de los factores que condiciona la aptitud panadera de trigo.

Un área relevante de estudio dentro del campo de la agronomía es qué factores condicionan la CPG. La concentración de proteína del grano posee una relación directa con la concentración de nitrógeno del grano (utilizándose en las normas de comercialización de Argentina a 5,7 como factor de conversión entre ambas variables, con un 13,5 % de humedad del grano; BCR, 2022a). Se han buscado diferentes indicadores de la condición nitrogenada del cultivo como estrategia para evaluar la calidad posible de sus granos y eventualmente corregir situaciones deficitarias mediante fertilización. Para ello, se requiere que dicho indicador sea posible de ser caracterizado de manera sencilla, sea económico y permita ser evaluado en un estado del cultivo tal que ante una situación identificada como deficitaria (i.e. que la CPG predicha sea menor al 11 %)



haya posibilidad de intervenir desde el manejo para contrarrestar dicha deficiencia (e.g. mediante fertilización nitrogenada).

El índice conformado por el cociente entre la disponibilidad de N en el suelo y el rendimiento ($N_d/REND$) es una de las variables que explica las variaciones en la CPG (Prystupa et al., 2007; Ferraris y Mouségne, 2008). La disponibilidad de N representa el N presente en los nitratos del suelo de 0 a 60 cm de profundidad más el N proveniente de la fertilización (considerando el fertilizante aplicado en cualquier momento del ciclo del cultivo). Dicho índice $N_d/REND$ es expresado en kg de N por tonelada de grano. Este indicador fue originalmente propuesto para cebada, demostrándose que la CPG se asoció en forma curvilínea y positiva con este cociente (Prystupa et al., 2007). Definido un rendimiento esperado, la relación entre CPG y $N_d/REND$ puede utilizarse para diagnosticar la dosis de fertilizante nitrogenado a usar para lograr un valor de CPG dado, aunque no ha sido diseñada para identificar deficiencias en la condición nitrogenada durante el ciclo del cultivo. La CPG se encuentra condicionada por la oferta de N, por la cantidad de biomasa generada por el cultivo, por el N total absorbido por el cultivo a madurez y por la proporción de biomasa y de N que son derivados hacia los granos. A partir de antesis los granos son el principal destino de carbono y nitrógeno; sin embargo, sus dinámicas son diferentes debido a que la principal fuente de carbono es la fotosíntesis actual (Wardlaw, 1990; Zhou et al., 2016), pero la principal fuente de nitrógeno para los granos es la removilización de nitrógeno acumulado en pre-antesis (Spiertz y de Vos, 1983; Kong et al., 2016; Nehe et al., 2020). La hipótesis de trabajo es que ya desde antesis un cociente que considere la disponibilidad de N en el suelo y la biomasa establecida a antesis explicará las variaciones en la CPG de trigo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la relación suelo-cultivo, considerando el cociente entre el N disponible en el suelo y la biomasa total o reproductiva establecida en el cultivo a antesis y madurez, como indicadoras de la CPG en trigo pan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en el campo experimental de la FAUBA (34° 35'S, 58° 29'O, 26 m.s.n.m.) durante la campaña 2021/22 sobre un suelo Argiudol vértico, combinando seis cultivares de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) (factor C) con dos condiciones nitrogenadas en suelo (60 y 240 kg/ha; factor N). Previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo y se midieron $N-NO_3^-$ (0-60 cm) y P-Bray (0-20 cm). Los niveles de N objetivo en suelo se lograron mediante la aplicación de urea en forma manual dividida al 50% entre siembra e inicio de encañazón. Los cultivares utilizados pertenecen a diferentes grupos de calidad (grupo de calidad 1: Cambá, Prometeo; grupo de calidad 2: Colihue, Pehuén; grupo de calidad 3: ACA 604, Klein Favorito II; INASE, 2021). El diseño experimental fue en parcelas divididas en cuatro bloques completamente aleatorizados. La parcela principal correspondió al factor N y la subparcela al factor C. La siembra se realizó el 10 de junio de 2021 en parcelas de 5 m de largo por 7 surcos distanciados a 0,175 m, con una sembradora experimental, a una densidad de 225 plantas/m². El ensayo se condujo con riego (por aspersión) y control de adversidades bióticas. En antesis y en madurez se procedió a muestrear 1 m lineal de biomasa aérea de una hilera central. La muestra se dividió en biomasa vegetativa y reproductiva (i.e. espigas en antesis, granos en madurez). Las espigas en madurez se trillaron utilizando una trilladora de mesa y la granza se juntó con el resto de la biomasa vegetativa. Luego las muestras se colocaron en estufa por 72 h a 55 °C para ser pesadas. Posteriormente, las muestras se molieron y se midió la concentración de N en los tejidos mediante la técnica de micro-Kjeldahl. El peso seco total se calculó como la suma de la biomasa vegetativa y la biomasa reproductiva. Los valores de biomasa y concentración de N en los tejidos se expresaron con 0% de humedad. La CPG se calculó como el producto entre la concentración de N del grano y el factor de conversión 5,7.

Las diferencias para las variables en estudio entre los distintos tratamientos (factor C, factor N) se determinaron mediante análisis de varianza y test de comparación de medias (LSD, $p < 0,05$). La relación entre las diferentes variables se determinó mediante análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento medio fue de 4,92 Mg/ha, variando entre 1,78 y 8,73 Mg/ha, por efecto N ($p < 0,0001$) y C ($p < 0,05$); mientras que las variaciones en la CPG fueron entre 8,4 y 15,9 %, por efecto N y C (ambos $p < 0,0001$), y presentó un valor medio de 11,7 %. La asociación entre la CPG y el rendimiento fue débil ($R^2 = 0,15$, $p < 0,01$;



Fig. 1). Ello revela que es posible compatibilizar el requerimiento industrial de alta CPG aún con rangos medios a altos de rendimiento.

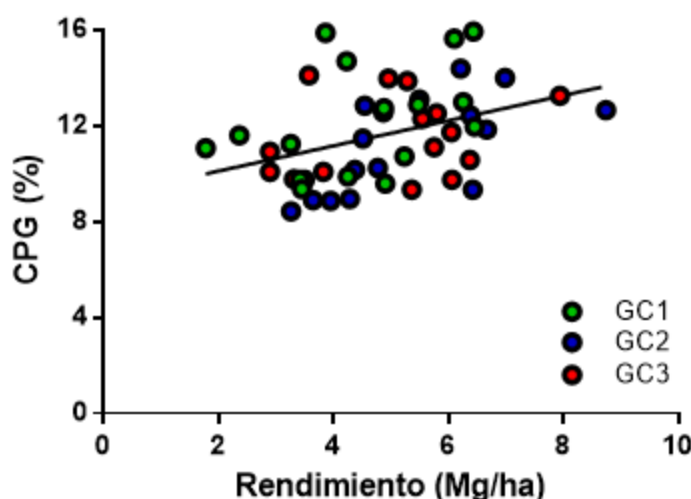


Fig. 1. Concentración de proteína en grano (CPG) en función del rendimiento, para 6 cultivares de trigo de diferentes grupos de calidad (GC) creciendo en 2 disponibilidades contrastantes de N en suelo. La línea llena representa la función de ajuste ($y=0,0053x + 9,06$; $R^2=0,15$, $p<0,01$).

La CPG fue explicada por el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo y (i) el rendimiento ($R^2=0,61$, $p<0,001$) y (ii) la biomasa aérea total a madurez ($R^2=0,55$, $p<0,001$) (Fig. 2a, b). A su vez, la analogía de dichos cocientes con la biomasa a antesis fue también indicadora de la CPG, la cual fue explicada tanto por el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo y (iii) la biomasa de espigas a antesis ($R^2=0,62$, $p<0,001$) como por (iv) la biomasa aérea total a antesis ($R^2=0,61$, $p<0,001$) (Fig. 2c, d). Las relaciones no presentaron diferencias por efecto de los grupos de calidad (considerando los intervalos de confianza). Que la biomasa a antesis haya explicado la variabilidad en la CPG pone en evidencia que una alta proporción del N presente en los granos a madurez provino de N absorbido por el cultivo previo a antesis. Por otro lado, las estimaciones en antesis (lo que representa entre 45 a 60 días previos a la cosecha comercial) permiten la posibilidad de establecer la calidad del cultivo mucho antes de la cosecha con la ventaja de I) realizar una corrección del contenido de proteína en los granos mediante fertilizantes foliares, y II) proyectar la venta del lote con una calidad estimada.

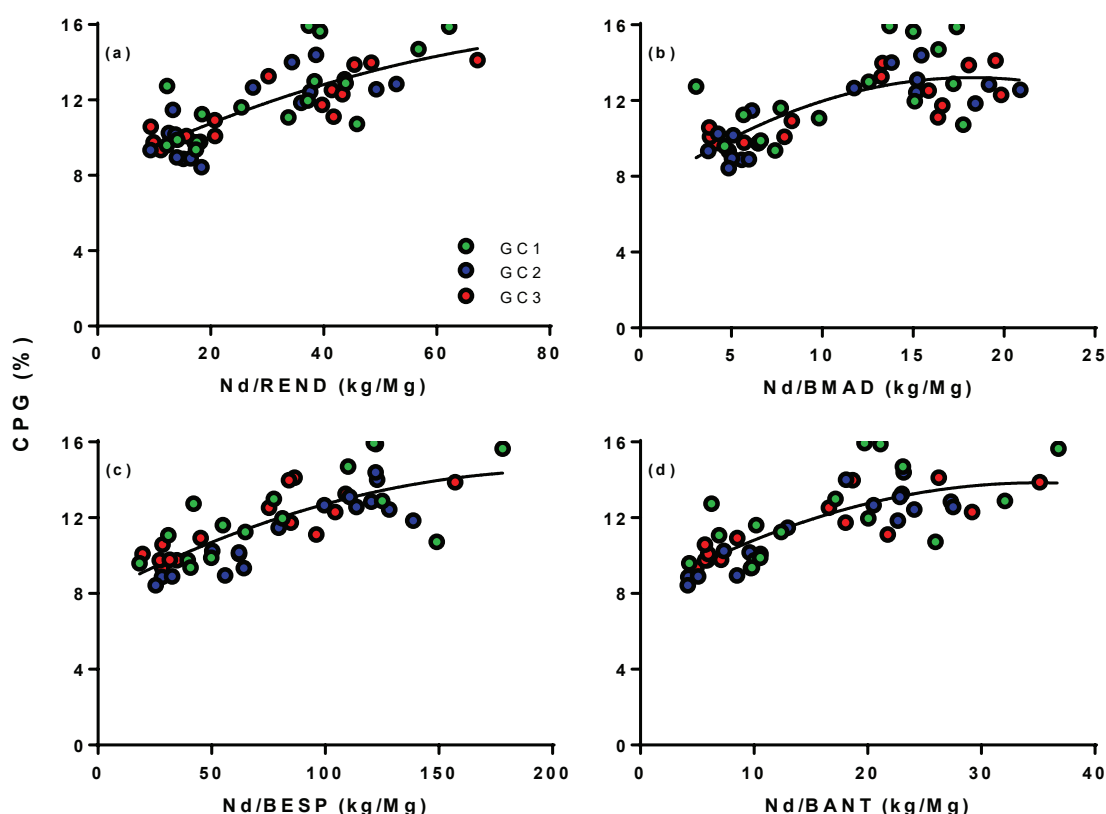


Fig. 2. Concentración de proteína en grano (CPG) en función del cociente entre la disponibilidad de N en el suelo (Nd, nitratos más fertilizante) y (a) el rendimiento (REND), (b) la biomasa aérea total a madurez (BMAD), (c) la biomasa de espigas en antesis (BESP), y (d) la biomasa aérea total a antesis (BANT). Las líneas llenas representan la función de ajuste; en (a) $y = -0,0007x^2 + 0,1451x + 8,1293$, $R^2=0,61$, $p<0,001$; en (b) $y = -0,0184x^2 + 0,6712x + 7,0976$, $R^2=0,55$, $p<0,001$; en (c) $y = -0,0001x^2 + 0,0627x + 7,9402$, $R^2=0,62$, $p<0,001$, y en (d) $y = -0,0048x^2 + 0,3382x + 7,9128$, $R^2=0,61$, $p<0,001$.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, la relación suelo-cultivo se identificó considerando a la disponibilidad de N en el suelo (estimado como la suma de los nitratos a siembra más el N proveniente del fertilizante -variable del suelo-) y al rendimiento, la biomasa aérea total a madurez, la biomasa de espigas en antesis y la biomasa aérea total a antesis (como variables del cultivo). Si bien las cuatro opciones para caracterizar al cultivo, sea medida la biomasa a antesis o a madurez, fueron indicadoras de la CPG en trigo, las estimaciones medidas en antesis permiten eventualmente realizar correcciones del CPG en caso de ser necesario para evitar penalizaciones en la comercialización del cultivo.

El análisis de las variaciones en la CPG en función del cociente entre la disponibilidad de N en el suelo y el rendimiento fue originalmente propuesto para cebada por Prystupa et al. (2007). Al comparar esa relación en cebada con la obtenida para trigo en el presente estudio, surge que la CPG en cebada fue levemente inferior a la CPG en trigo para un mismo valor de Nd/REND dentro del rango bajo a medio, y tendieron las CPG de ambas especies a confluir hacia rangos superiores del cociente Nd/REND (Fig. 3). La función sería entonces dependiente de la especie, pero sin que en nuestro trabajo se hayan observado diferencias intra-específica en trigo.

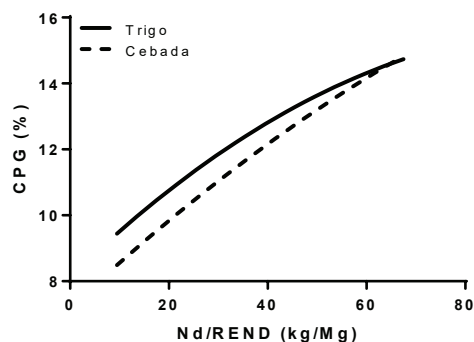
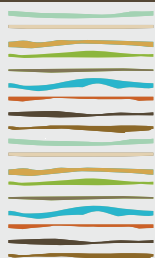


Fig. 3. Esquema de la concentración de proteína en grano (CPG) en función del cociente entre la disponibilidad de N en el suelo (Nd) y el rendimiento (REND), en trigo (evaluado en el presente trabajo) y en cebada (tomado de Prystupa et al., 2007).

El presente trabajo permitió evidenciar que la relación entre la disponibilidad de nitrógeno del suelo y la biomasa al momento de antesis (tanto total como de espigas) fue ya una variable explicativa de la CPG; ello permitiría considerarla como una herramienta para corregir mediante fertilización foliar una deficiencia que haya sido identificada en la CPG. Como próximos pasos, surge (i) la necesidad de validar la relación con condiciones ambientales diversas (e.g. secano) e independientes a las del presente estudio, y (ii) evaluar si el cociente entre la disponibilidad de N en el suelo y la biomasa en estadios fenológicos previos a antesis es también explicativo de la CPG.

BIBLIOGRAFÍA

- BCR, 2022a. Cuadros de normas de calidad para la comercialización. Bolsa de Comercio de Rosario. https://www.cac.bcr.com.ar/sites/default/files/2019-03/norma_xx_-_trigo_pan.pdf. Verificado septiembre 2022.
- BCR, 2022b. Norma de calidad para la comercialización de cebada cervecera. Norma V – Res. SENASA 27/2013. https://www.cac.bcr.com.ar/sites/default/files/2019-01/norma_v_-_res_27-2013_-_anexo_a_-_cebada_cervecera.pdf. Verificado septiembre 2022.
- Ferraris, G., F. Mousegne, 2008. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de perfiles de genotipo de trigo pan en el norte, centro y oeste de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07 y 2007/08. En: Trigo-Cebada. Resultados de experiencias. Campaña 2008 (parte I). Proyecto Regional Agrícola. INTA EEA Pergamino-General Villegas. Pp 61-72. ISSN 1852-0472.
- INASE, 2021. Instituto Nacional de Semillas, Grupo de Calidad de Trigo Pan. <https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/grupo-de-calidad-de-trigo-pan>. Verificado abril 2021.
- Kong, L., Y. Xie, L. Hu, B. Feng, S. Li, 2016. Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.*, 196, 134-144.
- Nehe, A.S., S. Misra, E.H. Murchie, K. Chinnathambi, B.S. Tyagi, M.J. Foulkes, 2020. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and protein concentration in Indian wheat cultivars. *Field Crops Res.*, 251, 107778.
- Prystupa, P., R. Bergh, G. Ferraris, T. Loewy, F.H. Gutiérrez Boem, L. Ventimiglia, 2007. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera. Red INTA – Fertilizar. Simposio Fertilizar 2007: Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Pp. 50-56.
- Spiertz, J.H.J., N.M. de Vos, 1983. Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant Soil*, 75, 379-391.
- Wardlaw, I.F., 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol.*, 116, 341-381.
- Zhou, B., M.D. Serret, A. Elazab, J. Bort Pie, J.L. Araus, I. Aranjuelo, A. Sanz-Sáez, 2016. Wheat ear carbon assimilation and nitrogen remobilization contribute significantly to grain yield. *J. Integr. Plant Biol.*, 58, 914-926.



EL RIESGO DE PRODUCCIÓN COMO MEDIDA DE RESILIENCIA PARA MAÍZ, TRIGO Y SOJA EN LA REGIÓN PAMPEANA

Manenti, L.^{1,2*}, García, F.O.³, Rubio, G.^{1,2}

¹ INBA CONICET UBA, Facultad de Agronomía, Av. San Martín 4453 (1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453 (1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Universidad de Mar del Plata.

*manenti@agro.uba.ar

RESUMEN

La resiliencia ha surgido como un concepto clave para conceptualizar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante las variaciones de las condiciones ambientales. Existen algunos parámetros que permiten medir la resiliencia de los cultivos estimados a través de experimentos a largo plazo, uno de ellos es el riesgo de producción. El enfoque del riesgo de producción permite estimar la probabilidad de que el rendimiento de un sistema de cultivo caiga por debajo de un determinado umbral. Nuestro objetivo es comparar los efectos de la fertilización largo plazo sobre los riesgos de producción en maíz, trigo y soja. Las evaluaciones se centraron en un experimento de largo plazo que se está llevando a cabo en la Región Pampeana Norte desde el año 2000. Se compararon cinco tratamientos: CTRL, +PS, +NS, +NP, +NPS y se calculó el riesgo de producción a través de la probabilidad [en %] de que los rendimientos de los distintos tratamientos caigan por debajo de un nivel específico, la probabilidad depende tanto de la media como de la varianza de cada tratamiento. En todos los casos, el tratamiento CTRL no fertilizado presentó el mayor riesgo de producción, con una probabilidad de rendimiento inferior a la media de 92, 94, 68 y 80% para el maíz, el trigo, la soja I y la soja II, respectivamente. Para el tratamiento +NPS, estos valores se redujeron al 20, 22, 30 y 33%, respectivamente. El trigo y el maíz tuvieron las mayores penalizaciones de rendimiento, mientras que los dos cultivos de soja sufrieron grandes pérdidas, pero en menor medida.

Palabras clave: Nutrición, Rendimiento, Probabilidad de riesgo.

INTRODUCCION

El trigo (*Triticum aestivum* L.), el maíz (*Zea mays* L.) y la soja (*Glycine max* L.) son los principales cultivos de mayor demanda a nivel mundial. En Argentina, son los cultivos más difundidos que abarca la mayor cantidad de superficie en producción, principalmente la soja (Merlos et al. 2015). El aumento de la producción de alimentos se enfrenta a la variabilidad climática, uno de los principales factores limitantes del rendimiento de los cultivos (Rao et al. 2019). Un estudio global encontró que las limitaciones climáticas representan aproximadamente un tercio (~ 32-39%) de la variabilidad del rendimiento mundial de cuatro cultivos principales (maíz, arroz, trigo y soja) (Ray et al. 2015). Se espera que el impacto del clima aumente aún más por el cambio climático global, afectando a la seguridad alimentaria de una población creciente (Asseng et al. 2013; Casali et al. 2021).

En los últimos años, y especialmente en el contexto del cambio climático, la resiliencia ha surgido como un concepto clave para conceptualizar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante las variaciones de las condiciones ambientales (Douxchamps et al. 2017). La resiliencia se define como la capacidad de los sistemas para adaptarse a los cambios y a las incertidumbres (Meuwissen et al. 2019). Algunos análisis de



resiliencia basados en experimentos a largo plazo incluyen la estimación de los riesgos de producción, que puede definirse como la certeza con la que se puede predecir el rendimiento de los cultivos (Macholdt et al. 2019b). Una de las aplicaciones de este enfoque es la estimación de la probabilidad de que el rendimiento de un sistema de cultivo caiga por debajo de un determinado nivel o umbral (Eskridge 1990). Es importante dilucidar cómo las diferentes variantes de fertilización afectan a la adaptabilidad ambiental de los cultivos para evaluar su eficacia como estrategia para minimizar las fluctuaciones de rendimiento y responder a los cambios ambientales. (Hatfield et al. 2001; Zhou et al. 2011; Khan et al. 2020).

Al comparar esta probabilidad entre diferentes cultivos o prácticas agronómicas, es posible elegir entre diferentes intervenciones para mitigar los efectos del riesgo y fomentar la resiliencia. Nuestro objetivo es comparar los efectos de la fertilización largo plazo sobre los riesgos de producción en maíz, trigo y soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se centraron en el experimento de largo plazo que están llevando a cabo en la Región Pampeana Norte desde el año 2000 los grupos CREA Sur de Santa Fé, con el apoyo del IPNI y Nutrien Ag Solutions™ (Ciampitti et al. 2011; Sucunza et al. 2018; Vega et al. 2020). La red incluye actualmente cinco sitios, dos (Balducci y San Alfredo) con rotaciones bianuales maíz-trigo/soja de segunda (soja II) y tres (La Blanca, La Hansa y Lambaré) con rotaciones trianuales maíz – soja de primera (soja I) – trigo/soja de segunda (soja II). Los cinco sitios se manejan siguiendo prácticas de siembra directa y sus suelos pertenecen al orden Mollisol y con algunas diferencias en sus principales características. El manejo general del cultivo (control de malezas, protección de cultivo, fecha de siembra, etc.) fue determinado por cada productor siguiendo las prácticas habituales en la zona.

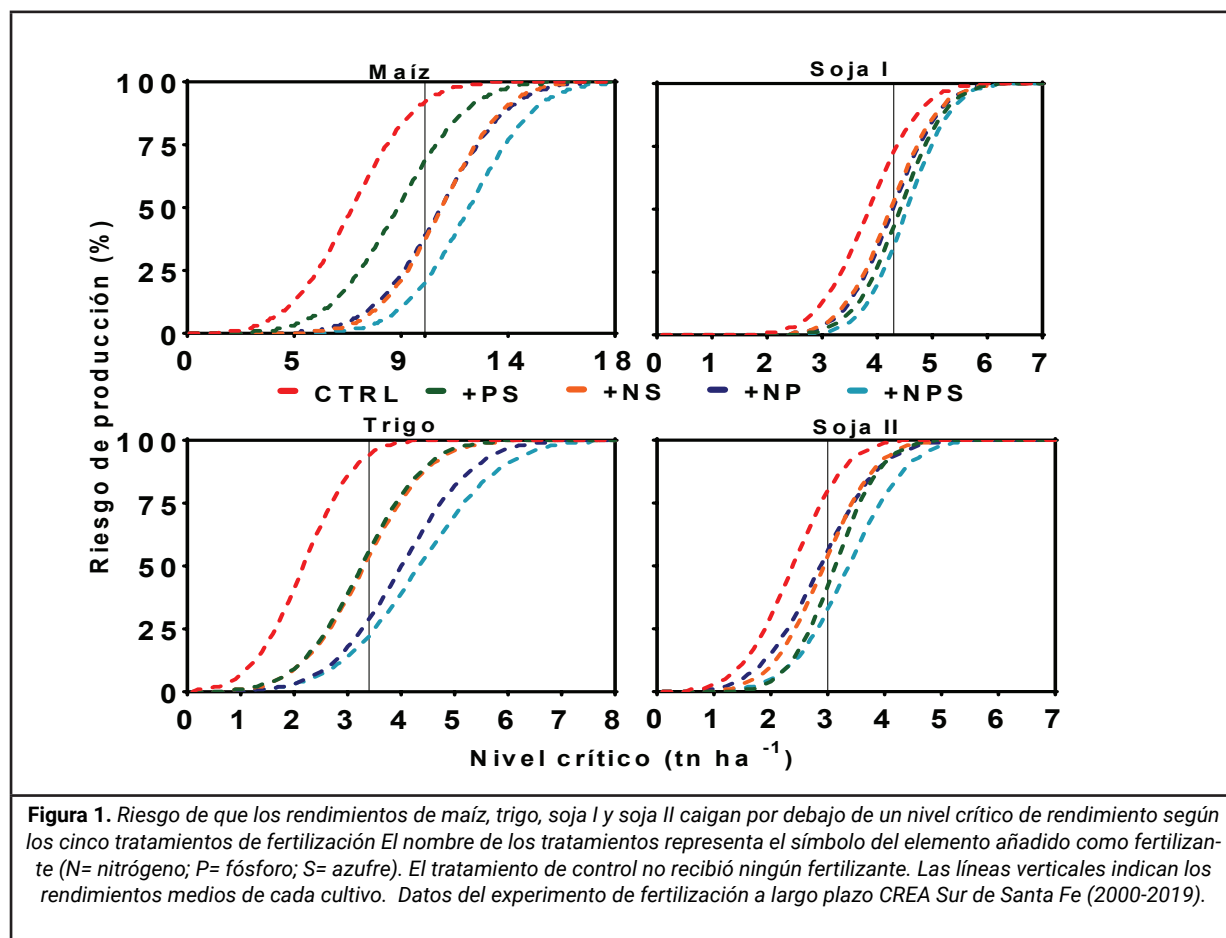
Se evaluaron 19 temporadas de cultivo (2000/01 a 2018/19), los sitios siguieron un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (excepto San Alfredo, dos repeticiones). Las parcelas tenían 25-30 m de ancho y 65-70 m de largo. Se compararon cinco tratamientos: (a) un control sin fertilización (CTRL); (b) fertilización con P y S (+PS); (c) fertilización con N y S (+NS), (d) fertilización con N y P (+NP), y (e) fertilización con N, P, S (+NPS). El rango de dosis anuales aplicadas durante el experimento (kg ha^{-1} año⁻¹) fue de 20-46 para el P, 17-25 para el S y 90-175 para el N. Los tratamientos de fertilización se repitieron anualmente en las mismas parcelas. No se aplicó nitrógeno a la soja. En el caso de trigo/soja, los fertilizantes se aplicaron sólo al trigo. Los demás nutrientes no suelen limitar el rendimiento en estos suelos y, por tanto, no se aplicaron. El riesgo de producción se ha calculado a través de la probabilidad [en %] de que los rendimientos de los distintos tratamientos caigan por debajo de un nivel específico, o más bien de un umbral. Esta probabilidad depende tanto de la media como de la varianza del tratamiento específico (Eskridge, 1990). Este índice viene dado por la siguiente ecuación:

$$p(i) = \Phi \left[\frac{\delta - \mu_i}{\sigma_i} \right]$$

Donde δ es el umbral, μ_i es la media y σ_i es la desviación estándar del i -ésimo tratamiento, y Φ es la función de distribución acumulativa normal estándar (Macholdt et al. 2019; Eskridge, 1990). El índice se calculó para un amplio rango de niveles críticos para cada tratamiento de fertilización que abarca todo el período experimental (2000-2018). Los niveles críticos se calcularon cada $0,1 \text{ tn ha}^{-1}$ considerando un rango de rendimientos de hasta 18 tn ha^{-1} para el maíz, 8 tn ha^{-1} para el trigo y 7 tn ha^{-1} para la soja I y II. Por lo tanto, el riesgo agronómico de los diferentes tratamientos de fertilización puede ser comparado a través de este índice. Los datos analizados presentan una distribución normal permitiendo así continuar con dicho estudio. Las progresiones de las curvas resultantes (Fig. 1): a la izquierda, con mayor pendiente indica un mayor riesgo de producción (una alta probabilidad de que los rendimientos caigan por debajo de los rendimientos medios cuando el rango de niveles críticos es bajo). Cuanto más a la derecha esté la curva y más gradual sea el aumento de la pendiente, menor será el riesgo de producción para los niveles críticos explorados. Los gráficos de riesgo relativo (Fig. 2) contrastan gráficamente los riesgos agronómicos de producción de un tratamiento de fertilización frente a otro tomado como referencia, en nuestro caso +NPS, para cada cultivo: cuanto más cóncava es la curva, menor es el riesgo de producción del tratamiento de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis del riesgo de producción

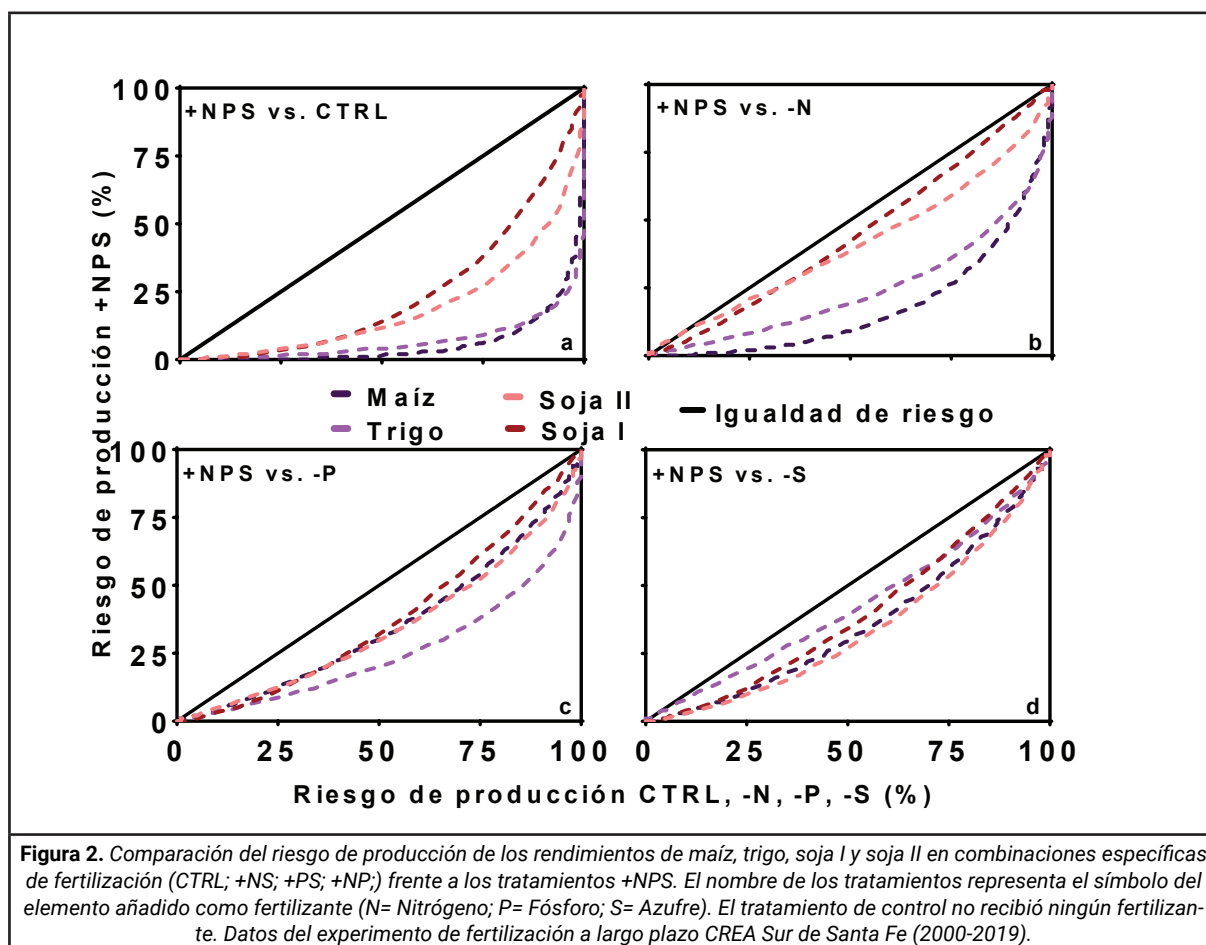


En todos los casos, el tratamiento CTRL no fertilizado presentó el mayor riesgo de producción, con una probabilidad de rendimiento inferior a la media de 92, 94, 68 y 80% para el maíz, el trigo, la soja I y la soja II, respectivamente (Fig. 4). Para el tratamiento +NPS, estos valores se redujeron al 20, 22, 30 y 33%, respectivamente. Para el maíz, la probabilidad de obtener rendimientos de grano superiores al valor medio mostró una clara dependencia de la fertilización con N, como indica la ubicación a la izquierda en la Fig. 4 de las funciones de todas las variantes de fertilización que carecen de N (tratamiento CTRL; +PS). La triple combinación +NPS fue el tratamiento con menor riesgo de producción, aunque la doble combinación de N con P o S dio lugar a una reducción adicional del riesgo, lo que sugiere un efecto sinérgico significativo.

En el caso del trigo, las funciones de riesgo para +PS y +NS se solaparon entre sí, indicando un efecto similar del N y el P, con una pendiente ascendente relativamente pronunciada en un pequeño rango de rendimientos inferiores. Las progresiones para las combinaciones +NP y +NPS se separaron claramente hacia la derecha y las pendientes de las curvas fueron más graduales, indicando una disminución del riesgo agronómico.

El tratamiento +NPS se encontró sistemáticamente a la derecha del +NP, lo que indica los beneficios de incluir S en la fórmula de fertilización. La soja I mostró los efectos más bajos de los tratamientos de fertilización sobre los riesgos de producción. Las funciones de riesgo de este cultivo mostraron que el CTRL no fertilizado se separó de los cinco tratamientos que incluían adiciones de fertilizantes. Estos cinco tratamientos presentaron un gran solapamiento de sus funciones. En cuanto a la soja II, todas las progresiones se desplazaron hacia la izquierda en comparación con la soja I, lo que indica un menor potencial de rendimiento y un alto riesgo de que los rendimientos se sitúen en el rango de 2-3 tn ha⁻¹. La dispersión de las funciones de los tratamientos de fertilización para la soja DC fue mayor que para la soja I, pero notoriamente menor que

las del maíz y el trigo. En el caso de la soja II, el mayor efecto se observó con la adición de P y S, pero también se observó cierto descenso del riesgo en respuesta al N.



Las parcelas de riesgo relativo de la Fig. 2 contrastan gráficamente los riesgos agronómicos de producción de un tratamiento de fertilización frente a otro tomado como referencia, en nuestro caso +NPS. En cada una de las cuatro parcelas de la Fig. 2, se comparó el tratamiento de referencia frente a los tratamientos que carecían de todo o de un solo fertilizante específico: CTRL no fertilizado, Sin N (tratamiento +PS); sin P (+NS) y sin S (+NP).

Como era de esperar, el tratamiento +NPS condujo a un riesgo de producción notablemente menor para todos los cultivos, como lo demuestra la fuerte concavidad de las curvas y la posición de todas las funciones por debajo de la línea de riesgo 1:1.

La comparación de +NPS frente a CTRL sin fertilizar indicó que el trigo y el maíz tuvieron las mayores penalizaciones de rendimiento, mientras que los dos cultivos de soja sufrieron grandes pérdidas, pero no tan grandes como las observadas para el maíz y el trigo (fig. 2 a).

Cuando se comparó +NPS con el tratamiento sin N, el maíz fue más susceptible de sufrir pérdidas de rendimiento que el trigo, mientras que ambos cultivos de soja sólo se vieron afectados marginalmente (Fig. 2 b). La ausencia de fertilización con P (Fig. 2 c) diferenció dos grupos. El menor riesgo de producción se verificó para el maíz y ambos cultivos de soja (I/II), que presentaron pequeñas diferencias entre ellos. La curva del trigo se mantuvo claramente separada del primer grupo, mostrando una mayor concavidad que indica un mayor riesgo de producción.

La ausencia de fertilización con S (Fig. 2 d) presentó las funciones del tratamiento más cercanas a la línea de igualdad de riesgo, indicando el menor riesgo relativo de los tres nutrientes y que es el nutriente con menor deficiencia en los suelos del sitio de estudio. Entre los cultivos, el trigo presentó el menor riesgo de rendimiento

en ausencia de fertilización con S. No se observó un patrón claro de diferenciación entre los otros tres cultivos.

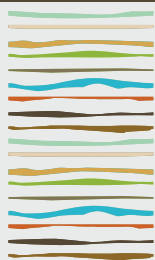
CONCLUSIONES

En la Región Pampeana es necesario aumentar la resiliencia y mitigar los riesgos de producción a través de prácticas agrícolas que satisfagan dos exigencias básicas. En primer lugar, amortiguar la variabilidad interanual de los rendimientos mediante el aumento de los mismos en años desfavorables. En segundo lugar, poder beneficiarse de un mayor potencial ambiental mediante prácticas que permitan obtener mayores rendimientos en condiciones climáticas anuales favorables. En cuanto a la primera demanda, nuestros resultados indicaron que todas las variantes de fertilización fueron una herramienta válida para aumentar los rendimientos de los cultivos estudiados en condiciones desfavorables, lo que implica un importante beneficio en la resiliencia de los sistemas de producción. En cuanto a la segunda demanda, demostramos que el patrón de respuesta a la adición de N, P y S no fue uniforme entre los cultivos comparados, y que cada cultivo presentó su propio patrón a la adición de cada nutriente a lo largo del rango de variabilidad ambiental. Dado que en nuestro enfoque los cuatro cultivos se desarrollaron en las mismas condiciones ambientales (incluida la fertilidad del suelo), nuestros hallazgos pueden utilizarse para extraer pautas que puedan conducir a una mayor resiliencia mediante prácticas de gestión de la fertilización.

BIBLIOGRAFIA

- Asseng S., Ewert F., Rosenzweig C., Jones J.W., Hatfield J.L., Ruane A.C., Boote K.J., Thorburn P.J., Rötter R.P., Cammarano D. (2013) Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature climate change* 3:827.
- Casali, L, Rubio G, Herrera JM. 2021. Modelling maize and soybean responses to climatic change and soil degradation in a region of South America. Accepted in *Agronomy Journal*.
- Ciampitti, I.A., Piccone L.I., Garcia, F.O. & Rubio, G. 2011 Phosphorus budget and soil extractable dynamics in field crop rotations in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 75:131-142.
- Douxchamps S., Debevec L., Giordano M., Barron J. (2017) Monitoring and evaluation of climate resilience for agricultural development—A review of currently available tools. *World Development Perspectives* 5:10-23.
- Eskridge, K. M. (1990). Selection of stable cultivars using a safety-first rule. *Crop Science*, 30(2), 369-374.
- Hatfield, J. L., Sauer, T. J., & Prueger, J. H. (2001). Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy journal*, 93(2), 271-280.
- Khan, S., Anwar, S., Shaobo, Y., Gao, Z., Sun, M., Ashraf, M. Y., ... & Yang, Z. (2020). Soil water consumption, water use efficiency and winter wheat production in response to nitrogen fertilizer and tillage. *PeerJ*, 8, e8892.
- Macholdt J., Piepho H.-P., Honermeier B. (2019b) Does fertilization impact production risk and yield stability across an entire crop rotation? Insights from a long-term experiment. *Field Crops Research* 238:82-92.
- Merlos, F. A., Monzon, J. P., Mercuro, J. L., Taboada, M., Andrade, F. H., Hall, A. J., ... & Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145-154.
- Meuwissen M.P., Feindt P.H., Spiegel A., Termeer C.J., Mathijs E., de Mey Y., Finger R., Balman A., Wauters E., Urquhart J. (2019) A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems* 176:102656.
- Rao C.S., Kareemulla K., Krishnan P., Murthy G., Ramesh P., Ananthan P., Joshi P. (2019) Agroecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: a conceptual framework. *Ecological Indicators* 105:621-633.
- Ray D.K., Gerber J.S., MacDonald G.K., West P.C. (2015) Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature communications* 6:1-9.
- Sucunza, F.A., Boem, F.H. G., García, F.O., Boxler, M., Rubio, G. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European Journal of Agronomy*, 96:87-95.
- Vega Jara L., Gutierrez Boem F., Garcia F., Rubio G. (2020) Long-term fertilization does not affect soil carbon/nitrogen/sulfur ratios or the proportion between labile and nonlabile fractions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal* 84:798-810.
- Zhou, J. B., Wang, C. Y., Zhang, H., Dong, F., Zheng, X. F., Gale, W., & Li, S. X. (2011). Effect of water saving management practices and nitrogen fertilizer rate on crop yield and water use efficiency in a winter wheat–summer maize cropping system. *Field Crops Research*, 122(2), 157-163.





FERTILIZACION NITROGENADA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TRIGO PAN EN EL SUR SANTA FE

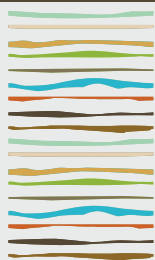
Manlla, A.G.^{1*}, F. Salvagiotti¹; D. Damianidis¹

¹ Estación Experimental INTA Oliveros;
Ruta Nacional 11, km 353, Prov. de Santa Fe, manlla.amalia@inta.gob.ar

RESUMEN

La decisión del momento y dosis de N junto a la elección del genotipo son decisiones clave para mejorar la calidad comercial e industrial de trigo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento y los parámetros de calidad (% Proteínas, Gluten Húmedo y Peso Hectolitrico en dos grupos de calidad (GC) industrial de trigo pan, según dosis creciente de nitrógeno y momento de aplicación. El experimento se realizó en Oliveros, Santa Fe, sobre un suelo Argiudol Típico serie Maciel. Se sembraron dos cultivares de ciclo intermedio corto (Buck Camba, Grupo calidad (GC) 1, y Ñandubay, (GC 2) el 14/07/2020). El diseño experimental fue parcelas subdivididas en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La parcela principal fue GC, la subparcela: dosis de nitrógeno aplicado a la siembra (DN: 0, 50, 100, 200 kg N ha⁻¹), y el momento de aplicación (MAp): Siembra: S, Macollaje: M, Dividida entre siembra y macollaje: S-M y Fertilización foliar: FF en antesis). El momento de aplicación se evaluó solo a la dosis de 200 kg N ha⁻¹. La fuente nitrogenada fue urea granulada y el fertilizante foliar Sol U. No hubo limitantes de P, S y Zn. A cosecha se calculó el rendimiento (kg ha⁻¹) al 14 % de humedad, el % de Proteínas, el Peso Hectolitrico (kg.100 l⁻¹) y Gluten Húmedo. El GC 1 rindió en promedio 3000 kg ha⁻¹, un 30% más que el GC2 (2146 kg ha⁻¹), observándose interacción GC*DN significativa, ya que hubo respuesta a las dosis crecientes de N en ambos grupos de calidad, sin embargo, el GC1, logro un incremento máximo del 34 % con la dosis máxima de N dividida, más la FF respecto del tratamiento testigo mientras que en GC2 no se observaron diferencias significativas por la adición del fertilizante. En cuanto a la concentración de proteínas, se incrementó en promedio de 11% a 15% entre la dosis testigo y la máxima dosis de N aplicado a la siembra, observándose respuesta en el % proteínas a la división de la fertilización en el GC2 que alcanzó el máximo valor (15.6%). Entre GC hubo diferencias significativas, el GC 2 supero en un 1% la concentración de la proteína al GC 1 (14.5 vs 13.5%). El gluten húmedo manifestó una similar tendencia a % proteínas, hubo diferencias significativas entre los GC 1 y 2: 34.2 y 40.7%, valores considerados muy buenos. El PH fue disminuyendo a medida que aumentaron las dosis de N, las DN 0, 50 y 100 kg N ha⁻¹ se diferenciaron del resto (75.8, 75.3 y 75.3 kg 100l⁻¹) con valores correspondientes entre los grupos de calidad 2 y 3. Estos resultados muestran la importancia de definir la dosis de base de N en trigo para incrementar el % de proteína, siendo el momento de aplicación de N de menor impacto.

Palabras clave: trigo, calidad, nitrógeno



INHIBICIÓN DE VOLATILIZACIÓN DE NITRÓGENO EN FERTILIZANTES UREICOS EN SUELOS DE MENDOZA CULTIVADOS CON AJO

Martínez L. E. ^{*1}, D. M. Lavanderos², M.G. Estrella², V. M. Lipinski³, S. B. Lanzavechia², M. Toribio⁴, F. Moriones⁴

¹ EEA Rama Caída. INTA;

² EEA La Consulta. INTA;

³ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo;

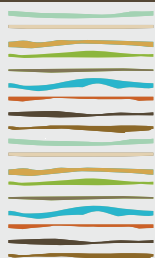
⁴ PROFERTIL;

* Vivero s/n. Rama Caída. San Rafael, (5600), Prov. de Mendoza, martinez.laura@inta.gob.ar

RESUMEN

Con el fin de preservar los recursos naturales mediante la reposición sostenible de nitrógeno al suelo, la empresa PROFERTIL produce fertilizantes que presentan diferentes componentes que hacen más eficiente la fertilización. El inhibidor de volatilización presente en el fertilizante eNe Total Plus ha presentado resultados promisorios bajo condiciones productivas de un cultivo de ajo en la zona del Valle de Uco, en la provincia de Mendoza. Otro inhibidor que no se comercializa, es el de la nitrificación; que postergan la etapa de oxidación del amonio al inhibir la actividad nitrificadora del suelo. El objetivo de usar inhibidores de nitrificación es controlar la lixiviación. El ensayo se realizó en la temporada 2019 y 2021 en parcelas experimentales de ajo colorado tardío (Rubí INTA) ubicado en la EEA La Consulta. El diseño fue en bloques completos al azar con tres repeticiones y 4 tratamientos: eNe Total Plus, Urea+DMPP, Urea y un testigo sin fertilizar. Las parcelas fueron de 4 m de largo por 2,40 m de ancho comprendiendo tres camas de siembra. La siembra de los ajos se realizó en abril, y la aplicación del fertilizante se realizó en dos oportunidades: 40% en julio y 60% en septiembre. La cosecha de los bulbos fue en diciembre. La dosis total de N aplicado fue de 250 kg N/ha. El riego por surco fue con una frecuencia de 2 veces por semana aumentando a 3 considerando las condiciones ambientales y la demanda del cultivo. En cada parcela de ensayo se instalaron cilindros de polietileno de 20 cm de diámetro por 50 cm de altura que tiene en su parte superior dos planchas de poliuretano (goma espuma) de 2 cm de espesor, embebidas con SO_4H_2 1 N y separadas 12 cm entre sí. El NH_3 es atrapado por la plancha inferior. Estas mediciones fueron realizadas cada dos días durante 10 días y 23 días cada 4 días. En laboratorio se procedió al lavado con agua desmineralizada de la plancha extraída de cada cilindro y luego determinó NH_4^+ por el método de destilación con arrastre de vapor (microKjeldahl). La disminución de la pérdida de N por volatilización, en las parcelas que recibieron eNe Total Plus favoreció a un incremento del tamaño de bulbos comerciales respecto de la Urea+DMPP. Estos resultados indican la eficiencia del inhibidor de volatilización de nitrógeno y su notable aporte al cuidado del medio ambiente que no contamina el aire ni las napas profundas. Favoreciendo de esta manera a una adecuada nutrición del cultivo de ajo bajo las condiciones regadías de Mendoza.

Palabras clave: fertilización bajo impacto, urea, inhibidor de ureasa.



EFFECTO DE LA MINERALIZACIÓN DE NITROGENO SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL FERTILIZANTE EN PAPA

Mateos Inchauspe, F.^{1*}, C.M. Giletto², H.E. Echeverría^{2,3}, N.I. Reussi Calvo^{2,4}

¹Laboratorio de Suelos FERTILAB;

²Facultad de Ciencias Agrarias de la UNMdP;

³INTA;

⁴CONICET.

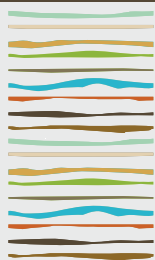
*Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Prov. de Buenos Aires,

fminchauspe@laboratoriofertilab.com.ar

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento y la calidad de los tubérculos del cultivo de papa para industria en el sudeste bonaerense (SEB). En la actualidad, los modelos de diagnóstico de N se basan en indicadores de suelo que contemplan la determinación del contenido de N mineral disponible en pre-siembra (Ni) e incluyen el aporte de N por mineralización desde la fracción orgánica que se puede estimar a partir de la determinación del N incubado en anaerobiosis (Nan). Ambos componen la oferta del N para el cultivo, la cual afectará la respuesta a la fertilización y, por lo tanto, a la eficiencia agronómica de uso de N del fertilizante (EAN). La EAN se define como la relación entre la respuesta en rendimiento de tubérculos frescos (Rto) entre un tratamiento fertilizado y el testigo sobre la dosis de N (dN). La EAN debe ubicarse por encima de la relación insumo/producto (i/p) para considerar que la fertilización nitrogenada fue rentable. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del Ni y el Nan sobre la EAN en función de la dN. Se realizaron 9 experimentos de fertilización nitrogenada en lotes de producción de papa para industria en el SEB. Las dN fueron 0, 50, 75, 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹. A la plantación, se determinó el Ni (0-60 cm) y el Nan (0-20 cm) y en la cosecha, se determinó el Rto. El Ni varió de 23,3-59,9 kg ha⁻¹ y el Nan de 46,6-100,1 mg kg⁻¹. El Rto varió de 38 a 72 Mg ha⁻¹ mientras que la EAN varió entre 5,2-46,7 kg de tubérculos kg⁻¹ de N del fertilizante. La EAN disminuyó significativamente con el incremento de la dN y del Nan ($EAN = -0.32 dN - 0.56 Nan + 0.003 dN * Nan + 71.23$; $R^2=0.51$, $p\text{-valor}<0.0001$) y no se asoció con el Ni. Los sitios con mayor potencial de mineralización de N presentaron menores respuestas en Rto y, en consecuencia, menor EAN. La EAN para el tratamiento de 200 kg N ha⁻¹ se ubicó por debajo de la i/p promedio de los últimos 5 años para todos los niveles de Nan, mientras que la dN de 150 kg N ha⁻¹ se ubicó por debajo a partir de niveles de Nan superiores a 100 mg kg⁻¹. En síntesis, se debe considerar el aporte de N por mineralización al momento de definir la dN en el cultivo de papa.

Palabras clave: papa, Nan, EAN.



ESTIMACIÓN DEL NITRÓGENO DISPONIBLE EN CULTIVO DE PAPA A PARTIR DEL NITRÓGENO INCUBADO EN ANAEROBIOSIS

Mateos Inchauspe, F.^{1*}, C.M. Giletto², H.E. Echeverría, N.I.^{2,3}, Reussi Calvo^{2,4}

¹Laboratorio de Suelos FERTILAB;

²Facultad de Ciencias Agrarias de la UNMdP;

³INTA;

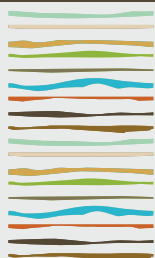
⁴CONICET.

*Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Prov. de Buenos Aires, fminchauspe@laboratoriofertilab.com.ar

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento y la calidad de los tubérculos del cultivo de papa para industria en el sudeste bonaerense (SEB). En la actualidad, los modelos de diagnóstico de N se basan en indicadores de suelo que contemplan la determinación del contenido de N mineral disponible en pre-siembra (Ni) e incluyen el aporte de N por mineralización desde la fracción orgánica que se podría estimar a partir de la determinación del N incubado en anaerobiosis (Nan). El Nan se correlaciona con el N potencialmente mineralizable y con la mineralización aparente de N a partir de balances de N en testigos sin fertilización (Nmin0N). El Nan se ha incluido en el diagnóstico de N como estimador de la cantidad de N disponible durante el ciclo de los cultivos utilizando un factor de conversión. Dicho factor depende de la estación de crecimiento y la fecha de siembra, dada la influencia de la temperatura y humedad sobre la tasa de mineralización. El objetivo de este trabajo fue estimar el factor de conversión de Nan a N disponible para el cultivo de papa para industria en el sudeste bonaerense. Se realizaron 16 experimentos de fertilización nitrogenada en lotes de producción de papa para industria del SEB. A la plantación, se determinó el Ni (0-60 cm) y el Nan (0-20 cm) y en la cosecha, se determinó rendimiento, el N total acumulado en planta y el N residual (0-60 cm) en parcelas sin fertilización nitrogenada. A partir de un balance de masa se calculó la Nmin0N asumiendo una eficiencia de recuperación de N del sistema de 60-65%. El Nan varió de 46,6-100,1 mg kg⁻¹ y la Nmin0N entre 175-290 kg N ha⁻¹. La Nmin0N se relacionó linealmente con el Nan siendo la pendiente 3,1 y la ordenada al origen igual a cero (p<0,05). Esto significaría que por cada unidad de Nan (mg kg⁻¹) el suelo aportaría 3,1 kg N ha⁻¹ lo largo del ciclo del cultivo. De esta manera, se puede incluir al Nan en un modelo de diagnóstico de N junto con el Ni y el aportado por el fertilizante para la determinación de la oferta de N del sistema. Este se complementaría con la estimación de la demanda de N por parte del cultivo a partir de un requerimiento de 6-7 kg por Mg de tubérculo fresco de N disponible en el sistema. Así, la inclusión de la estimación del aporte de mineralización de N en el modelo de diagnóstico de N para el cultivo de papa permitirá mejorar el ajuste de la dosis de fertilizante, mejorando las eficiencias de uso de este nutriente y disminuyendo las pérdidas al medio ambiente que pudieran generarse con fertilizaciones por encima de las necesidades del cultivo.

Palabras clave: papa, Nan, fertilización nitrogenada



ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN DIFFERENT PHYTOPHYSIOGNOMIES OF CERRADO IN THE STATE OF GOIAS

MATOS, K.M.B.^{1*}, Peixoto, J.C.¹, Lucas, L.S.², Neto, A.R.², Moura, J.B.², Santos, M.E.F.², Dias, T.V.², Barbosa, T.S.², Santos, L.B.M.², Santos, M.L.F.²

¹*Universidade Evangélica de Goiás;

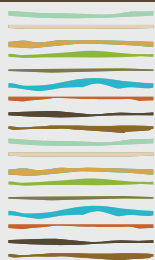
²Faculdade Evangélica de Goianésia;

* Rua 37, nº 338, Bairro Santa Luzia, Goianésia – Goiás, keren.morais32@gmail.com

ABSTRACT

The Cerrado is a biome whose main floristic characteristic is a diversity of phytophysionomies made up of landscapes that range from dense tropical forests to areas made up of undergrowth and sparsely dense tree species. The cerrado can be classified according to five phytophysionomies, which differ according to the visual characteristics of the landscape, these phytophysionomies are Campo Limpo, Campo Sujo, Cerradão, Strictu sensu and Veredas. Understanding the dynamics of mycorrhizal fungi in the Cerrado is essential for the adoption of conservation practices and for the understanding of the resilience of this biome in relation to adverse situations. Therefore, this work aims to verify the dynamics of the mycorrhizal population in the five phytophysionomies of the Cerrado biome. There was no statistical difference between the values of spore density and mycorrhizal colonization rate in the investigated phytophysionomies. The genera Acaulospora, Claroideoglomus, Diversispora, Scutellospora, Sclerocystis, Glomus, Funneliformis, Gigaspora, Ambispora and Scrobiculata were identified in the rhizosphere of cerrado plants of the investigated phytophysionomies. Campo Limpo showed greater affinity with Diversispora and Gigaspora; Campo Sujo with Gigaspora, glomus and ambispora; Cerradão, on the other hand, did not show affinity with sclerovystis and gigaspora, Strictu Senu with scutellospora and Funneliformis and Veredas with scrobilulata.

Keywords: cerrado, arbuscular mycorrhizal fungi, phytophysionomies.



EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAIZ CONTINUO SOBRE LA ACIDEZ DEL SUELO

Melchiori, R.J.M.^{1*}, S.C. Appelhans^{1,2,3}, L.E. Novelli^{1,2,3}, P.A. Barbagelata^{1,2}

¹ INTA EEA Paraná, Ruta 11 km 12,5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos;

² Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER;

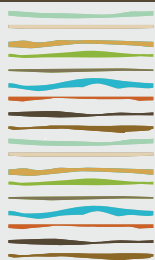
³ CONICET,

melchiori.ricardo@inta.gob.ar

RESUMEN

La intensificación sostenible propuesta en la agricultura pampeana requiere incrementar las dosis de fertilización, dado que son una de las causas de las brechas de producción observada. En este contexto, resultan relevantes estudios sobre la acidez del suelo, un problema que afecta la productividad de los cultivos en muchas regiones del mundo. La acidez afecta la disponibilidad de nutrientes y puede asociarse, entre otras causas, al incremento continuo de las dosis de fertilizantes nitrogenados que induce la remoción de bases (e.g. Ca, Mg, K) cuando las dosis resultan elevadas. Se propuso evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada de largo plazo en maíz continuo en siembra directa sobre el grado de acidez de un Molisol de Entre Ríos. Se analizaron 4 tratamientos de un experimento de larga duración ubicado en la EEA Paraná de INTA. Los tratamientos incluyeron 3 dosis de N en forma de urea al voleo (69, 138 y 276 kg N ha⁻¹) y un tratamiento testigo sin agregado de N dispuesto en un DBCA. Previo a la siembra del maíz de fecha temprana y por 3 campañas consecutivas (2016 a 2018), se obtuvieron muestras de suelo a 0-5 cm y 5-20 cm de profundidad y se les determinó el pH en agua. En la campaña 2017, se determinaron Ca, Mg, K, y la capacidad de intercambio catiónica (CIC). Los resultados se analizaron mediante ANOVA y comparaciones de media a través de un Test de Tukey ($\alpha=0.05$). En 0-5 cm, se registró una disminución ($p<0.0001$) del valor de pH a medida que se incrementaron las dosis de N (6,3 en el testigo a 4,8 en la dosis máxima). A 5-20 cm, sólo se observó un menor valor con la dosis máxima ($p<0.0001$), comparado con el resto de las dosis. No se detectaron diferencias entre años en los valores de pH, excepto a 0-5 cm en 2018, siendo en promedio un 4% menores que el resto de los años. Se detectaron efectos significativos de los tratamientos sobre los cationes básicos ($p<0,001$). Las dosis de 138 y 276 kg N ha⁻¹ presentaron disminuciones en los valores de Ca y Mg (en promedio 11,5 meq Ca 100 g⁻¹ y 2,1 meq Mg g⁻¹) comparados con el testigo y la dosis de 69 kg N ha⁻¹ (en promedio 16,2 meq Ca 100 g⁻¹ y 2,8 meq Mg g⁻¹). En el caso del K, sólo la dosis de 138 kg N ha⁻¹ presentó un valor significativo 34 % menor comparado con el resto de los tratamientos, que promediaron 1,42 meq K 100 g⁻¹. La CIC no fue afectada por los tratamientos de fertilización (en promedio 27,4 meq 100 g⁻¹), aunque si el porcentaje de saturación de bases ($p<0,0001$), en el cual las dosis más altas de N se diferenciaron de las 2 menores (53% vs. 75%, respectivamente). Luego de 23 años de fertilización continua, se redujeron 0,25 ($R^2=0.99$) y 0,1 ($R^2=0.69$) unidades de pH cada 10 años aplicando 100 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ para 0-5 y 5-20 cm, respectivamente.

Palabras clave: pH, cationes de cambio, Capacidad de intercambio catiónica.



RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE LA SOJA Y GRADIENTES DE PH ALCALINO EN EL SUELO

E.E. Karst¹, S. C. Appelhans², D. J. Santos³ y R. Melchiori³

¹ Facultad Ciencias Agropecuarias UNER;

² CONICET Argentina;

³ INTA EEA Paraná. Argentina

* Ruta Provincial 11, km 12.5, (3100), Prov. de Entre Ríos,
estefaniakarst@gmail.com

RESUMEN

La soja es un cultivo particularmente sensible a la alcalinidad, la cual suele ocasionar deficiencias de macro y micronutrientes. Esta deficiencia es conocida como clorosis férrica. Se han evaluado estrategias para mitigar esas deficiencias, como aplicaciones foliares de quelatos de Fe. Sin embargo, estas prácticas no han arrojado respuestas satisfactorias, siendo la utilización de cultivares tolerantes la mejor opción a utilizar en lotes con ésta problemática. En Argentina no se cuenta con una caracterización de los cultivares tolerantes a la alcalinidad, es por esto que el objetivo de este trabajo fue determinar cuál es el nivel de afectación en el rendimiento del cultivo de soja en niveles crecientes de pH alcalino asociado a carbonatos en suelos Argiudoles de la provincia de Entre Ríos. Los estudios fueron realizados en la EEA INTA Paraná, utilizando 4 genotipos de soja evaluados en experimentos en franjas. Se determinaron, a priori, 4 niveles de afectación del crecimiento en cada cultivar, con 4 repeticiones. Se tomaron muestras de suelo (0-20 cm), y se determinó el pH, conductividad eléctrica y porcentaje de carbonatos. En cada repetición, se seleccionaron 10 plantas consecutivas donde se estimó el crecimiento mediante mediciones alométricas de diámetro de la base del tallo en dos estadios: R2 y R5. A la madurez, se realizaron mediciones de biomasa y rendimiento individual por planta. Los resultados obtenidos indicaron la existencia de una relación negativa entre el contenido de %CaCO₃ libres, la producción de biomasa y el rendimiento. De manera preliminar, se observó que algunos cultivares mantuvieron más estable la producción de biomasa y el rendimiento, lo que sugiere podrían ser considerados como tolerantes.

Palabras clave: carbonatos, clorosis férrica, soja, tolerancia.

INTRODUCCIÓN

La productividad del cultivo de soja en la provincia de Entre Ríos, está influenciada por diferentes limitaciones edafoclimáticas, lo cual se evidencia en las diferencias en los rendimientos y estabilidad respecto de la productividad alcanzada en ambientes de la zona núcleo Pampeana Argentina. Entre estos factores, el tipo de suelo y las diferentes situaciones de degradación físico-química producto de la erosión geológica y/o antrópica, están entre los más relevantes (Bedendo, 2021. Comunicación personal). Asimismo, en algunos suelos en condiciones asociadas a los procesos erosivos, se manifiesta la presencia de carbonatos de calcio libre en altas concentraciones en los estratos superficiales, originando frecuentemente pH alcalino (>7.5), que se observa en suelos cuyo material parental es rico en Ca (Kaiser et al., 2014). Esta situación de alcalinidad, restringe el crecimiento de los cultivos ya que algunos nutrientes se encuentran menos disponibles (Marschner, 1995). Cabe señalar que, a nivel mundial, se estima que la superficie con suelos alcalinos comprende aproximadamente el 30% (Waters et al., 2018), lo cual enfatiza esta problemática.

A nivel local, aproximadamente un 60% de los suelos de la provincia se han formado sobre materiales de loes



calcáreos, lo cual hace que potencialmente puedan presentar condiciones de pH alcalino, asociado o no a la presencia de carbonatos libres. Esta característica es comúnmente observada en Entre Ríos, donde en posiciones convexas del paisaje o en fases de erosión severa del suelo, se acercan a la superficie o se exponen, los horizontes sub superficiales con alto contenido de calcáreo (Bedendo, 2021. Comunicación personal).

La soja es un cultivo particularmente sensible a la alcalinidad (Hansen et al., 2003), lo cual la hace susceptible a mostrar síntomas de deficiencia a micronutrientes, entre ellas una característica es la que se conoce como deficiencia férrica (IDC, por sus siglas en inglés). Se han evaluado estrategias correctivas como la fertilización foliar con quelatos de Fe, pero sin resultados satisfactorios que puedan considerarse como solución. Por ello, la opción más conveniente ha sido utilizar genotipos caracterizados como tolerantes a condiciones de pH alcalino (Caliskan et al, 2008, Chatterjee, 2017). En la actualidad existen listados de los genotipos caracterizados como tolerantes a pH alcalino en países donde la problemática se encuentra más estudiada (Helms, 2010). Sin embargo, esta información no está disponible hasta el presente en Argentina. Evaluaciones preliminares del comportamiento de distintos cultivares de soja creciendo en condiciones de pH alcalino causado por carbonatos libres han sido iniciadas en la EEA INTA Paraná, donde se determinaron afectaciones importantes al crecimiento y rendimiento (Melchiori et al., informe interno 2021). No obstante, no se dispone de información local acerca de cultivares caracterizados como tolerantes, ni se han determinado niveles críticos de pH, o contenido de carbonatos libres que permitan anticipar restricciones al crecimiento en cultivares de soja con distinto nivel de tolerancia a alcalinidad, creciendo en condiciones de campo. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue determinar cuál es el nivel de afectación del rendimiento del cultivo de soja en niveles crecientes de pH alcalino asociado a carbonatos en suelos Argiudoles de la provincia de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 2 experimentos en franjas en lotes de producción comercial, donde se evaluaron 4 cultivares de soja, 2 de grupo de madurez V (DM 52R19 y DM 55R20) y 2 de grupo VI (DM 62R63 y DM 60E60). Uno dentro de cada grupo de madurez identificado a priori como de mejor performance de rendimiento en suelos con elevado pH y contenido de carbonato. (Información preliminar de INTA Paraná, Melchiori y col. 2021, Informe no publicado). Los 2 cultivares adicionales fueron seleccionados por su alta productividad. Los experimentos se establecieron en 2 lotes con suelos Argiudoles (Series Tezanos Pinto y Febré, Plan Mapa Suelo INTA EEA Paraná) ubicados en el Campo Anexo de la EEA Paraná de INTA (-31.84692694243601, -60.53878210071379), y las franjas fueron establecidas atravesando zonas identificadas previamente con presencia de carbonatos en el horizonte superficial.

Dentro de cada una de las franjas se seleccionaron durante estadios vegetativos (V8) áreas con distinto grado de afectación, las que se clasificaron en 4 niveles en función de una estimación visual del grado de clorosis y reducción del crecimiento durante el estado vegetativo temprano. Los niveles se definieron con el siguiente criterio: Nivel 1 nada afectado, Nivel 2 presencia de algunas manchas cloróticas, Nivel 3 presencia de manchas cloróticas y necrosis por debajo del 50%, Nivel 4 presencia de clorosis generalizada y hojas con más del 50% de necrosis. Se realizaron 4 repeticiones por nivel de afectación y cultivar. Dentro de cada una de las zonas de muestreo seleccionadas, se marcaron y evaluaron 10 plantas consecutivas para cada uno de los genotipos (4 cultivares, 4 niveles, 4 repeticiones = 640 plantas evaluadas en ambos lotes). Sobre cada planta se realizaron mediciones del diámetro de la base del tallo medida con un calibre digital para realizar estimaciones alométricas de la biomasa por planta, en base a criterios derivados de estudios anteriores (Pereira Picabea, 2020). Las mediciones se hicieron en los estadios fenológicos de floración plena (R2) e inicio del llenado de los granos (R5), de la escala de Fehr y Caviness. (1977). Posteriormente, en madurez comercial se determinó la biomasa total y el rendimiento individual por planta mediante cosecha y trilla manual de cada una de los individuos seleccionados.

Para relacionar las variables edáficas con las variables del cultivo, se tomaron muestras de suelo compuestas (profundidad 0-20 cm) localizadas en los entresurcos del área de cultivo seleccionada en cada uno de los sitios de muestreo (32 sitios en cada lote), para determinar pH, conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de carbonato de calcio (%CO₃), mediante un calcímetro de Bernard (Arteta, 2015).



Los resultados se analizaron mediante el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al 2020) Se determinaron correlaciones de Pearson entre las variables conductividad eléctrica, pH, porcentaje de carbonatos y rendimiento, para cada uno de los lotes evaluados. Además, se determinó la relación entre las variables pH, porcentaje de carbonato, rendimiento, y peso de grano por planta mediante regresiones lineales simples, considerando los resultados de ambos lotes en conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de correlación entre las variables de suelo y el rendimiento obtenido mostró que existe una asociación negativa entre el rendimiento obtenido, el contenido de carbonatos libres en el suelo y el pH (Tabla 1). En ella se puede observar que existe una alta relación entre el contenido de CaCO_3 y el pH alcalino.

Tabla 1: Correlación entre las variables de suelo y el rendimiento del cultivo de soja en suelos Argiudoles en Entre Ríos (INTA EEA Paraná)

	pH	% CO_3	CE	Rendimiento
pH	1	**	ns	**
% CO_3	0,7	1	ns	**
CE	0,09	0,07	1	ns
Rendimiento	-0,66	-0,73	-0,01	1

Referencias: ns: no significativo; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$

El porcentaje de CaCO_3 determinado en el suelo (Figuras 1 y 2) afectó negativamente la producción de biomasa de los cultivos de soja medido al final del ciclo. Las relaciones exploraron un rango de valores de carbonatos desde muy bajos, a mayores al 10%, donde los cultivares expresaban notable clorosis y reducción del crecimiento. En ambos casos, las relaciones determinadas fueron significativas (P valor $< 0,005$). En uno de los sitios, el cultivar DM 55R20 (Figura 1), previamente identificado como con algún grado de tolerancia, mostró una mayor producción de biomasa respecto a DM 52R53 de alta producción, a pesar del aumento del % CaCO_3 . En cambio, el cultivar DM 60E60 generó mayor biomasa en todos los gradientes evaluados, respecto al cultivar DM 62R63.

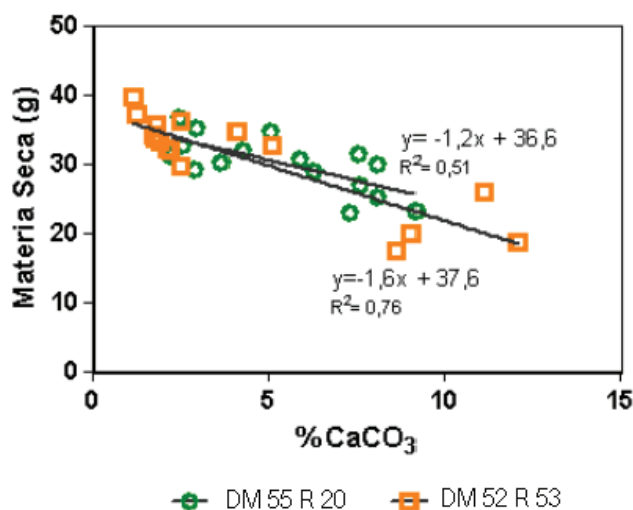


Figura 1: Relación entre materia seca producida al final del ciclo y porcentaje de CaCO_3 para 2 cultivares de soja de grupo de madurez V (DM 55R20 y DM 52R53).

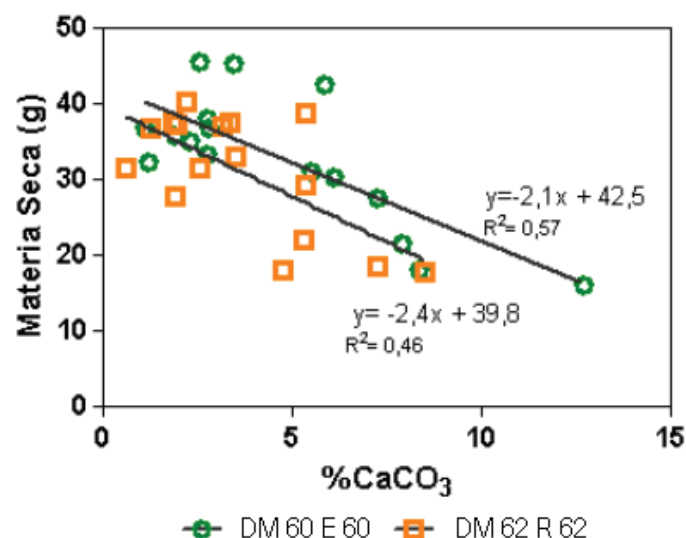


Figura 2: Relación entre materia seca producida al final del ciclo y porcentaje de CaCO_3 para 2 cultivares de soja de grupo de madurez VI (DM 60E60 y DM 62R63).

De manera similar, en las Figuras 3 y 4, se muestran relaciones negativas entre el porcentaje de carbonatos de calcio medido en superficie y el rendimiento obtenido. Las relaciones determinadas en ambos lotes fueron significativas (P valor $<0,0001$) y negativas. Se observó que el rendimiento del cultivo de soja disminuyó a medida que se incrementó el porcentaje de carbonatos libres en la solución del suelo. Sin embargo, esta disminución en el rendimiento fue algo menor en los cultivares calificados previamente con cierta tolerancia, DM 55R20 y DM 60E60. Los resultados de esta experiencia con mayor nivel de precisión experimental, y los preliminares, indicarían que estos cultivares podrían ser más tolerantes a pH alcalino y/o a la presencia de carbonatos libres en la solución de suelo.

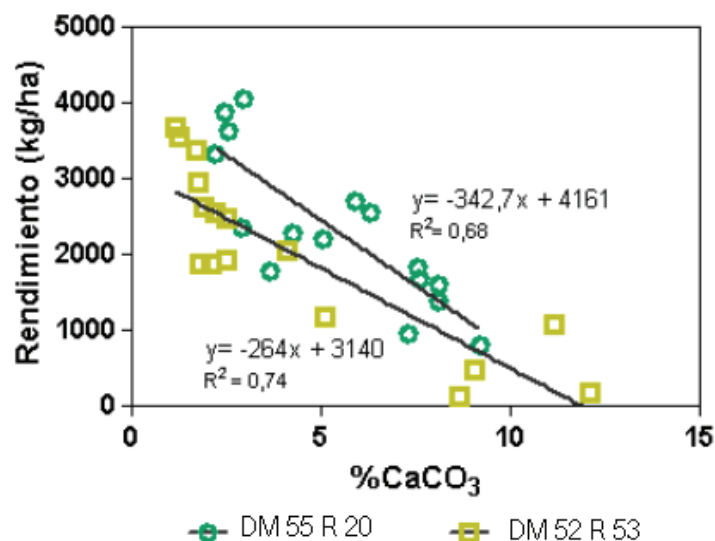


Figura 3: Relación entre el rendimiento obtenido y porcentaje de CaCO_3 para 2 cultivares de soja de grupo de madurez V (DM 55R20 y DM 52R53).

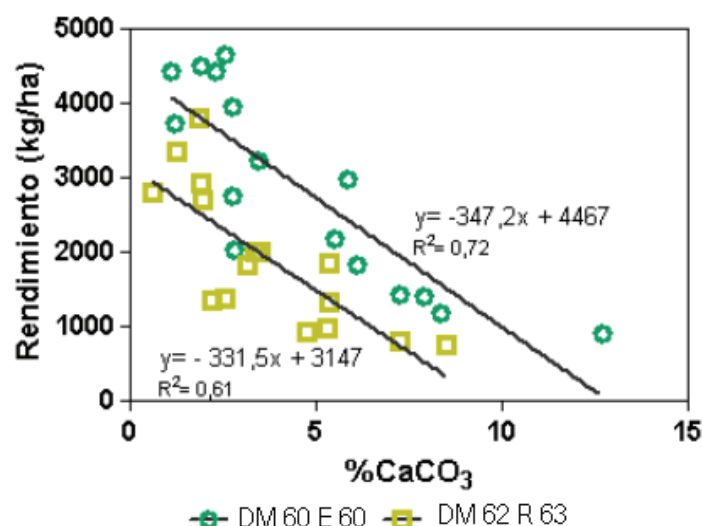


Figura 4: Relación entre el rendimiento obtenido y porcentaje de CaCO_3 para 2 cultivares de soja de grupo de madurez VI (DM 60E60 y DM 62R63).

La información obtenida, indicaría que existen cultivares de soja en los genotipos comerciales disponibles en Argentina, que podrían tener mecanismos de tolerancia a altos contenidos de carbonatos y/o pH del suelo. Estos mecanismos han sido descritos, y varios autores señalan que esta característica está asociada con una mayor generación de exudados en la rizósfera, que genera una mejor captación de nutrientes (Li, L. 2018; Aksoy, 2017; O'rourke, 2021).

CONCLUSIONES

En las condiciones evaluadas, se determinaron disminuciones significativas del crecimiento y rendimiento en cultivares de soja. Se identificaron cultivares (DM 60E60 y DM 55R20) que mostraron mejor crecimiento y rendimiento respecto a otros similares de alto potencial de rendimiento, lo cual indicaría que los primeros poseen cierto grado de tolerancia al pH alcalino causado por la presencia de carbonatos libres en la solución del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Aksoy, E., Maqbool, A., Tindas, İ. y Caliskan, S. (2017). Soja: una nueva frontera en la comprensión de los mecanismos de tolerancia a la deficiencia de hierro en las plantas. *Planta y Suelo*, 418 (1), 37-44.
- Arteta, R. L. (2015) Comparación De Métodos Para Cuantificar Carbonatos En Aguas Y Suelos. Universidad de México. Tesis de maestría.
- 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>.
- Fehr & Caviness (1977) "Stages of soybean development" Iowa State University. Special Report 80. 11 p.
- Hansen N.C.; Schmitt M.A.; Anderson J.E. & Strock J.S., (2003). "Iron Deficiency of Soybean in the Upper Midwest and Associated Soil Properties". *Agronomy Journal*. Volume 95 (1595-1601).
- Helms T.C., Scott R.A., Schapaugh W.T., Goos R.J, Franzen D.W. and SCLEGEL A.J. (2010) "Soybean Iron-Deficiency Chlorosis Tolerance and Yield Decrease on Calcareous Soils". *Agronomy Journal*. Volume 102 (492-498).
- Kaiser D.E.; Lamb J.A.; Bloom P.R.; Hernandez J., (2014) "Comparison of Field Management Strategies for Preventing Iron Deficiency Chlorosis in Soybean". *Agronomy Journal*. Volume 106 (1963-1974).
- Li, L., Gao, W., Peng, Q., Zhou, B., Kong, Q., Ying, Y. Y Shou, H. (2018). Dos factores bHLH de soja regulan la respuesta a la deficiencia de hierro. *Diario de biología vegetal integradora*, 60 (7), 608-622.
- Marschner, H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Third edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 649 p

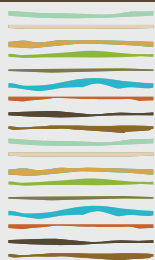


O'rourke, J.A, M., MJ, M., R., E., MJ, L., AJ, S., RM Y G., MA (2021). Extracción de perfiles de expresión de Fiskeby III y mandarín (Ottawa) para comprender las respuestas tolerantes al estrés por hierro en la soja. Revista internacional de ciencias moleculares, 22 (20), 11032.

Pereira Picabea. M. V. 2020. Variabilidad espacio temporal del stand de plantas de soja y su efecto sobre la determinación del rendimiento. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. 47 Pag.

Waters B. M.; Amundsen K.; & Graef, G. (2018). "Gene Expression Profiling of Iron Deficiency Chlorosis Sensitive and Tolerant Soybean Indicates Key Roles for Phenylpropanoids under Alkalinity Stress". Frontiers in plant science, 9, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00010>.





EFEITO DE DIFERENTES DOSES E MODOS DE APLICAÇÃO DE K NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E NOS TEORES DE K DO SOLO

Menegat, M.F.^{1*}, G. Pesini¹, V.F. Costa¹, D.J. Eckert¹

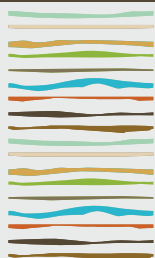
¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

*Avenida Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre-RS,
menegatmatheus@hotmail.com

RESUMO

O potássio (K) é um macronutriente fundamental para o desenvolvimento das culturas. O modo de aplicação do fertilizante e a dose correta são fatores importantes que determinam o incremento da produtividade de grãos. O trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade de trigo e soja e o teor de K disponível no solo após a adição de doses crescentes de K aplicado à lanço na superfície do solo e na linha de semeadura. O experimento foi instalado em um Latossolo com 65.3% de argila e CTC de 13.0 cmol_c dm³ na camada de 0-20 cm (Independência, RS). Os tratamentos consistem na adição de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicado na linha de semeadura e à lanço em superfície. Foi avaliado a produtividade da soja das safras 2020/2021 e 2021/2022 e a produtividade do trigo da safra de 2021, além dos teores de K disponível do solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm após a colheita da soja em 2020/2021. A soja de 2020/2021 e trigo atingiram as maiores produtividades com apenas 60 kg ha⁻¹ de K₂O, seguindo uma regressão de segunda ordem. Por outro lado, a produtividade de soja em 2021/2022 foi afetada pela dose de fertilizante, mas não houve incremento de produtividade com o aumento da dose de K₂O, fato que pode ser explicado pela forte restrição hídrica no período de desenvolvimento da soja. As doses de 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de K₂O apresentaram maiores produtividades de soja 2020/2021 quando aplicado na linha de semeadura, tendo um incremento de 14% quando comparado a aplicação a lanço. Isso porque o nutriente está mais próximo das raízes e distribuído ao longo do perfil do solo durante o desenvolvimento da cultura, favorecendo a absorção pela planta. Corroborando com os resultados anteriores, a produtividade do trigo foi 14% maior quando o fertilizante foi aplicado na linha de semeadura. No solo na camada de 15-20 cm, doses iguais ou maiores que 120 kg ha⁻¹ resultam em maior teor de K disponível quando o fertilizante aplicado na linha de semeadura. Por outro lado, o teor de K disponível foi maior na camada de 0-5 cm com a aplicação na superfície a lanço. A aplicação na linha tende a incorporar o fertilizante em maior profundidade, enquanto que na aplicação a lanço resulta num incremento do nutriente somente na camada superficial do solo, formando um forte gradiente em profundidade. A aplicação de K na linha de semeadura torna o gradiente de concentração mais homogêneo no ambiente radicular, favorecendo a absorção de K e consequentemente, aumentando a produtividade das culturas.

Palavras chave: Macronutriente fundamental, fertilizante, produtividade de grãos, K disponível.



APLICACIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIOTRANSFORMADOS SOBRE TRIGO EN UN AMBIENTE SEMIARIDO

Moisés, J.^{1,2}, J.M. Martínez^{1,2}, M.E. Duval^{1,2}, F.M. López¹, J.A. Galantini³

¹Universidad Nacional del Sur;

² CERZOS - CONICET;

³ CIC.

* San Andrés 800 (8000) Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires,
jmoises@cerzos-conicet.gob.ar

RESUMEN

Los productos a base de sustancias húmicas (SH) pueden proporcionar una tecnología potencial para integrar diferentes enfoques biotecnológicos relacionados tanto con la promoción del crecimiento vegetal como con la adaptación de las plantas a nuevas formas de producción. El objetivo fue evaluar los efectos de la aplicación foliar de SH extraídas de residuos agroindustriales biotransformados sobre la producción de trigo pan en un ambiente semiárido del sudoeste bonaerense. Se extrajeron SH de dos residuos: i) cáscara de semilla de girasol biotransformada por *Pleurotus ostreatus*; ii) compost de estiércol y restos de la producción de cebolla (*Allium cepa* L.). Se las caracterizó química y espectrométricamente. Se realizó un ensayo con 3 bloques aleatorizados, sobre un cultivo de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), donde se aplicaron de forma foliar las SH en dos dosis en estadio vegetativo del cultivo. Se evaluó el índice de verdor (IV) en antesis, la producción de materia seca (MS), el rendimiento y componentes del rendimiento en madurez fisiológica del cultivo: peso de 1000 (P1000) espigas y granos por m². El IV se diferenció para las dosis altas de ambos residuos y en menor medida, para la dosis baja del compost ($p < 0,05$). En la producción de MS y el rendimiento del trigo se observó una mayor producción con la dosis alta, siendo el SH_{CGPie} el que tuvo la mayor respuesta ($p < 0,05$). Se observaron diferencias significativas para peso de mil granos ($p < 0,05$). En cambio, no se hallaron diferencias para espigas por m² ($p = 0,4617$), ni en la cantidad de granos m² ($p = 0,0955$). La utilización de SH mostró efectos positivos para todas las variables evaluadas, por lo que podría ser una estrategia de manejo para el trigo en esta región. La obtención de SH a partir de residuos orgánicos permitiría disminuir la extracción no renovable de las SH comerciales existentes.

Palabras clave: bioestimulantes, residuos agroindustriales, sudoeste bonaerense

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) es la base de los sistemas productivos en un amplio sector del sudoeste bonaerense (SOB). Sus rendimientos están influenciados por las condiciones climáticas y las propiedades edáficas, requiriendo un uso eficiente del agua y del nitrógeno (N) (Martínez et al., 2015). Las características de esta región han llevado a que se desarrollen sistemas intensivos y actividades que generan gran cantidad de residuos orgánicos, con la consecuente preocupación por su destino final. Entre los sistemas productivos existen más de 12 mil hectáreas de cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) con una producción de 450 mil tn anuales, dejando 70 mil a 180 mil tn de descarte. La producción pecuaria aporta 190 tn anuales de estiércol. Además, se producen 54 mil tn anuales de cáscara de girasol (*Helianthus annuus* L.) (Martínez et al., 2020).



Los productos a base de sustancias húmicas (SH) pueden proporcionar una tecnología potencial para integrar diferentes enfoques biotecnológicos relacionados tanto con la promoción del crecimiento vegetal como con la adaptación de las plantas a nuevas formas de producción. Entre los efectos bioestimulantes de las SH sobre las plantas, se encuentran mejoras sobre incremento en la longitud del tallo, raíz, hojas, materia fresca y seca, tamaño y calidad de los frutos y aumento de los rendimientos (Veobides Amador et al., 2018). La mayoría de las SH usadas en la agricultura son actualmente derivadas de fuentes no renovables y se requiere del desarrollo de productos a partir de fuentes renovables (Canellas et al., 2015). Se ha demostrado que se pueden obtener SH de los residuos sólidos (Espinosa-Loréns et al., 2012). La comprensión de la estructura de las SH a través de la espectroscopía UV-vis permitiría entender más profundamente su calidad y estabilidad (Locoli et al., 2017). Las relaciones de absorbancia a ciertas longitudes de onda son parámetros de utilidad para la caracterización de las SH (Waldrup, 2014). El objetivo fue evaluar los efectos de la aplicación foliar de SH extraídas de residuos agroindustriales biotransformados sobre la producción de trigo pan en un ambiente semiárido del SOB.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2019, se realizó un ensayo en el Campo Experimental Napostá (convenio UNS y MDA-PBA), partido de Bahía Blanca (Buenos Aires). La precipitación promedio anual en la zona es de 560 mm (media 1860-2006), concentradas en otoño y primavera. El suelo es un Paleustol petrocálcico, franco grueso térmico (USDA-Soil Survey Manual, 2017). Se seleccionó un lote con historia de uso de agricultura continua desde el año 2008 con cultivos de invierno.

La extracción de SH se realizó de dos residuos orgánicos agroindustriales de la zona de influencia: i) cáscara de girasol biotransformado con el hongo *Pleurotus ostreatus* (SH_{CGPle}) y ii) compost realizado con restos de la producción de cebolla y estiércol vacuno (SH_{cmEC}). Para la extracción se siguió la metodología establecida por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) utilizando NaOH 0,1M como solución extractiva. Se equilibró el pH de las SH extraídas a 6,5-7 para armar el formulado a aplicar de forma foliar. Se consideró las SH obtenidas como el principio activo y se preparó según productos comerciales al 15,2%. Se caracterizaron químicamente N total mediante el método semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996) y por espectrometría de emisión por plasma (K, P y S). Además, mediante un análisis espectrométrico de UV-Visible. Las SH se sometieron a un barrido espectroscópico a 18 longitudes de onda entre 190 y 665 nm con un espectrofotómetro UV-Visible T60 PG instruments. Las muestras se diluyeron en agua destilada desde 1:20 hasta 1:100 de acuerdo a la concentración del tratamiento, para obtener un barrido espectroscópico completo, sin saturación de la señal. Se calcularon los coeficientes de absorción E2/E4 (Shirshova et al., 2006), E2/E6 (Ukalska Jaruga et al., 2021) y E4/E6 (Albrecht et al., 2011), considerando una relación de absorbancia de 254 a 465 nm, 254 a 665 nm y 465 a 665 nm, respectivamente (Tabla 1).

El diseño del ensayo fue de tres bloques completos aleatorizados donde se establecieron parcelas de 1m² y se definieron dos dosis de SH, alta (A) 45 L/ha y baja (B) 15 L/ha, aplicadas de manera foliar sobre un cultivo de trigo pan. La variedad de trigo fue ACA 356 y se sembró con una densidad de 250 plantas/m² a mediados de junio de ese año. El momento de aplicación foliar de las SH fue en estadio vegetativo (Z16) (Zadoks et al., 1973) del trigo. En estadio de hoja bandera (Z60) se determinó el índice de verdor (IV) con un medidor de clorofila Minolta SPAD 502 ®. Este dispositivo permite evaluar el estado nutricional nitrogenado de las plantas de forma rápida en cualquier momento del ciclo y de forma no destructiva. El IV se mide en unidades Spad (US) y cuanto más elevado es el valor, se atribuye un mejor estado nitrogenado de la planta. Las lecturas se efectuaron en el tercio superior de la última hoja totalmente expandida, en el centro de la misma entre el margen y la nervadura central, evitando dicha nervadura como así también zonas cloróticas o dañadas si las hubiese (recomendaciones detalladas en el instructivo del equipo). Al momento de madurez fisiológica (Z95) se evaluó la producción de materia seca aérea (MS), rendimiento y los componentes del mismo: espigas m⁻², granos m⁻² y peso de mil granos (P1000).

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon por el test de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher ($p < 0,05$). Se utilizó el Software estadístico INFOSTAT (Di Renzo et al., 2018).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las SH

Tabla 1. Propiedades químicas (media \pm desvío estándar) y espectrométricas de las SH aplicadas.

Tratamiento	N	K	S	P	E2/E6	E4/E6	E2/E4
	g kg ⁻¹						
SH _{CGPle}	0,49 \pm 0,12a	12,61 \pm 1,1b	0,22 \pm 0,01a	7,01 \pm 2,72b	318	8,6	36,9
SH _{CmEC}	0,25 \pm 0,01a	8,39 \pm 0,2a	0,45 \pm 0,02a	2,08 \pm 0,08a	151	9,8	15,4

SH_{CGPle} sustancias húmicas de cáscara de girasol con Pleurotus; SH_{CmEC} sustancias húmicas de compost de estiércol y restos de cebolla. N: Nitrógeno; K potasio; S azufre; P fósforo; E2/E4: relación entre los valores de absorbancia a 254 y 465 nm; E4/E6: relación entre los valores de absorbancia a 465 y 665 nm; E2/E6: relación entre los valores de absorbancia a 254 y 665 nm. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas (p<0,05).

La relación E2/E4 evidencia la interacción entre la estructura hidrocarbonada de dobles enlaces conjugados y los grupos auxocromos (Locoli et al., 2017). Si se halla en el rango de 2,1 y 14,5, indica que hay una alta densidad de CO con alto grado de conjugación, y un menor contenido en oxígeno y N (Chen et al., 2002). Al observar la caracterización química de las SH, se confirma el menor contenido de N en SH_{CmEC} (0,25 g kg⁻¹) respecto a las SH_{CGPle} (0,49 g kg⁻¹).

La relación E4/E6 indica la presencia de estructuras altamente conjugadas. Valores menores en la relación E4/E6 inferen un aumento del tamaño molecular y una disminución en la proporción de ácidos carboxílicos (Haymann et al., 2005). En este caso, los valores son similares entre ambas SH.

Por su parte, valores altos de la relación E2/E6 podrían indicar la presencia de una alta proporción de estructuras de lignina sin transformación y probablemente compuestos aromáticos del micelio de hongos, como ergosteroles SHCG_{Ple} (318); mientras que valores menores podrían indicar un mayor grado de sustitución de enlaces múltiples SH_{CmEC} (151) (Ukalska Jaruga et al., 2021).

El contenido de P y de K de las SH_{CGPle} fueron significativamente superiores respecto a las SH_{CmEC}, mientras que no hubieron diferencias significativas para el contenido de S.

Condiciones meteorológicas

Las precipitaciones anuales en 2019 fueron 505 mm (Figura 1), ubicándose por debajo de la media histórica del sitio (561 mm, serie 1980-2019). Teniendo en cuenta la necesidad teórica (NC) del trigo (Paoloni & Vázquez, 1985), el año en estudio se caracterizó por déficits hídricos durante todo el ciclo del cultivo. Esta situación se acentuó durante los meses de primavera, en los cuales la deficiencia fue muy marcada y cuyas precipitaciones son indispensables para la definición de la producción de trigo en esta región (Martínez et al., 2015).

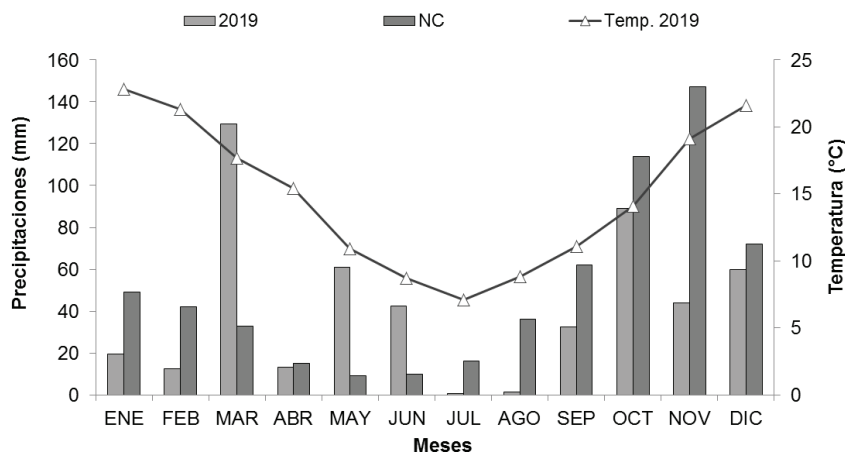


Figura 1. Precipitaciones y temperatura registradas durante 2019, precipitaciones históricas (1980-2019) y necesidad teórica del cultivo (NC).



Evaluación de la nutrición nitrogenada y producción del trigo

Se observó una mejor respuesta del IV para las aplicaciones de dosis altas de las SH aplicadas, sin diferencias entre ambos residuos empleados. La dosis baja de SH_{CmEC} también tuvo diferencias significativas respecto al testigo, siendo la dosis baja de SH_{CGPle} la única que no se diferenció estadísticamente ($p < 0,05$) (Tabla 2). Los resultados se encuentran en coincidencia con lo reportado por Rodríguez Torres (2010) quien observó que los efectos de la aplicación de SH sobre el trigo se debieron a la concentración. En general, con la aplicación foliar de SH, se favoreció la nutrición nitrogenada del trigo.

Tabla 2. Índice de verdor (media \pm desvío estándar) según tratamiento y dosis.

Tratamiento	Dosis	IV (US)
Testigo	-	38,03 \pm 1,75 a
SH _{CGPle}	B	38,43 \pm 1,45 ab
	A	43,57 \pm 2,14 c
SH _{CmEC}	B	40,93 \pm 1,61 bc
	A	41,97 \pm 0,32 c

Cáscara girasol con *Pleurotus* (CGPle); Compost estiércol con residuos de producción de cebolla (CmEC).
A: alta; B: baja.

La producción de MS y el rendimiento del trigo, mostraron las mismas respuestas a la aplicación de SH. Se observó una mayor producción con la dosis alta, siendo el SH_{CGPle} el que tuvo la mayor respuesta y el único en diferenciarse del tratamiento testigo ($p < 0,05$) (Figura 2a y 2b). Las SH_{CmEC} no se diferenciaron estadísticamente entre dosis.

Huelva et al., (2002) también reportaron efectos positivos de la aplicación foliar de diluciones de SH a partir de vermicompost, lo que verifica su efecto bioestimulante como en el presente estudio.

En cuanto a los componentes del rendimiento, se observaron diferencias significativas para P1000 ($p < 0,05$) (Figura 2c). En cambio, no se hallaron diferencias significativas sobre el trigo con la aplicación de SH para espigas m^{-2} ($p = 0,4617$) (Figura 2d), ni para granos m^{-2} ($p = 0,0955$). La aplicación foliar de SH a dosis más altas, mostró efectos positivos para todas las variables evaluadas, por lo que podría ser una estrategia de manejo para el trigo en esta región.



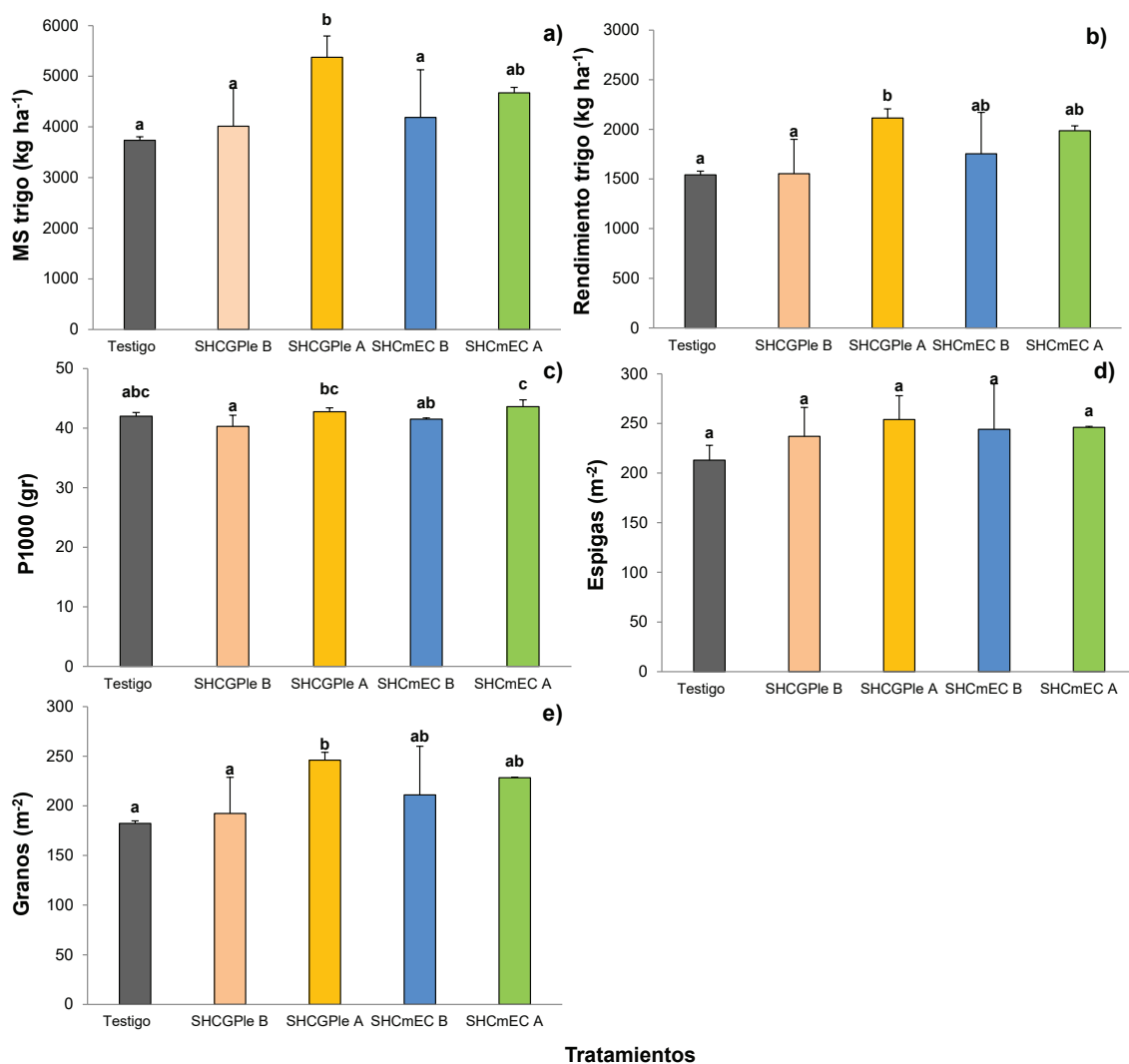


Figura 2. a) Producción de materia seca (MS); b) rendimiento c) peso de mil granos (P1000); d) espigas por m²; e) granos por m², según los tratamientos. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas para cada uno de los parámetros evaluados. Barras verticales indican el desvío estándar.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de SH extraídas de residuos agroindustriales biotransformados sobre trigo tuvo efectos positivos sobre el IV, producción de MS, rendimiento y P1000.

Si bien es un ensayo preliminar de un año, estos resultados son de gran relevancia, considerando las características propias de la zona semiárida, principalmente en años con estrés hídrico y la necesidad de la utilización de prácticas que colaboren al cuidado del ambiente. La utilización de SH obtenidas a partir de residuos orgánicos permitiría disminuir la extracción no renovable de las SH comerciales existentes.

AGRADECIMIENTOS

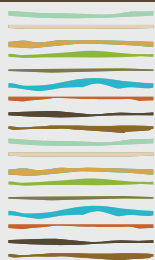
Al Proyecto de Unidades Ejecutoras CERZOS- *Bioconversión y valorización de residuos agroindustriales del sudoeste bonaerense*; y al Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica *"Uso de residuos agroindustriales biotransformados en sistemas productivos del sudoeste bonaerense: efectos sobre la calidad edáfica y ambiental"* (PICT 2017-1962).



BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, R., Petit, J. L., Terrom, G. & Périsol, C. (2011). Comparison between UV spectroscopy and nirs to assess humification process during sewage sludge and green wastes co-composting. *Bioresource Technology*, 102, 4495-4500.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen – Total. En: *Methods of Soil Analysis*, part 3. Ed. Sparks DL, Chemical Methods, 1085-1123.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A. y Mazzei, P. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*;196:15-27.
- Chen, Y., Gu, B., Leboeuf, E. J., Pan, H. y Dai, S. (2002). Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Chemosphere*, 48, 59-68.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión (2018). Grupo InfoStat, FCA, UNC, Córdoba (Argentina).
- Espinosa Loréns, D. M. C., Fernández, D. A., López, D. M., Ramos, M. C. Y., Correa, O. y Álvarez, C. (2012). Determinación de sustancias húmicas en lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Revista Cubana de Química*, XXIV: 175–180.
- Heymann, K., Mashayekhi, H. y Xing, B. (2005). Spectroscopy analysis of sequentially extracted humic acid from compost. *Spectroscopy Letters*, 38, 293-302.
- Huelva, R., Ruiz, E., Guridi, F., Garcés, N., Ramos, A., & León, P. (2002). Evaluación de la bioactividad del humus líquido obtenido a partir de vermicompos en el cultivo de la soya. *Encuentro Provincial de Agricultura Orgánica*, ACTAF.
- Iocoli, G. A., Pieroni, O. I., Gómez, M. A., Alvarez, M. B. y Galantini, J. A. (2017). Rapid characterisation of agro-industrial effluents for environmental fate by UV-visible and infrared spectroscopy from fractions obtained by centrifugation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 97 (8), 756-767
- Martínez, J.M., Galantini, J.A. y Landriscini, M.R. (2015). Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de la dosis y momento de aplicación. *Agriscientia XXXII*: 15-27.
- Martínez, J.M., Moisés, J., García, R.J., Duval, M.E. y Galantini, J.A. (2020). Efecto de la aplicación de residuos agroindustriales biotransformados sobre la producción de trigo en suelos contrastantes. En *Actas XXVII CACS*, Argentina.
- Paoloni, J.D. y Vázquez, R. (1985) Necesidades teóricas de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLIV: 1545-1556.
- Rodríguez Torres, M.D., Venegas González, J., Angoa, P.M.V., Montañez Soto, J. (2010). Extracción secuencial y caracterización físico-química de ácidos húmicos en diferentes compost y el efecto sobre trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1; 2, pp. 132-146, México
- Shirshova, L. T., Ghabbour, E. A. y Davies, G. (2006). Spectroscopic characterization of humic acid fractions isolated from soil using different extraction procedures. *Geoderma*, 133, 204-216
- Ukalska Jaruga, A., Bejger, R., Debaene, G. y Smreczak, B. (2021). Characterization of Soil Organic Matter Individual Fractions (Fulvic Acids, Humic Acids, and Humins) by Spectroscopic and Electrochemical Techniques in Agricultural Soils. *Agronomy*, 11, 1067.
- USDA - Soil Survey Manual. 2017. Agriculture Handbook No. 18. (Disponible en internet).
- Veobides Amador, H., Guridi Izquierdo, F. y Vázquez Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, vol. 39, no. 4, pp. 102-109.
- Waldrip, M. H., He, Z., Todd, R. W., Hunt, J.F., Rhoades, M. B. y Cole, N. A. (2014). Characterization of Organic Matter in Beef Feedyard Manure by UV and Fourier Transform Infrared Spectroscopies. *Journal of Environmental Quality*, 43, 690-700.
- Zadoks, J.C. Chang T.T. y Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14:415-421.





EVALUACIÓN DE FUENTES Y MOMENTOS DE APLICACIÓN DE NITRÓGENO EN SORGO GRANÍFERO

Molinari, S.¹, M.C. Ferrari^{2,3,*}, J.A. Llovet^{2,3}, L.A. Rivoltella²

¹ Bayer Crop Science;

² EEA-INTA Pergamino;

³ ECANA-UNNOBA;

* Avda. Frondizi, km 4,5 (B2700WAA) Pergamino, Prov. de Buenos Aires,

ferrari.manuel@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta a la fertilización con nitrógeno (N) en el cultivo de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) mediante la evaluación de diferentes fuentes y momentos de aplicación del nutriente. Con dicho propósito, se condujo un ensayo en la EEA-INTA Pergamino empleando un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados resultaron así de la combinación de dos factores: a) Momento de aplicación (Siembra [S], 6 hojas desplegadas [6HD], y 10 hojas desplegadas [10HD]); y b) Fuente de N (Testigo [sin fertilizante nitrogenado], Urea [46-0-0], CAN [Nitrato de amonio calcáreo; 27-0-0], Urea+nBTPT [N-(n-butil) triamida tiofosfórica; 46-0-0], y Urea-ESN [Environmentally Smart Nitrogen; 46-0-0]). Todos los fertilizantes fueron aplicados en forma manual, sobre la superficie y en cobertura total. En todos los casos la dosis utilizada fue de 60 kg N ha⁻¹. La aplicación de N aumentó el rendimiento de grano y disminuyó el peso de mil granos. La respuesta al agregado del nutriente fue correctamente anticipada mediante el nivel de N disponible inicial en el suelo (0-60 cm) y la concentración de N-nitratos en el suelo (0-30 cm) cuando el cultivo presentaba 6 hojas desplegadas. La utilización de distintas fuentes de N resultó indistinta: los rendimientos de grano y las eficiencias de uso del nitrógeno obtenidos con 60 kg N ha⁻¹ aplicados como Urea, CAN, Urea+nBTPT y Urea-ESN no difirieron entre sí. Las condiciones ambientales imperantes durante el ciclo del cultivo (abundantes y frecuentes precipitaciones) no habrían permitido la manifestación del efecto de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en los rendimientos de grano. No se encontraron diferencias entre los tres momentos de aplicación del nitrógeno evaluados (S, 6HD y 10HD) para rendimiento de grano, peso de mil granos y eficiencia de uso del nitrógeno.

Palabras clave: fertilización, rendimiento de grano, volatilización de amoníaco.

INTRODUCCIÓN

Las especiales características del sorgo granífero (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) hacen interesante su inclusión en los sistemas de producción agrícola. Debido al elevado aporte de rastrojos y al extenso sistema radical, su incorporación en la rotación contribuye a mejorar las condiciones del suelo en secuencias con escasa participación de gramíneas.

Sin embargo, la expansión del área sembrada con sorgo está ligada a las posibilidades de lograr una buena competitividad frente a otras opciones productivas. Con dicho propósito, resulta necesario optimizar la implementación de diferentes prácticas de manejo del cultivo, siendo la correcta nutrición, particularmente con Nitrógeno (N), una de singular relevancia.



La fuente y el momento utilizados en la fertilización nitrogenada deben apuntar al logro de mayores rendimientos mediante una alta eficiencia en el uso del N (EUN) aplicado. Una de las principales vías por las cuales se puede perder este nutriente del sistema y, por lo tanto, reducir la EUN, es la volatilización de amoníaco (NH_3), proceso por el que fertilizantes como la urea y, en menor medida, el UAN (urea + nitrato de amonio) pueden sufrir pérdidas considerables al ser aplicados superficialmente sobre la cobertura de rastrojos (siembra directa). Bajo dichas condiciones, otras fuentes como el CAN (nitrato de amonio calcáreo) volatilizan en cantidades prácticamente despreciables. Asimismo, existen protectores químicos y físicos de la urea que permiten mejorar considerablemente el comportamiento de esta fuente bajo situaciones favorables para la volatilización. Uno de los protectores químicos más utilizados es el nBTPT (N-[n-butil] triamida tiofosfórica), el que inhibe la actividad de la enzima ureasa, retrasando así la hidrólisis de la urea. Entre los protectores físicos, se encuentra el ESN (Environmentally Smart Nitrogen), un polímero que recubre el gránulo de urea produciendo una liberación paulatina del N contenido en su interior (Blaylock, 2008).

El objetivo de esta investigación fue estudiar la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de sorgo granífero mediante la evaluación de diferentes fuentes y momentos de aplicación del nutriente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la EEA-INTA Pergamino (33° 56' S; 60° 34') sobre un suelo Argiudol típico, serie Pergamino (Capacidad de uso: I-1/2). El lote presentaba más de 10 años de agricultura continua y el cultivo antecesor al ensayo fue trigo/soja de segunda.

Se utilizó un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas mayores correspondieron al momento de aplicación de los fertilizantes y las subparcelas a la fuente de N utilizada. Cada subparcela (unidad experimental) fue de 4 surcos espaciados a 0,525 m por 15 m de largo. Los tratamientos evaluados resultaron así de la combinación de dos factores: a) Momento de aplicación (Siembra [S], 6 hojas desplegadas [6HD], y 10 hojas desplegadas [10HD]); y b) Fuente de N (Testigo [sin fertilizante nitrogenado], Urea [46-0-0], CAN [Nitrato de amonio calcáreo; 27-0-0], Urea+nBTPT [N-(n-butil) triamida tiofosfórica; 46-0-0], y Urea-ESN [Environmentally Smart Nitrogen; 46-0-0]). Todos los fertilizantes fueron aplicados en forma manual, sobre la superficie y en cobertura total. En todos los casos la dosis utilizada fue de 60 kg N ha⁻¹.

El sorgo se sembró el 11 de diciembre en forma directa con una máquina neumática, utilizando el híbrido ADV 1200 a una densidad de 18 semillas por m lineal.

Con el fin de evitar interferencias en la expresión de la respuesta a N, en todo el ensayo se aplicó una dosis de 25 kg P ha⁻¹ (125 kg superfosfato triple de calcio ha⁻¹) en la línea de siembra y, cuando el cultivo se encontraba con 4-5 hojas desplegadas, todas las unidades experimentales fueron fertilizadas con 15 kg S ha⁻¹ (72,8 kg yeso agrícola ha⁻¹).

Antes de la implantación del cultivo, se tomaron muestras compuestas de suelo por bloque de los espesores 0-20, 20-40 y 40-60 cm para determinar el nivel de N disponible (N-NO_3^-) inicial, y también otras variables edáficas (materia orgánica, P-Bray I, S-sulfatos y pH) que permitieron caracterizar las condiciones del sitio experimental (0-20 cm).

Cuando el sorgo presentó 6 hojas expandidas, se tomaron nuevamente muestras de suelo, esta vez a 0-30 cm de profundidad, en las subparcelas Testigo de las parcelas mayores 6HD para analizar la concentración de nitratos (N-NO_3^-).

Con el cultivo en dos hojas desplegadas, en las parcelas mayores S se determinó la cobertura de rastrojos del suelo con el método de la "recta transecta" y también la cantidad de rastrojo presente (materia seca acumulada), tomando muestras de 25 cm x 25 cm en el centro de los entresurcos del cultivo para su posterior secado en estufa a 60°C y pesado.

Inmediatamente antes de la aplicación de los fertilizantes en cada uno de los tres momentos evaluados, se tomaron muestras para determinar el contenido de humedad gravimétrica del suelo en los espesores 0-1 y 0-10 cm.



El rendimiento de grano de cada unidad experimental se evaluó mediante cosecha manual de panojas (dos muestras de 5 m² cada una, localizadas en los dos surcos centrales de cada subparcela) y su posterior desgranado con una trilladora estacionaria. El grano fue pesado y su contenido de humedad medido a efectos de expresar los rendimientos corregidos a 13,5% de humedad. El peso de 1000 granos (PMG) se determinó en base al peso (corregido a 13,5% de humedad) de 4 muestras de 250 granos por subparcela.

La eficiencia agronómica de uso del N (EUN) se calculó como el cociente entre la respuesta al N y la dosis de N utilizada ($EUN = [\text{Rendimiento de grano de la parcela fertilizada} - \text{Rendimiento de grano de la parcela testigo}] / \text{Dosis de N}$).

Con el fin de analizar la influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento de las distintas fuentes y momentos de aplicación de N evaluados, se utilizaron los registros de lluvia, temperatura y velocidad de viento diarios del Observatorio Agrometeorológico de la EEA-INTA Pergamino, ubicado a 875 m del ensayo. Los resultados de rendimiento de grano, PMG y EUN fueron sometidos al análisis de la variancia, realizándose luego las comparaciones de medias mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS; $\alpha = 0,05$) empleando el paquete estadístico INFOSTAT (InfoStat, 2008). Debido a que algunos resultados de EUN presentaron valores inferiores a cero, dificultando el análisis estadístico, se decidió modificar todos los datos de dicha variable adicionando una constante numérica (+ 10). Esta nueva serie de datos se distingue con el nombre de EUN10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estación de crecimiento se caracterizó por un abundante régimen pluviométrico. Durante el ciclo del cultivo (siembra a madurez fisiológica), se registró un total de 645,8 mm. A pesar de la buena disponibilidad hídrica y las temperaturas favorables, los rendimientos de grano obtenidos no fueron muy elevados: el valor promedio de todo el ensayo fue de 6287 kg ha⁻¹.

Los resultados de los análisis de suelo de las muestras tomadas previo a la siembra se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Disponibilidad inicial de nitrógeno y caracterización de las condiciones edáficas del sitio experimental.

Propiedad	Profundidad (cm)	Valor medio
Nitrógeno disponible (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	0-60	48,36
Materia Orgánica (g kg ⁻¹)	0-20	31,8
Fósforo Bray I (mg kg ⁻¹)	0-20	7,13
S-sulfatos (mg kg ⁻¹)	0-20	11,30
pH	0-20	6,0

La concentración media de N-NO₃⁻ obtenida en las muestras de suelo tomadas en las subparcelas Testigo en el estadio de 6 hojas desplegadas del cultivo fue de 10,03 mg kg⁻¹.

Los resultados de los análisis de suelo indican que tanto la disponibilidad de N como la concentración de P extractable (Bray I) se encontraban en niveles bajos, mientras que el resto de las propiedades (materia orgánica, S-sulfatos y pH) mostraron valores adecuados para la zona. La dotación de N disponible a la siembra (0-60 cm) es muy inferior a los niveles críticos propuestos por Fontanetto *et al.* (2008) para la zona central de Santa Fe (130 kg N ha⁻¹), Ferrari *et al.* (2012) para el norte de la provincia de Buenos Aires (144 kg N ha⁻¹), y Barbagelata *et al.* (2014) para Entre Ríos (154 kg N ha⁻¹). Asimismo, la concentración de N-NO₃⁻ en el suelo (0-30 cm) cuando el cultivo presentaba 6 hojas desplegadas resultó inferior al umbral tentativo de 16,7 ppm reportado para ese estado por Ferrari *et al.* (2012). Los valores obtenidos con ambas herramientas de diagnóstico predijeron así adecuadamente la respuesta significativa al N (independientemente de la fuente de este nutriente utilizada) que luego se verificó en los rendimientos de grano.



El análisis estadístico de los valores de rendimiento de grano, PMG y EUN10 determinó que no hubo interacción significativa ($p>0,05$) entre el momento de aplicación del fertilizante y la fuente utilizada. Los distintos momentos de aplicación tampoco resultaron estadísticamente diferentes entre sí ($p>0,05$) para ninguna de las tres variables mencionadas. Las distintas fuentes utilizadas, en cambio, sí se diferenciaron ($p<0,05$) de los testigos para rendimiento y PMG, pero no se distinguieron significativamente entre sí (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en experimentos realizados en Entre Ríos (Barbagelata, com. pers.), pero difieren de los reportados por Fontanetto *et al.* (2008), quienes en aplicaciones al voleo de iguales dosis de N encontraron mayores rendimientos de grano con CAN y UAN que con urea.

Tabla 2. Valores medios de rendimiento de grano, peso de mil granos (PMG) y eficiencia de uso de Nitrógeno (EUN10) obtenidos en el ensayo.

Tratamiento	Rendimiento ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)	PMG ⁽¹⁾ (g)	EUN10 ⁽¹⁾ (kg grano kg N ⁻¹)
Testigo	5870 b	19,42 b	-----
Urea	6525 a	18,37 a	20,91 a
CAN	6380 a	18,19 a	18,49 a
Urea+nBTPT	6336 a	18,08 a	17,76 a
Urea-ESN	6324 a	18,33 a	17,56 a
DMS ($\alpha = 0,05$)	400	0,53	6,17
CV (%)	6,53	2,97	33,37

(1) Dentro de cada columna, medias con letras distintas presentan diferencias estadísticas ($p<0,05$).

Los valores de las variables climáticas relevantes para el proceso de volatilización que se registraron en los días subsiguientes a cada uno de los tres momentos de aplicación de los fertilizantes nitrogenados se detallan en la Tabla 3.



Tabla 3. Condiciones climáticas de relevancia para el proceso de volatilización de amoníaco. Datos del Observatorio Agrometeorológico de la EEA-INTA Pergamino.

Momento ⁽¹⁾	Fecha de aplicación de los fertilizantes nitrogenados	Primera lluvia post-aplicación		Velocidad del viento (km h ⁻¹) ⁽²⁾	Temperaturas medias (°C) ⁽³⁾
		Cantidad (mm)	Fecha		
S	22 diciembre	33	27 diciembre	7,19	20,02
6HD	3 enero	66	6 y 7 enero	9,60	21,21
10HD	20 enero	15	27 enero	7,14	21,80

(1) S: siembra, 6HD: 6 hojas desplegadas, 10HD: 10 hojas desplegadas.

(2) Valores medios de mediciones realizadas a 2 m del suelo para el período abarcado desde la aplicación de los fertilizantes hasta la primera lluvia post-aplicación.

(3) Valores medios de mediciones realizadas en abrigo meteorológico en el período abarcado desde la aplicación de los fertilizantes hasta la primera lluvia post-aplicación.

Las diferencias y similitudes observadas en los efectos de las fuentes sobre los rendimientos entre este estudio y otros trabajos, estarían principalmente asociadas a las condiciones edáficas y ambientales exploradas por los cultivos en los distintos escenarios productivos.

En la presente investigación, la ocurrencia de precipitaciones con posterioridad a la aplicación de los fertilizantes nitrogenados se registró en un plazo máximo de 7 días, para la fertilización realizada en 10HD (Tabla 3). El lapso que medió entre la aplicación de las fuentes de N y la primera lluvia fue aún más corto para los momentos S (5 días) y 6HD (4 días). En diversos estudios se ha observado que las pérdidas de N por volatilización se tornan significativas recién a partir del segundo o tercer día desde la aplicación del fertilizante (e.g., Fontanetto *et al.*, 2010) y también que la magnitud de las mismas se vuelve mayor al aumentar la dosis de N (Fontanetto *et al.*, 2010). La dosis relativamente baja que fue utilizada en el presente experimento (60 kg N ha⁻¹), en adición al período de tiempo relativamente corto transcurrido entre la aplicación de los fertilizantes y la ocurrencia de la primera lluvia, habrían limitado los niveles de escape gaseoso de N por esta vía en los tres momentos de fertilización evaluados.

Los contenidos de humedad gravimétrica del suelo en superficie fueron elevados cuando se aplicaron los fertilizantes en los tres momentos comparados, tanto en la capa 0-1 cm (S: 30,74; 6HD: 26,47; y 10HD: 39,07 g 100 g suelo⁻¹) como en el espesor 0-10 cm (S: 28,37; 6HD: 27,07; y 10HD: 32,58 g 100 g suelo⁻¹), y esta alta disponibilidad hídrica se sostuvo en el tiempo como producto de las precipitaciones que se registraron en los días subsiguientes. Bajo dichas condiciones, el proceso de volatilización de NH₃ no se ve favorecido, como sí ocurre cuando el suelo se encuentra inicialmente en capacidad de campo y luego atraviesa un período en el cual va secándose lentamente (García, 1996).

El elevado valor del porcentaje de cobertura de rastrojos (media: 84,3%) y la cantidad relativamente abundante de materia seca de residuos acumulada en superficie (media: 6007 kg ha⁻¹) determinados en este estudio, permitirían inferir que habría existido una considerable actividad ureásica en el sitio experimental, la cual favorece la hidrólisis de la urea y, por consiguiente, las pérdidas de N por volatilización. Sin embargo, en una campaña en la que las precipitaciones fueron copiosas y frecuentes, el impacto de una mayor concentración de la enzima ureasa en los rastrojos habría quedado diluida. En este contexto, la cobertura de residuos contribuyó a mantener la superficie del suelo húmeda, evitando su rápida desecación, como habría sucedido si la misma hubiera estado descubierta. Por otro lado, también debe considerarse que la temperatura del suelo bajo el rastrojo es inferior a la que se registra cuando la superficie se encuentra desnuda.



Los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes no se caracterizaron por la ocurrencia de temperaturas extremadamente elevadas ni vientos de gran velocidad (Tabla 3), fenómenos que podrían haber favorecido el proceso de volatilización. La temperatura es un regulador de la actividad biológica. Por lo tanto, la actividad microbiana productora de la enzima ureasa, y también la actividad ureásica en sí, dependen directamente de este parámetro. El viento, a su vez, al remover constantemente la capa de aire, genera una diferencia de concentración de NH_3 en las cercanías del suelo que incrementa la tasa del escape gaseoso.

En conjunto, los factores del ambiente, del manejo y del suelo que afectan el proceso de volatilización no habrían presentado en este estudio las condiciones necesarias para que las pérdidas de N por esta vía adquirieran relevancia. Consecuentemente, las fuentes de N que exhiben un comportamiento ventajoso con respecto a este proceso en comparación con la urea (CAN, Urea+nBTPT y Urea-ESN) no generaron rendimientos de grano significativamente superiores.

El PMG de los testigos fue estadísticamente superior al de las subparcelas fertilizadas con N. Estos resultados contrastan con los hallados por Ferrari *et al.* (2012), quienes no encontraron diferencias para esta variable ante el incremento de la dosis de N aplicada.

Dado que se aplicó la misma dosis de N en todos los casos, la no existencia de diferencias entre fuentes para la variable EUN10 corrobora que todas las fuentes de fertilizante presentaron el mismo nivel de eficiencia de uso del nutriente. Bajo condiciones más favorables para el proceso de volatilización de NH_3 , Fontanetto *et al.* (2010) encontraron que la EUN fue afectada positiva y significativamente por la adición del protector químico (nBTPT) a la urea.

CONCLUSIONES

La aplicación de nitrógeno aumentó el rendimiento de grano y disminuyó el peso de mil granos del cultivo de sorgo granífero.

La respuesta al agregado del nutriente fue correctamente anticipada mediante el nivel de nitrógeno disponible inicial en el suelo (0-60 cm) y la concentración de N-nitratos en el suelo (0-30 cm) cuando el cultivo presentaba 6 hojas desplegadas.

Ante la ocurrencia de abundantes y frecuentes precipitaciones que caracterizaron a la campaña en estudio, la utilización de distintas fuentes de nitrógeno resultó indistinta. Los rendimientos de grano y las eficiencias de uso del nitrógeno obtenidos con 60 kg N ha⁻¹ aplicados como Urea, CAN, Urea+nBTPT y Urea-ESN no difirieron entre sí.

Las condiciones ambientales imperantes durante el ciclo del cultivo no habrían permitido la manifestación del efecto de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en los rendimientos de grano.

No se encontraron diferencias entre los tres momentos de aplicación del nitrógeno evaluados (a la siembra, en 6 hojas desplegadas y en 10 hojas desplegadas) para rendimiento de grano, peso de mil granos y eficiencia de uso del nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con fondos del Proyecto "Sorgo" de la ECANA-UNNOBA y del Proyecto PNC-yO-1127033 del INTA.

BIBLIOGRAFÍA

Barbagelata, PA; JM Pautasso & RJM Melchiori. 2014. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada para sorgo en Entre Ríos. En: Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 5 p. Bahía Blanca, mayo de 2014. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).

Blaylock, AD. 2008. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers. En: Actas XVI Congreso de Aapresid, pp. 133-139. Rosario, agosto de 2008.



Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID).

Ferrari, M; LA Rivoltella & JM Casado. 2012. Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización nitrogenada en sorgo granífero. En: Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 6 p. Mar del Plata, abril de 2012. Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo (SLCS) - Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).

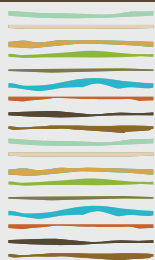
Fontanetto, H; O Keller; J Albrecht; D Giailevra; C Negro & L Belotti. 2008. Aspectos del manejo del cultivo y de la fertilización nitrogenada para el sorgo granífero. En: Información técnica cultivos de verano. Campaña 2008, pp. 19-29. Publicación Miscelánea N° 112. INTA, EEA Rafaela.

Fontanetto, H; S Gambaudo; O Keller; J Albrecht; D Giailevra; C Negro; L Belotti & H Boschetto. 2010. Efecto de un inhibidor de la ureasa sobre la fertilización nitrogenada en maíz de segunda. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 4 p. Rosario, mayo-junio de 2010. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).

García, FO. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. Boletín Técnico N° 140. INTA, EEA Balcarce, 16 p.

InfoStat, 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.





ÍNDICE DE CARBONO Y RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO EN SUELOS BAJO DIFERENTES PASTURAS EN EL CHACO

Mónaco, I. P.^{1*}, F.E. Céspedes Flores^{12*}, J.A. Fernández²

¹ EEA Colonia Benítez-INTA;

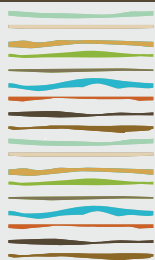
² Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE;

*Av. Marcos Briolini 750, C.P. 3505, Localidad Colonia Benítez, Prov. de Chaco,
monaco.ingrid@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo fue estimar el índice de Carbono en planta entera de Tangola (*Urochloa arrecta* x *Urochloa mutica*), Grama rhodes (*Chloris gayana*) y pasto Clavel (*Hemarthria altissima*) y el Carbono y Nitrógeno del suelo con estas pasturas. Se tomaron muestras de pasturas en campos de productores ganaderos del área de influencia de la EEA INTA Colonia Benítez. Las muestras fueron llevadas a laboratorio, secadas al aire y tamizadas por malla de 0,5 mm, determinándose carbono orgánico por Walkley Black y nitrógeno total por Kjeldhal. Se determinó el índice de Carbono en una muestra compuesta de biomasa aérea de cada especie por el método de combustión seca y fueron analizadas con un LECO CN628. En cada sitio de muestreo se obtuvo una muestra compuesta de suelo por profundidad (0 a 0,10 m y 0,10 a 0,30 m) y por cada sitio de muestreo. Los muestreos de suelo se realizaron en 9 sitios con uso de pasturas de *Chloris gayana* cv. Callide (sitio 1, 2, 4, 5, 6 y 7), *Hemarthria altissima* (sitio 3 y 9) y *Urochloa arrecta* x *Urochloa mutica* (sitio 8). El índice de Carbono obtenido de las pasturas fue de 21,79; 28,50; 32,02 (g C/100g MS) para Tangola, Grama rhodes y Pasto Clavel respectivamente. En suelo los valores obtenidos de concentración de Carbono en los 0-0,1 m de profundidad fue para el sitio 5 el de mayor valor significativo (2,5 g C/100 g suelo⁻¹) y para el sitio 1, 2, 3, 4 y 7 los de menor valor significativo (entre 1,01 y 1,52 g C/100 g suelo). Los valores de concentración de Nitrógeno a los 0-0,1 m de profundidad fue para el sitio 5 el de mayor valor significativo (0,23 g N/100 g suelo) y los demás sitios fueron menores significativamente (entre 0,08 y 0,15 g N/100 g suelo). La relación Carbono-Nitrógeno en los 0-0,1 m de profundidad fue mayor significativamente en el sitio 7 y 9 (20,08 y 20,15 respectivamente). Para los 0,1-0,3 m de profundidad la concentración de Carbono fue mayor significativamente en el sitio 5 (1,33 g C/100 g suelo) y menor significativamente en el sitio 2 (0,66 g C/100 g suelo). La concentración de Nitrógeno en suelo a los 0,1-0,3 m fue mayor significativamente para el sitio 6 (0,15 g N/100 g suelo) y menor significativamente para los sitios 2, 7, 8 y 9 (entre 0,05 y 0,07 g N/100 g suelo). La relación Carbono-Nitrógeno a los 0,1-0,3 m de profundidad fue mayor significativamente para el sitio 9 (26,39) y menor significativamente para el sitio 6 (6,4). Los datos preliminares indican que la pastura de Pasto clavel presenta el índice de Carbono en la biomasa vegetal y la relación Carbono-Nitrógeno en suelo mayores que el resto de las pasturas evaluadas, presentando un potencial de almacenamiento de carbono en biomasa aérea y suelo mayor al resto en este primer año de evaluación.

Palabras clave: Contenido de carbono, servicio ambiental, cambio climático.



ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO MÉDIO PARA ESTIMAR A CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NO TECIDO VEGETAL DE *ILEX PARAGUARIENSIS*

Naibo, G.^{1*}, G. Pesini², C. Chemin², D.L. Lucchesi³, J. Brilhante⁴, B. Lisboa⁴, L. Kayser⁴, J.M. Moura-Bueno⁵, T. Tiecher⁶

^{1*}Doutoranda em Ciência do Solo, Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS, naibogabriela@gmail.com;

² Graduandos em Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul – UFRGS;

³ Mestrando em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS;

⁴ Pesquisadores do a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul (SEAPDR), por meio do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA);

⁵ Pós-doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM;

⁶ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

RESUMO

O uso da espectroscopia ainda não foi testado para estimar a concentração de nutrientes nas folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). O presente estudo tem como objetivo avaliar a melhor combinação de técnicas de pré-processamento espectral e modelos multivariados para estimar a concentração de elementos químicos em amostras de tecido foliar de erva-mate. Foram coletadas 111 amostras de tecido vegetal de erva-mate distribuídas em fazendas produtoras no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Nessas amostras, foram analisadas a concentração total de 11 nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e também foram obtidos os espectros registrados na faixa de 2500 a 18000 nm, caracterizado como *Mid Infrared Reflectance* (MIR). Além dos espectros originais (RAW), utilizou-se o *Detrend* (DET), *Standard Normal Variate* (SNV) e *Savitzky-golay derivative* (SGD) como pré-processamentos espectrais. Os modelos utilizados para a calibração foram o *Partial Least Squares Regression* (PLSR) e *Support Vector Machine* (SVM). O desempenho dos modelos foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2), relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) e o erro médio quadrático de predição (RMSE). A predição dos seis macronutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg e S) em amostras de tecido foliar vegetal de erva-mate foi mais acurada quando utilizando o modelo de calibração multivariada *Support Vector Machine* (SVM) combinado com o pré-processamento SGD. Neste sentido, a técnica espectroscopia de reflectância difusa MIR pode ser utilizada para prever as concentrações dos macronutrientes em tecido foliar erva-mate com acurácia.

Palavras chave: erva-mate, nutrição vegetal, elementos químicos.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) é uma árvore endêmica das regiões subtropicais e temperadas da América do Sul. A distribuição natural da cultura compreende as províncias de Misiones e Corrientes na Argentina, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Paraná, no Brasil, além dos estados do Alto Paraná, Canindeyú e Caaguazú no Paraguai. Devido à alta demanda e à dificuldade em se realizar análises de química úmida para estimar as concentrações de elementos químicos presentes em tecido foliar vegetal, surge como método alternativo o uso da espectroscopia de reflectância difusa. Esta é uma técnica que gera mínima quantidade de resíduos químicos, não destrutivo, e de menor custo comparado aos métodos convencionais.



A calibração de modelos preditores através do uso combinado de pré-processamento espectral associado à robustas técnicas matemáticas de *machine learning*, podem apresentar resultados satisfatórios na estimativa da concentração de elementos químicos em tecido vegetal (TÜRKER-KAYA; HUCK, 2017). Porém, esta técnica tem sido pouco explorada na estimativa da concentração de elementos químicos em tecido vegetal, principalmente em espécies florestais e ainda não há consenso sobre qual combinação de pré-processamento espectral e método multivariado é mais adequada para prever a concentração de elementos de interesse em tecido vegetal. Sendo assim, este estudo tem como objetivo avaliar a melhor combinação de técnicas de pré-processamento espectral e modelos multivariados para estimar a concentração de elementos químicos em amostras de tecido foliar de erva-mate.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em **ação conjunta** da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul (SEAPDR), por meio do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) e a EMATER-RS, juntamente com o Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Entre 2019 e 2021, foram coletadas 111 amostras de tecido foliar de erva-mate em ervais localizados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1), sendo Região dos Vales, Missões, Alto Uruguai, Nordeste Gaúcho e Alto Taquari. A amostragem de tecido vegetal foi realizada pela coleta de quatro folhas em cada quadrante da copa de pelo menos dez árvores, tomadas de forma aleatória, por erval.

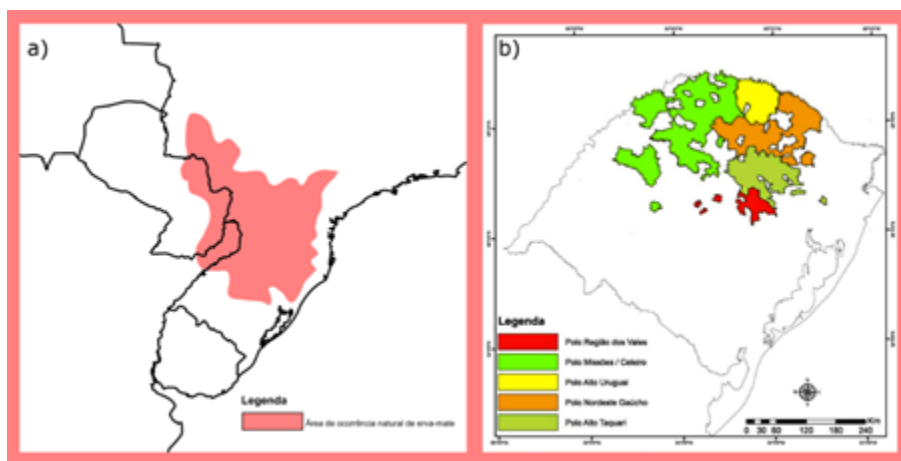


Figura 1. Localização dos principais polos ervateiros do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

As amostras de tecido, após secagem em estufa com ar forçado a 60 °C (até atingir massa constante) foram moídas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm. Para as análises químicas dos teores de nutrientes no tecido vegetal das amostras de erva-mate foi empregada metodologia utilizada por TEDESCO et al. (1995). Para a abertura das amostras foi utilizada digestão ácida com H₂O₂ /H₂SO₄ (N, P, K, Ca e Mg) (190 °C a 375 °C) e HNO₃ e HClO₄ (S) (90 °C a 190 °C). Teores de Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção atômica, P, B e S por espectrometria na faixa de luz visível, N por meio de destilação de NH₃ enquanto K por espectrometria de chama.

Os espectros do MIR foram registrados na faixa de 2500 a 18000 nm, utilizando um espectrômetro FTIR Spectrum Two Perkin-Elmer, com 12 leituras por espectro, com uma resolução espectral de 4 cm⁻¹, mantendo a amostra estagnada sobre o cristal ao longo da leitura. Para a quantificação das amostras utilizou-se o grau de ágata para homogeneização e minimizar a fração granulométrica da amostra.

Posteriormente a aquisição dos dados espectrais, os espectros brutos (RAW) foram submetidos a três técnicas de pré-processamento espectral: *Detrend* (DET) que remove os ruídos presentes nos dados espectrais através da utilização da *standard normal variate* seguida de um modelo de regressão polinomial de segunda ordem para padronizar os dados (BARNES; DHANOA; LISTER, 1989); *Standard Normal Variate* (SNV) utilizado para remover a dispersão de dados espectrais causada por ruídos e diferentes tamanhos de partículas e, consiste em suavizar o espectro a partir dos valores médios e desvio-padrão usando uma função de convolução aplicada em cada espectro individualmente; *Savitzky-golay derivative* (SGD) com a 1ª derivada usando

um polinômio de primeira ordem, com janela de busca de 11 nm, após teste inicial para definir a melhor janela. A definição dessas três técnicas foi baseada nas diferenças que existem no processo matemático de cada uma para transformar os dados espectrais. Todos os pré-processamentos foram realizados utilizando os pacotes *prospectr* e *clusterSim* (STEVENS; RAMIREZ-LOPEZ, 2020; WALESIAK; DUDEK, 2020) implementados no software R (R CORE TEAM, 2021).

Modelos multivariados foram calibrados para estimação da concentração de N, P, K, Ca, Mg e S com dados espectrais do MIR. Na calibração dos modelos foi utilizado dois métodos multivariados amplamente utilizados: (i) *Partial Least Squares Regression* (PLSR) técnica paramétrica utilizada na modelagem espectroscópica e (ii) *Support Vector Machine* (SVM) (R package *e1071* (MEYER et al., 2019)), técnica não-paramétrica. Métodos com diferentes abordagens foram selecionados devido à ocorrência de correlações lineares e não lineares (VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010). Todos os modelos foram calibrados por validação cruzada usando uma divisão aleatória em 10-fold (BRUS et al., 2011).

O desempenho dos modelos foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2) (Equação 1), relação entre o desempenho e a distância interquartil (RPIQ) (Equação 2) e o erro médio quadrático de predição (RMSE) (Equação 3) (BELLON-MAUREL et al., 2010). Para fins de interpretação, foi utilizado a classificação de qualidade dos modelos sugerida por Veum et al. (2015) e Chang et al. (2001), onde modelos com Categoria A possuem alto nível de confiabilidade: $R^2 \geq 0,75$ e $RPIQ \geq 3,0$; na sequência modelos com Categoria B possuem $R^2 \geq 0,63$ e $< 0,75$ e $RPIQ \geq 1,9$ e $< 3,0$, e modelos com Categoria C possuem $R^2 \geq 0,50$ e $< 0,63$ e $RPIQ \geq 1,5$ e $< 1,9$. Os parâmetros de acurácia como R^2 , RMSE e RPIQ obtidos com os diferentes métodos de calibração, pré-processamentos espectrais e elementos foram comparados pelo teste de comparação de média de Tukey ao nível de significância de $p < 0,05$.

Após a modelagem e interpretação dos resultados, foram selecionados para cada elemento os modelos mais acurados entre as combinações de método multivariado e pré-processamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A concentração dos 6 elementos corrobora com os dados observados por Santin et al. (2013a); Santin et al. (2013b) e Souza et al. (2008), demonstrando que existe uma grande amplitude na concentração dos 6 elementos químicos no tecido foliar vegetal de erva-mate, considerando os teores que comumente encontra-se no tecido foliar de erva-mate.

Tabela 1. Estatística descritiva dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre para o tecido foliar de erva-mate.

Estatística descritiva	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg kg ⁻¹					
Mínimo	0,70	0,07	0,62	0,30	0,36	0,04
Máximo	3,63	0,47	2,60	1,20	1,20	0,43
Média	2,02	0,15	1,39	0,70	0,67	0,22
Mediana	2,02	0,12	1,38	0,69	0,61	0,22
Desvio Pa- drão	0,43	0,07	0,36	0,16	0,18	0,08
1st Qu	1,76	0,10	1,16	0,60	0,56	0,16
3rd Qd	2,27	0,16	1,59	0,79	0,84	0,28

O modelo multivariado SVM resultou em melhores predições que o PLSR em todos os casos avaliados, como indicado pelos valores médios de ajuste do modelo (Figura 2). O melhor desempenho do método não-paramétrico SVM é devido ao uso da função de *kernel*, a qual separa os dados de calibração em hiperplanos e busca estabelecer correlações entre a variável dependente e independentes quando essas apresentam comportamento não linear (IVANCIUC, 2007). Essa abordagem tem mostrado vantagens na modelagem de con-



juntos de dados que apresentam relações não lineares comparado ao método PLSR. Os estudos analisando estas variáveis de métodos multivariados ainda são incipientes para a cultura da erva-mate.

Além disso, o método PLSR reduz o número de variáveis preditoras, transformando-as em fatores ortogonais. Nesse processo, pode ocorrer perda de variáveis explicativas importantes para a predição e, portanto, reduzir o desempenho preditivo dos modelos em comparação com o método SVM (Figura 2). Isso sugere que feições espectrais menos absorventes, mas ainda importantes, podem ser perdidas em alguns comprimentos de onda. Nesse contexto, como não há um consenso em quais picos são determinantes para a predição de elementos químicos, o modelo tenha que observar várias feições para prever a identificação do elemento no material, o que desfavorece a predição usando o modelo PLSR.

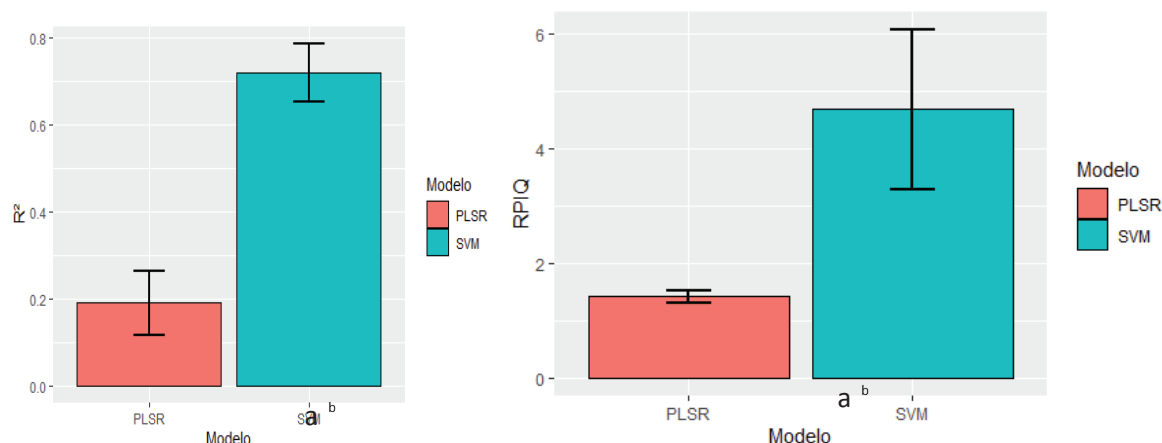


Figura 2. Comparação do desempenho dos métodos de calibração multivariada indicado pelos valores de R^2 (a) e RPIQ (b). PLSR: Partial Least Squares Regression. SVM: Support Vector Machine. *Médias seguidas pela mesma letra comparando os métodos de calibração multivariados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Utilizando o método PLSR, não houve diferença entre os pré-processamentos testados (Tabela 2). Por outro lado, a técnica de pré-processamento influenciou diretamente na predição dos dados quando comparado com o modelo SVM (Tabela 2). Nesse caso, o desempenho dos modelos aumentou na seguinte ordem de pré-processamento utilizado: RAW < SNV < DET < SGD, como pode ser visto tanto pelo R^2 e RAW = SNV = DET < SGD pelo RPIQ (Tabela 2). Além disso, é possível verificar que o desempenho dos modelos SVM sem pré-processamento (RAW) resultou em modelos com acurácia menor em comparação com os demais pré-processamentos e semelhante àqueles obtidos com PLSR. Isso indica que o método SVM é mais sensível a alterações causadas pelos pré-processamentos.

O efeito do pré-processamento no realce das absorções do espectro MIR teve maior efeito quando se utilizou o método multivariado SVM. Cabe ressaltar que os dados originais (RAW) e o pré-processamento SNV, o qual apenas suaviza o espectro, tiveram menor acurácia no SVM em comparação aos demais pré-processamentos. Os estudos analisando estas variáveis de pré-processamentos espectrais ainda são incipientes para a cultura da erva-mate, principalmente na faixa espectral do infravermelho médio.

Os elementos foram divididos em categorias conforme proposto por (VEUM et al., 2015; CHANG et al., 2001) sendo interpretadas pelo R^2 e RPIQ. Para o modelo multivariado PLSR, observa-se que as melhores predições foram para os elementos N, P e S, diferindo significativamente dos demais elementos analisados. Para o RPIQ no método multivariado PLSR, observa-se que os elementos N e S tiveram melhores predições em relação as demais elementos analisados. Todos os elementos analisados tiveram maiores acurácias nas predições quando observado o coeficiente de determinação (R^2), para o modelo SVM não diferindo significativamente entre os elementos (Tabela 2), onde considera-se satisfatório $R^2 > 0,75$ (VEUM et al., 2015; CHANG et al., 2001).

Tabela 2. Elementos químicos combinados com os modelos multivariados e pré-processamentos espectrais, analisando através dos parâmetros de acurácia R^2 e RPIQ.

Modelo	Pré-processamento	N	P	K	Ca	Mg	S
		R^2					
PLSR	Original - RAW	0,66	0,87	0,06	0,16	0,05	0,55
	Detrend - DET	0,41	0,52	0,03	0,08	0,02	0,39
	Standard Normal Variate - SNV	0,53	0,48	0,04	0,09	0,06	0,40
	Savitzky-Golay Derivative - SGD	0,75	0,25	0,05	0,05	0,06	0,57
SVM	Original - RAW	0,73	0,91	0,44	0,43	0,39	0,67
	Detrend - DET	0,90	0,78	0,72	0,69	0,69	0,92
	Standard Normal Variate - SNV	0,84	0,70	0,59	0,57	0,57	0,83
	Savitzky-Golay Derivative - SGD	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$RPIQ$							
PLSR	Original - RAW	2,00	2,38	1,22	1,30	1,57	2,06
	Detrend - DET	1,52	1,24	1,20	1,24	1,54	1,76
	Standard Normal Variate - SNV	1,70	1,19	1,21	1,25	1,57	1,78
	Savitzky-Golay Derivative - SGD	2,34	0,99	1,22	1,22	1,58	2,09
SVM	Original - RAW	2,23	2,60	1,54	1,53	1,88	2,34
	Detrend - DET	3,68	1,77	2,20	2,11	2,68	4,82
	Standard Normal Variate - SNV	2,85	1,52	1,83	1,80	2,28	3,34
	Savitzky-Golay Derivative - SGD	12,00	8,61	11,93	12,14	15,33	14,16

*K: potássio; N: nitrogênio; P: fósforo; S: enxofre; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

Pode-se observar na Tabela 1 que os elementos não diferiram significativamente entre si para o método multivariado SVM, tanto para o coeficiente de determinação como para o RPIQ, mostrando que independente de qual elemento está sendo abordado a predição da concentração há uma boa acurácia do valor estimado.

CONCLUSÕES

A predição dos seis macronutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg e S) em amostras de tecido foliar vegetal de erva-mate foi mais acurada quando utilizando o modelo de calibração multivariada *Support Vector Machine* (SVM) combinado com o pré-processamento SGD. Neste sentido, a técnica espectroscopia de reflectância difusa MIR pode ser utilizada para prever as concentrações dos macronutrientes em tecido foliar erva-mate com acurácia.

BIBLIOGRAFIA

- BARNES, R. J.; DHANOA, M. S.; LISTER, S. J. Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. **Applied Spectroscopy**, Plainfield, v. 43, p. 772-777, 1989.
- BELLON-MAUREL, V. et al. Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 9, p. 1073-1081, 2010.
- BRUS, D. J.; KEMPEN, B.; HEUVELINK, G. B. M. Sampling for validation of digital soil maps. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 394-407, 2011.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; SANTOS, E. M. Conteúdo de nutrientes em uma procedência de *Acacia mearnsii* no Rio Grande



do Sul - Brasil. Boletim de Pesquisa Florestal, n. 42, 2001. p. 105-121.

CANTARUTTI, R.B. et al. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. 1. ed. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

CARDOZO JUNIOR & MORAND C. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* St-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health - A review. Journal Functional Foods, 2016; 21:440-454.

CHANG, C. et al. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 480–490, 2001.

IVANCIUC, O. Applications of support vector machines in chemistry. In: LIPKOWITZ, K.B.; CUNDARI, T. R. (ed.). **Reviews in computational chemistry**. Weinheim: Wiley, 2007. p. 291–400.

MEYER, D. et al. **R**: misc functions of the department of statistics, probability theory group (Formerly: E1071), TU Wien: R Packag. Version 1.7-3. Vienna: R CRAN, 2019.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

ROZANE, D.E; et al. Avaliação do estado nutricional de videiras pela Diagnose da Composição Nutricional -CND. In: MELO, G.W.B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.;

CERETTA, C.A. (Org.). Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras. 2016a. p. 45-60.

STEVENS, A.; RAMIREZ-LOPEZ, L. An introduction to the prospectr package. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://cran.rproject.org/web/packages/prospectr/index.html>. Acesso em: 21 fev. 2020.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, planta e outros materiais. 2. Ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5)

TÜRKER-KAYA, S.; HUCK, C. W. A review of Mid-Infrared and Near-Infrared Imaging: Principles, Concepts and Applications in Plant Tissue Analysis. *Molecules*, 22, 168, 2017. doi:10.3390/molecules22010168.

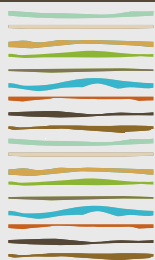
VARMUZA, K.; FILZMOSER, P. **Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics**. New York: CRC Press, 2009. 313 p.

VEUM, K. et al. Estimating a soil quality index with VNIR reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 2, p. 637-649, 2015.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 46-54, 2010.

WALESIK, M.; DUDEK, A. The choice of variable normalization method in cluster analysis. In: SOLIMAN, K. S. (ed.). **Education excellence and innovation management: a 2025 vision to sustain economic development during global challenges**. Sewilla: International Business Information Management Association, 2020. p. 325-340.





EVALUACIÓN DE EFLUENTE DE AGROINDUSTRIA DE MOLIENDA HÚMEDA DE MAÍZ COMO FERTILIZANTE

Nicolier, J.G.¹, M. Simonutti^{12*}, D.E. Menapacce¹, M.E. Carrizo¹, M.J. Masola¹ & S. Imhoff¹²

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral.

²ICiAgro Litoral-UNL-CONICET-FCA¹, R.P.

Kreder 2805 (S3080HOF), Esperanza, Provincia de Santa Fe.

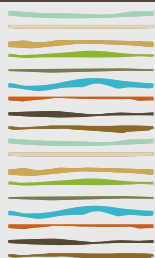
juangabrielnicolier@hotmail.com

RESUMEN

La industria de molienda húmeda de maíz, genera un efluente denominado líquido de maceración de maíz (LMM). Este efluente es rico en nutrientes, por lo que puede un insumo importante para recuperar los niveles de fertilidad química del suelo, ayudando a cerrar el flujo de economía circular de la agroindustria del maíz. El objetivo del experimento fue valorar agrónomicamente el LMM como fertilizante para cultivos extensivos para establecer las condiciones adecuadas de uso que garanticen una producción sustentable y la protección del ambiente. Se realizaron dos experimentos en secuencia en invernadero y a campo sobre un suelo Argiudol típico serie Esperanza. En invernadero se utilizaron macetas y a campo parcelas de 20 m de largo x 11 m de ancho. En ambos se realizaron 4 tratamientos por triplicado en un DBCA que consistieron en la aplicación previa a la siembra de diferentes láminas de LMM, a saber: T0= sin aplicación de LMM; T1: lámina para cubrir 50% de los requerimientos de N; T2= para cubrir 100% y T3= para cubrir 150%. T2 se definió en función de los requerimientos de N para una producción de 15000 kg ha⁻¹ de raigrás (*Lolium multiflorum*; Lam.). A los 5 días de la aplicación se tomaron muestras de suelo para realizar análisis de fertilidad química y al final del cultivo. En ambos experimentos se observó un incremento de P_{disp}, Nt y algunos cationes intercambiables como Mg y K. En invernadero también se incrementó el contenido de Ca, Na y la CIC, sin cambios en el pH y Ce. A campo se observó concentraciones más elevadas de N-NO₃ y aumento leve de la Ce, sin cambios del pH. También se verificó que a partir de los 40 cm de profundidad no hubo alteraciones en los parámetros químicos. En invernadero se realizaron 3 cortes del cultivo mientras que a campo fueron 5 cortes. La producción de raigrás en invernadero presentó diferencias significativas en T3, superior a T0 y T1, mientras que no difirió de la obtenida en T2. A campo la producción de MS se incrementó con el aumento de las dosis aplicadas, pero a tasa decreciente, alcanzándose la máxima productividad en T3 (20.303 kg ha⁻¹) superando la producción esperada. Se concluyó que el LMM puede ser considerado un fertilizante rico en nutrientes, que permite cubrir las necesidades de los cultivos y mejorar la fertilidad del suelo. Sin embargo, el contenido de nutrientes del suelo debe monitorearse periódicamente para evitar la ocurrencia de desbalance de nutrientes debido a que el LMM es muy rico en algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo, K) y pobre en otros (Ca, Mg).

Palabras clave: liquido de maceración de maíz, fertilizante, suelo.





XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

DISTRIBUCION ESPACIAL DE CULTIVOS EN UN GRADIENTE DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA UTIL

Nieto, M.V. ^{1*}, P. Baldassini^{2,3}, R. Álvarez^{1,4}, J.L. De Paepe^{1,4}

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires;

²Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires;

³INIA La Estanzuela, Uruguay,

⁴CONICET,

* Av. San Martín 4453. C1417DSE - Buenos Aires - Argentina.

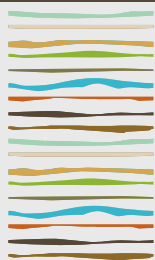
*mvnieto@agro.uba.ar

RESUMEN

Hasta hace poco la información agrícola sobre superficie sembrada y rendimiento de cultivos en Argentina era publicada a escala anual y agregada a nivel departamental. El Mapa Nacional de Cultivos publicado por el INTA provee información espacialmente explícita sobre la distribución de cultivos anuales, desde la campaña 2018/19 hasta la actualidad con una resolución de 30x30m. La capacidad de almacenamiento de agua útil (CAAU) es una variable edáfica estable que se relaciona con la productividad de los cultivos y en la Región Pampeana presenta un gradiente amplio. El objetivo de este trabajo fue evaluar la asociación entre la CAAU de los suelos de la provincia de Córdoba y la distribución espacial de los cultivos anuales, pasturas y pastizales. Para ello, se uniformizó la información del mapa de suelos de la provincia de Córdoba del INTA por horizonte de suelo y se ajustaron modelos para estimar el porcentaje de arena, limo, arcilla y carbono orgánico cada 25 cm para cada serie de suelo. A partir de esto, se calculó la CAAU usando modelos de pedo-transferencia como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez hasta el primer metro de profundidad o hasta el límite superior de la capa petrocálcica. Esta información se cruzó con el Mapa Nacional de Cultivos correspondiente al invierno del 2019 y el verano 2020. Para los píxeles clasificados como "No agrícola" se identificó si correspondían a pasturas o pastizales en base al mapa anual del año 2018 de la Colección 1 de MapBiomás Pampas. Para cada serie de suelo se cuantificó la proporción de la superficie de cada uso del suelo y se ajustaron modelos de regresión logística y lineal con la CAAU. La CAAU osciló entre 18,6-206 mm hasta el metro de profundidad. Se identificó un patrón espacial de noreste, con valores mayores a 180 mm, a sudoeste, con valores más bajos de 75 mm. Los suelos con valores de CAAU bajos (26 mm en promedio) tuvieron el 82% de su superficie cubierta por pastizales y a medida que los suelos tenían mayor CAAU la proporción de cultivos de verano, soja y maíz, aumentó (50% sumando ambos) en detrimento de la superficie ocupada por pastizales incrementando así la diversificación en el uso de estos suelos. La proporción de la superficie con doble cultivo no aumentó tanto y nunca superó el 12,6% y la proporción de la superficie con maní fue mínima en todos los suelos. Los mejores ajustes de la CAAU con la proporción de la superficie por tipo de uso fueron para pastizal ($R^2 = 0,84$), maíz ($R^2 = 0,83$), cultivo de invierno + soja ($R^2 = 0,82$), los ajustes intermedios se obtuvieron para cultivo de invierno + maíz ($R^2 = 0,62$), soja ($R^2 = 0,61$), pastura ($R^2 = 0,59$) y el ajuste menor fue para maní ($R^2 = 0,25$). Sería interesante poder realizar este análisis para todas las provincias del país para identificar áreas donde se podría aumentar la eficiencia de uso de los recursos disponibles.

Palabras clave: textura suelos, doble cultivo, Región Pampeana.





DINÁMICA DE NITRATOS Y N MINERALIZADO DEL SUELO A ESCALA DE SECUENCIAS DE CULTIVOS

Novelli, L.E.^{1,2,3,*}, N.E. Maltese^{1,2,3}, V.C. Gregorutti^{1,2,3}, R.J.M. Melchiori¹, O.P. Caviglia^{2,3}

¹ INTA EEA Paraná;

² Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER;

³ CONICET.

* Ruta 11 km 12,5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos,

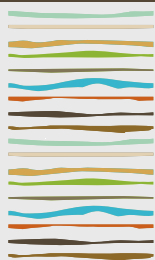
novelli.leonardo@inta.gob.ar

RESUMEN

Para poder avanzar a una intensificación sostenible de la agricultura, se requiere un abordaje sistémico, para cuantificar las principales vías de ingreso y salidas de nutrientes. El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica de los nitratos (NO_3^-) y de la mineralización de nitrógeno (N) a escala de secuencias de cultivo con niveles de intensificación contrastantes. Se analizaron 4 secuencias de cultivos: monocultivo de soja (Sj), monocultivo de maíz (Mz), trigo/soja 2°- maíz (Tr/Sj-Mz) y trigo/soja 2°-arveja/maíz tardío (Tr/Sj-Arv/Mz), provenientes de un experimento de larga duración iniciado en 2008 en la EEA Paraná de INTA, sobre un Molisol en siembra directa. El diseño del experimento es un DBCA con 3 repeticiones. Durante 2 campañas consecutivas (2019-2020 y 2020-2021), se realizaron muestreos de suelos hasta 1 m de profundidad (entre 9 y 11 muestreos totales) para analizar la dinámica de NO_3^- , coincidiendo los muestreos con fechas de siembra, cosecha y barbechos. Paralelamente, para poder estimar la mineralización de N a campo (N_{\min}), al momento de la siembra de los cultivos invernales y estivales, se sembraron microparcels no fertilizadas con N (6 m^2) (trigo para cultivos de invierno, y maíz para cultivo de verano). Al momento de la siembra de los cultivos, se realizó un muestreo hasta 1 m de profundidad para determinar el contenido de NO_3^- y evaluar su dinámica. A la madurez de cada cultivo incluido en la secuencia, se tomaron muestras de suelo de la microparcels no fertilizada para determinar NO_3^- , y un muestreo destructivo de biomasa aérea para la determinación de N acumulado en la misma. El N_{\min} a escala de secuencia se estimó como la sumatoria del N absorbido en la biomasa de la microparcels, más el N-NO_3^- a madurez, descontando el N-NO_3^- disponible a la siembra a lo largo de las 2 campañas. En los períodos sin cultivo (entre 29 y 37% del tiempo de evaluación), el aporte de mineralización se asumió como la diferencia en la disponibilidad de nitratos hasta 1m de profundidad en dicho período, sin considerar otras vías de pérdidas. El menor valor de N_{\min} se registró en Mz (ca. $73,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), mientras que el resto de las secuencias presentaron un valor mayor en 45% (Tr/Sj-Mz), 80% (Sj) y 95% (Tr/Sj-Arv/Mz), aunque sin diferencias significativas entre estos tratamientos. En promedio, el tratamiento Sj presentó mayor contenido promedio de N en el perfil (i.e., 89 kg N ha^{-1}) comparado al resto de los tratamientos (entre 65 y 68 kg N ha^{-1}), pero la secuencia con menor coeficiente de variación en ese contenido (19,4%) fue la más intensificada (i.e., Tr/Sj-Arv/Mz), la cual presentó valores de nitratos más estables a lo largo del período de estudio (entre 54 y $94 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$). El resto mostró una variación similar (en promedio 36,4%). Si bien estos resultados son preliminares, sugieren que el uso de secuencias intensificadas y diversas como Tr/Sj-Arv/Mz son promisorias para mejorar la captura del N disponible del suelo, contribuyendo a su vez con una elevada mineralización del N del suelo.

Palabras clave: eficiencia de uso de nitrógeno, disponibilidad de N, secuencia intensificada.





EFICIENCIA DE USO DEL N EN SECUENCIAS AGRÍCOLAS

Novelli, L.E.^{1,2,3,*}, N.E. Maltese^{1,2,3}, V.C. Gregorutti^{1,2,3}, P.R. Ecclesia¹, S.C. Appelhans^{1,2,3}, R.J.M. Melchiori¹, O.P. Caviglia^{2,3}

¹ INTA EEA Paraná;

² Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER;

³ CONICET.

* Ruta 11 km 12,5 (3101), Oro Verde, Entre Ríos,

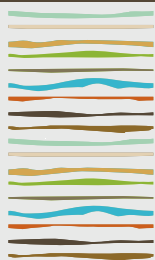
novelli.leonardo@inta.gob.ar

RESUMEN

La economía del N es usualmente evaluada a nivel de cultivo individual. Sin embargo, esta aproximación no considera la economía del N por fuera de la estación de crecimiento de un cultivo dado. En este sentido, resulta necesario una aproximación al estudio de la economía del N a escala de secuencias de cultivos. El objetivo del trabajo fue analizar la Eficiencia de Uso de N (EUNs) ante niveles de intensificación contrastantes de las secuencias. Se analizaron 4 secuencias de cultivos: monocultivo de soja (Sj), monocultivo de maíz (Mz), trigo/soja 2°- maíz (Tr/Sj-Mz) y trigo/soja 2°-arveja/maíz tardío (Tr/Sj-Arv/Mz), provenientes de un experimento de larga duración iniciado en 2008 en la EEA Paraná de INTA, sobre un Molisol en siembra directa. El experimento se realizó en un DBCA con 3 repeticiones. Durante 2 campañas consecutivas (2019-2020 y 2020-2021) se analizaron la mineralización aparente de N (usando microparcelas sin fertilizar como cultivo trampa) y la fijación biológica de N (FBN) por la técnica de ¹⁵N. Asimismo, se obtuvieron datos de biomasa y rendimiento de cultivos en equivalente glucosa (Rto) y se analizó el contenido de N para estimar el N absorbido (Nabs). La fertilización con N se realizó para trigo y maíz buscando alcanzar 135 y 150 kg N ha⁻¹, considerando N-NO₃⁻ del suelo + fertilizante. La disponibilidad de N en el sistema se obtuvo por la suma de los valores anualizados de mineralización, FBN, y aportes por fertilización (Nd). La EUNs (Rto/Nd) y sus componentes: la eficiencia de absorción y utilización de N (i.e., EabsN=Nabs/Nd; EutN=Rto/Nabs) fueron estimadas a escala de secuencia de cultivos. El Rto de las secuencias difirió significativamente. La secuencia más intensificada (i.e., Tr/Sj-Arv/Mz) presentó el mayor Rto (11,6 Mg ha⁻¹), comparado con Sj (6,2 Mg ha⁻¹), mientras que Mz y Tr/Sj-Mz mostraron valores intermedios (8,4 Mg ha⁻¹). El Mz fue el que mostró los mayores valores de EUNs (ca. 56 kg grano kg Nd⁻¹), diferenciándose significativamente sólo de Sj (ca. 28 kg grano kg Nd⁻¹), mientras que Tr/Sj-Mz y Tr/Sj-Arv/Mz mostraron valores intermedios (ca. 38 kg grano kg Nd⁻¹). La mayor EUNs registrada en maíz, estuvo asociada a una mayor EutN (69 kg grano kg Nabs⁻¹) comparada con Sj (38 kg grano kg Nabs⁻¹), aunque sin diferencias significativas entre los tratamientos. Si bien la EabsN no fue diferente entre tratamientos, las secuencias que incluyeron mayor proporción y diversidad de gramíneas mostraron los valores más altos (ca. 0,85) comparado con Sj (0,74). Las actuales secuencias de cultivos, con elevada proporción de soja, presentan una elevada EUNs dado que los ingresos de N son principalmente vía mineralización y FBN, con bajos los niveles de fertilización. El desafío radica en aumentar la proporción de gramíneas en el sistema sin que la EUNs se reduzca. Este estudio sugiere que es posible obtener altos rendimientos en secuencias intensificadas, sin penalizaciones sobre la EUNs y sus componentes.

Palabras clave: Economía del nitrógeno, Intensificación Sostenible, Secuencias de Cultivos.





POTASIO EN CULTIVOS EXTENSIVOS DEL LITORAL ARGENTINO

Orcellet J. M.^{1*}, C. Quintero², E. Figueroa³, M. F. González Sanjuan⁴, F.O. García⁵

¹ EEA INTA Concepción del Uruguay, Argentina.

² FCA-UNER

³ EEA INTA Mercedes

⁴ Fertilizar AC,

⁵ Consultor y FCA (UNMdP).

*EEA INTA Concepción del Uruguay, orcellet.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

Relevamientos recientes han evidenciado suelos con bajos niveles de K en la región este de Entre Ríos. Estas deficiencias pueden haberse acentuado debido a la elevada extracción sin reposición, como resultado de la intensificación agrícola en dicha región. Este trabajo presenta i) los resultados de ensayos y franjas experimentales realizados en Entre Ríos y sur de Corrientes y ii) la calibración preliminar del análisis de suelo de K intercambiable para predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización potásica en cultivos predominantes en el área experimental. Durante las campañas agrícolas 2019/20, 2020/21 y 2021/22 se llevaron a cabo 31 ensayos y 16 franjas exploratorias en maíz, soja, trigo y arroz en el este, centro y oeste de Entre Ríos y el sur de Corrientes. Los niveles de K intercambiable (STK) promediaron 219 mg kg⁻¹, con un rango de 33 a 593 mg kg⁻¹, ubicándose el 50% de los datos centrales entre 103 y 343 mg kg⁻¹. La aplicación de K incrementó los rendimientos como tendencia general: +23% en maíz, +5% en soja, +8% en trigo y +7% en arroz. Sin embargo, estas respuestas fueron muy variables, registrándose respuestas significativas a K en 57%, 23%, 25% y 0% de los casos en los ensayos de maíz, soja, trigo y arroz, respectivamente; y en 50% de los casos de las franjas de maíz y trigo. La calibración preliminar del análisis de suelo de K intercambiable indica un rango de 145-204 mg K kg⁻¹ por debajo del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización potásica es alta. El análisis detallado de los metadatos asociados a esta red de ensayos y la evaluación de otros análisis de suelo y/o planta permitirán definir con mayor certidumbre las necesidades de K en los diferentes suelos y agroecosistemas de la región.

Palabras clave: soja, trigo, maíz, arroz, fertilización.

INTRODUCCIÓN

El potasio (K) es uno de los tres macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Los requerimientos de K de los cultivos son elevados y solo superados por los de nitrógeno (N). Muchas regiones del mundo presentan deficiencias de este nutriente y la producción de cultivos requiere de aplicaciones de fertilizantes y/o abonos potásicos (Dhillon et al., 2019). En Argentina, los suelos deficientes en K históricamente han incluido regiones de las provincias de Corrientes y Misiones y algunas zonas de Tucumán, pero en general en la región pampeana se presentan niveles elevados (Zubillaga y Conti, 1996; Morras y Cruzate, 2001). Sin embargo, relevamientos recientes han evidenciado suelos con bajos niveles de K en la región este de Entre Ríos (Sainz Rozas et al., 2019). Estas deficiencias pueden haberse acentuado debido a la elevada extracción sin reposición, como resultado de la intensificación de la agricultura en dicha región.

En Uruguay, se ha observado una situación similar en suelos agrícolas donde debido a la mayor remoción de K y nula reposición, se registraron deficiencias y respuestas a K a partir de fines de los 90s (Barbazán et



al., 2011b; Majumdar et al., 2021). Investigaciones realizadas por diversas instituciones permitieron definir umbrales críticos de K intercambiable de 120-180 ppm por debajo de los cuales la respuesta a K es altamente probable en cultivos extensivos (Barbazán et al., 2011a), umbrales similares se han determinado por el cinturón maicero del centro de EE.UU. (Sawyer et al., 2002). El análisis de rutina empleado para determinar probabilidad de respuesta a K es la determinación del K intercambiable por extracción con acetato de amonio 1N pH 7 (Warncke y Brown, 1998).

A partir del relevamiento de Sainz Rozas et al. (2019), se planificó una red de ensayos y franjas de experimentación en distintas zonas de Entre Ríos y Corrientes con la finalidad de determinar las áreas y cultivos con deficiencia, las respuestas a la fertilización y la posibilidad de calibrar análisis de suelos que permitan predecir la probabilidad de respuesta a K. Este trabajo presenta i) los resultados de ensayos y franjas experimentales realizados en Entre Ríos y sur de Corrientes y ii) la calibración preliminar del análisis de suelo de K intercambiable para predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización potásica en cultivos predominantes en el área experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas 2019/20, 2020/21 y 2021/22 se llevaron a cabo 31 ensayos y 16 franjas exploratorias en maíz, soja, trigo y arroz en el este, centro y oeste de Entre Ríos y el sur de Corrientes. Los ensayos y franjas se implantaron sobre suelos argiudoles típicos, verticos, rendolicos y acuicos; hapludoles fluventicos; peludertes argicos, argiudolicos y acuicos; ocracualfes verticos; y argiacuoles.

En los ensayos se evaluaron dosis de K de 0, 30, 60, 90 y/o 120 kg ha⁻¹ de K según cultivo. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las franjas exploratorias consistieron en parcelas comerciales donde se incluyeron un testigo sin aplicación de K y una fertilización con 60-90 kg ha⁻¹ de K. En todos los casos, la fuente de K fue cloruro de K (50% K). En todos los tratamientos se aplicó N, fósforo y/o azufre según la situación de cada lote para evitar deficiencias de estos nutrientes.

Se realizaron análisis de suelo a la siembra de los cultivos con la finalidad de caracterizar cada sitio. El K intercambiable (STK) se determinó por extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 (Warncke y Brown, 1998). A madurez fisiológica de los cultivos se determinó el rendimiento mediante cosecha manual de 2 m² de cada parcela (ensayos) o cosecha mecánica de un área definida (franjas).

Los datos de rendimiento se analizaron mediante análisis de varianza y se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa (ensayos) o la prueba t (franjas) para la comparación de medias entre tratamientos. La relación entre el STK y los rendimientos relativos de K (rendimiento testigo sin K/rendimiento máximo con aplicación de K) se evaluó mediante el método arco seno modificado propuesto por Correndo et al. (2017). Las precipitaciones fueron variables entre sitios y años con rangos de 156-592, 292-761 y 174-537 mm durante los ciclos de maíz, soja y trigo, respectivamente. En algunos sitios, se registraron excesos hídricos, pero en general las tres campañas se caracterizaron por déficits hídricos durante el ciclo de los cultivos que afectaron los rendimientos y respuestas potenciales a la fertilización potásica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio para las diferentes determinaciones de suelo (Tabla 1) se ubican dentro de los rangos citados para la región (Sainz Rozas et al., 2019). La disponibilidad de K del suelo para los cultivos se caracteriza a través de los niveles de K intercambiable (STK), la saturación de K del complejo de intercambio (relación K intercambiable/CIC) y/o la relación de cationes (Ca+Mg)/K, con valores considerados críticos de 120-180 mg kg⁻¹, 2-5% y 7-11, respectivamente (Barbazán et al., 2014; Vázquez y Pagani, 2014). Los sitios de ensayo presentaron un amplio rango de condiciones para los dos primeros parámetros incluyendo condiciones inferiores y superiores a los niveles considerados críticos. Los niveles de STK promediaron 219 mg kg⁻¹, con un rango de 33 a 593 mg kg⁻¹, ubicándose el 50% de los datos centrales entre 103 y 343 mg kg⁻¹ (Figura 1). La saturación de K del complejo de intercambio (K intercambiable/CIC) promedió 2.4%, ubicándose el 50% de los datos centrales entre 1.45% y 3.7%. Por otra parte, la relación (Ca+Mg)/K promedió 49 (rango de 13 a



116), ubicándose en todos los casos muy por arriba del nivel crítico mencionado en la literatura.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las determinaciones de suelo (0-20 cm) previo a la siembra de los cultivos en los diferentes sitios experimentales. Ensayos y franjas 2019 a 2021.

Estadístico	pH	MO	P Bray	CIC [#]	Ca	Mg	K	K	S-SO ₄ ⁺	Zn ^{**}
		%	mg kg ⁻¹	----- cmol kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----		
Promedio	6.4	2.8	10	21.2	16.4	2.6	0.5	219	6	0.7
DE	0.8	0.7	7	10.5	11.0	1.3	0.4	142	4	0.6
Mínimo	5.1	1.6	3	5.1	2.3	0.7	0.1	33	2	0.2
Máximo	8.1	4.4	33	43.7	41.5	4.5	1.5	593	22	3.0
Mediana	6.3	2.8	9	21.1	14.5	2.2	0.4	189	6	0.5
Q1	5.8	2.3	6	11.8	8.0	1.6	0.2	103	4	0.4
Q3	7.0	3.4	14	29.3	21.4	4.0	0.9	343	6	0.6

[#]Extracciones de capacidad de intercambio catiónico (CIC), Ca, Mg y K con acetato de amonio 1N a pH 7; ⁺S-SO₄ por turbidimetría; ^{**}Extracciones de Zn con DTPA.

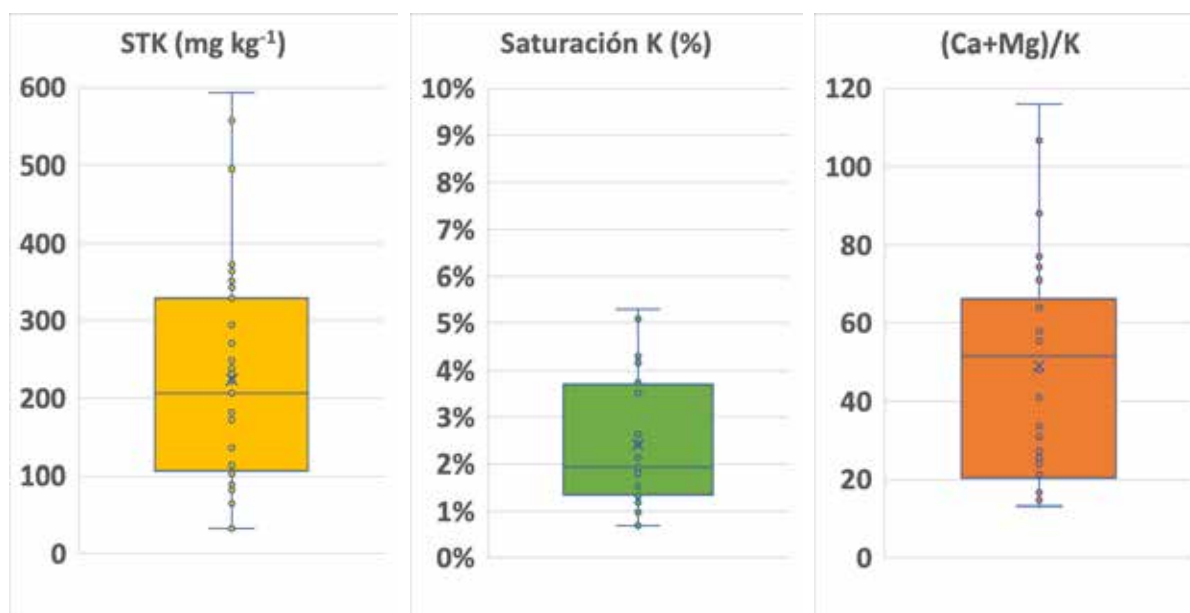


Figura 1. Niveles de STK, saturación de K y relación (Ca+Mg)/K en los 47 sitios de evaluación. Las barras verticales indican los percentiles 10% y 90%, las cajas los percentiles 25% y 75%, la línea horizontal la mediana, y el signo "x" indica la media.

Los rendimientos promedios de los cuatro cultivos se ubicaron en los niveles promedio de los buenos manejos de la región con marcada variabilidad entre sitios y campañas (Figura 2). La aplicación de K incrementó los rendimientos como tendencia general: +23% en maíz, +5% en soja, +8% en trigo y +7% en arroz. Sin embargo, estas respuestas fueron muy variables, registrándose respuestas significativas ($p < 0,10$) a K en 4 de los 7 ensayos de maíz (57%), 3 de los 13 ensayos de soja (23%), 2 de los 8 ensayos de trigo (25%) y ninguno de los 3 ensayos de arroz (0%). Cinco de las 10 franjas exploratorias de maíz y 3 de las 6 franjas de trigo presentaron diferencias significativas debidas a la aplicación de K, 50% de los casos en ambos cultivos.

Con la información del rendimiento relativo (Rendimiento Testigo sin K/Rendimiento máximo con aplicación de K) y el valor de STK de los 47 ensayos y franjas, se ajustó una curva de calibración (Figura 3). Esta curva indicaría un rango crítico de STK de 145-204 mg kg⁻¹, por debajo del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización potásica sería superior al 10% del rendimiento. El rango crítico determinado es similar al indicado por investigaciones previas en Uruguay (Barbazán et al., 2011a) y EE.UU. (Sawyer et al., 2002; Barbagelata y Mallarino, 2012).

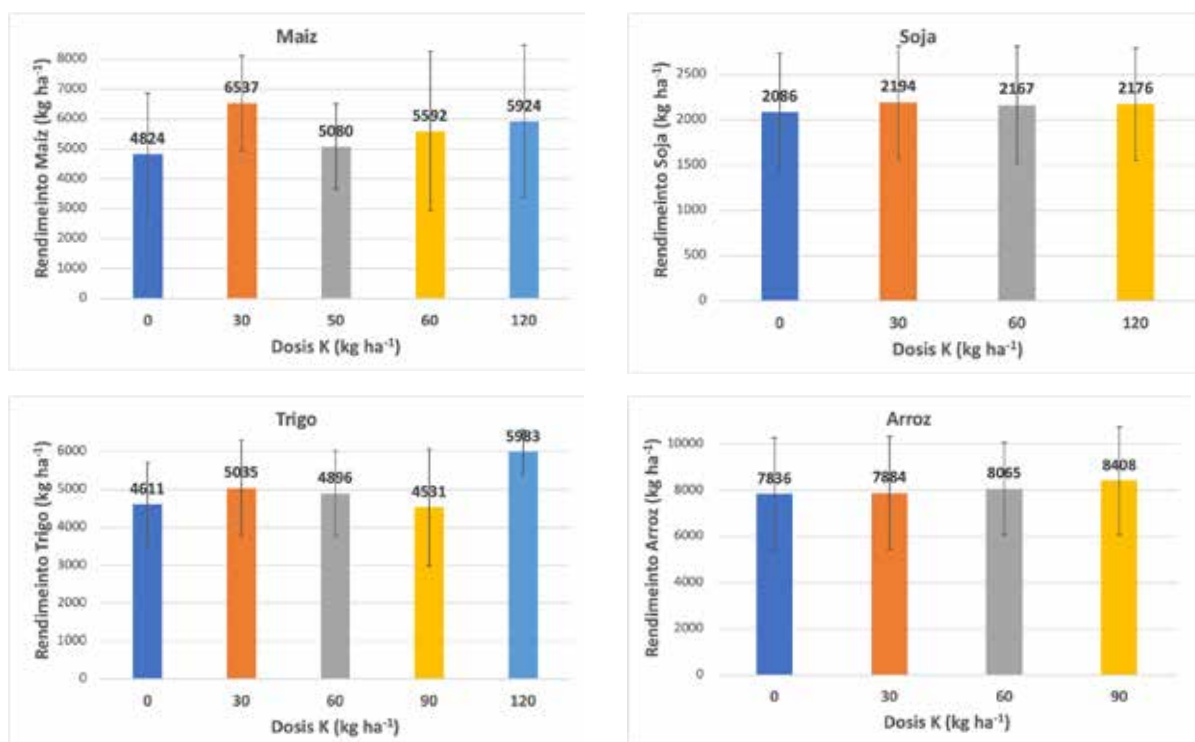


Figura 2. Rendimientos promedio de maíz, soja, trigo y arroz para los tratamientos con distintas dosis de K. Las barras verticales indican el desvío estándar. En maíz se promediaron 17 sitios para 0K, 7 para 30K, 6 para 50K, y 11 para 60K y 120 K; en soja 13 sitios para 0K, 30K y 60 K, y 11 para 120 K; en trigo 14 sitios para 0K y 60K, 8 para 30K, y 4 para 90K y 120K; y en arroz 3 sitios para todas las dosis.

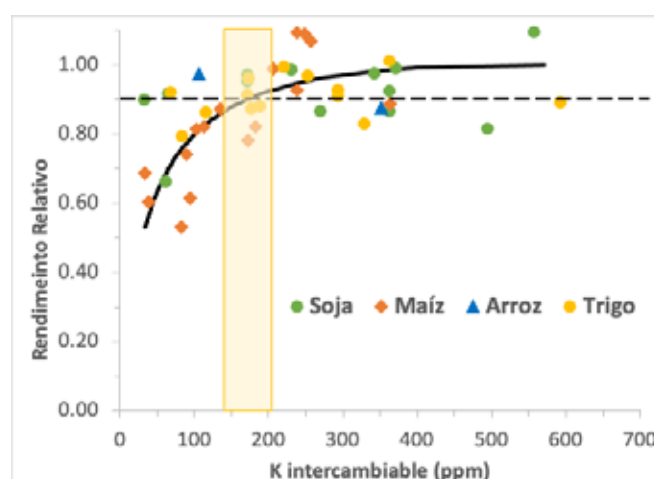


Figura 3. Relación entre el rendimiento relativo (Rendimiento Testigo sin K/Rendimiento máximo con aplicación de K) y el valor de STK de los 47 ensayos y franjas para los cultivos de maíz, trigo, soja y arroz. La curva de calibración (línea curva negra llena) se ajustó según el método del arco seno modificado (Correndo et al., 2017) (IC (90%) = 145-204 mg kg⁻¹; $r = 0.55$; $n = 47$). La franja amarilla vertical indica el rango crítico de STK de 145-204 mg K kg⁻¹, y la línea punteada horizontal indica un rendimiento relativo del 90%.

CONCLUSIONES

Los resultados de ensayos y franjas experimentales realizados en Entre Ríos y sur de Corrientes confirman la deficiencia de K en cultivos extensivos en la región. La calibración preliminar del análisis de suelo de K intercambiable indica un rango de 145-204 mg K kg⁻¹ por debajo del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización potásica es alta.

El análisis detallado de los metadatos asociados a esta red de ensayos y la evaluación de otros análisis de suelo y/o planta permitirán definir con mayor certidumbre las necesidades de K en los diferentes suelos y agroecosistemas de la región.

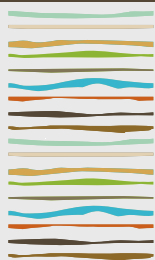
AGRADECIMIENTOS

Los autores especialmente a todos los productores, asesores y personal de establecimientos donde se realizaron los ensayos. Esta red experimental fue financiada por Uralkali, Nitron y Fertilizar AC y el apoyo de las EEA INTA Concepción del Uruguay y Mercedes y la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER).

BIBLIOGRAFÍA

- Barbagelata P. y A. Mallarino. 2012. Field correlation of potassium soil test methods based on dried and field-moist soil samples for corn and soybean. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:318–327.
- Barbazán M.M., Bautes, C., Beux, L., Bordoli, Cano, J., J., Ernst, O., García, A., García, F., y Quincke, A. 2011a. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay: rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia Uruguay Vol.* 15-2: 93-99.
- Barbazán M., M. Conti y F. O. García. 2014. Potasio. En Echeverría H. E. y F.O. García (ed.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. 2a. Edición. Buenos Aires, Argentina. ISBN 9-789875-215658. p. 265-285.
- Barbazán M. M., A. del Pino; J. M. Bordoli; A. Califra; S. Mazzilli; y O. Ernst. 2011b. Situación de potasio en Uruguay: perspectivas de corto y largo plazo. En: *II Simposio Nacional de Agricultura de Secano*. v.: 1, p.: 21 – 33. Editorial: Hemisferio Sur, Montevideo.
- Correndo A. A., F. Salvagiotti, F. O. García, and F. Gutierrez Boem. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop and Pasture Science*. Volume: 68; Issue: 3; <http://dx.doi.org/10.1071/CP16444>.
- Dhillon, J.S., Eickhoff, E.M., Mullen, R.W. y Raun, W.R. (2019), World Potassium Use Efficiency in Cereal Crops. *Agronomy Journal*, 111: 889-896. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.07.0462>
- Majumdar K., R. M. Norton, T. S. Murrell, F. O. García, S. Zingore, L. I. Prochnow, M. Pampolino, H. Boulal, S. Dutta, E. Francisco, M. S. Tan, P. He, V. K. Singh, y T. Oberthür. 2021. Assessing Potassium Mass Balances in Different Countries and Scales. In T. S. Murrell et al. (eds.), *Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops*, pp. 283-340. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59197-7_11
- Morrás, H y G Cruzate. 2001. Origen y distribución del potasio en suelos de la región Chaco-pampeana. *Actas Simposio “El Potasio en Sistemas Agrícolas Argentinos”*, 20-21 Noviembre. FAUBA-Fertilizar INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Sainz Rozas, H; 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. En: *Simposio Fertilidad 2019*. Fertilizar, Rosario, Mayo 2019.
- Sawyer J.E., A. Mallarino, R. Killorn y S. Barnhart. 2002. A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa. PM 1688. University Extension. Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU.
- Vázquez, M y A Pagani. 2014. Calcio y Magnesio del suelo. En Echeverría H. E. y F.O. García (ed.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. 2a. Edición. Buenos Aires, Argentina. ISBN 9-789875-215658. p. 317-356.
- Warncke, D., y J.R. Brown. 1998. Potassium and other basic cations. En: J.L. Brown (ed). *Recommended chemical soil test procedures for the North Central region*. North Central Regional Publ. 221 (rev.). Missouri Exp. Stn. Publ. SB 1001. Univ. of Missouri, Columbia. p. 31–33.
- Zubillaga, M. M. y Conti, M. E. 1996. Availability of exchangeable and non-exchangeable K in Argentine soils with different mineralogy. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 159, 149–153. <https://doi.org/10.1002/jpln.1996.3581590208>.





EFECTO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL UMBRAL DE SUFICIENCIA DE NITROGENO EN EL CULTIVO TRIGO

Orcellet J. M.^{1*}, J.J. De Battista¹, M. Torre², N. Pelossi³

¹ EEA INTA Concepción del Uruguay, Argentina.

² Cralis Agropecuaria Srl

³ GAER (Grupo agrícola Entre Ríos)

* EEA INTA Concepción del Uruguay, orcellet.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

La intensificación de las secuencias agrícolas hace necesario ajustar prácticas de manejo en los cultivos, en especial el manejo de nitrógeno que es el principal nutriente que limita el rendimiento de los cultivos. Para trigo el antecesor más frecuente es el cultivo de soja, sin embargo las últimas campañas ha aumentado la superficie de trigo con antecesor maíz. Por lo cual, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Evaluar la respuesta al agregado de N en trigo para diferentes antecesores (Soja y Maíz). 2) Determinar umbral de suficiencia de N para trigo con antecesor soja y maíz para el centro este de Entre Ríos. En 6 sitios experimentales en 2 campañas agrícolas, se realizaron experimentos de fertilización nitrogenada. En cada sitio experimental se realizaron 2 experimentos diferenciados por el cultivo antecesor (Maíz y Soja). Los rendimientos promedios de todos los sitios experimentales fue de 3658 kg ha⁻¹, con valores que van desde 2901 kg ha⁻¹ hasta 4420 kg ha⁻¹. Se determinó un buen grado de ajuste entre el rendimiento relativo (RR) y el N disponible (suelo + fertilizante) para los dos cultivos antecesores. Para los sitios con antecesor soja se determinó que el umbral de suficiencia para lograr el 90% del RR es de 132 kg N ha⁻¹ suelo más fertilizante, mientras que para los sitios con maíz es necesario llegar a un N disponible de 165 kg N ha⁻¹. Estos resultados demuestran que el uso de secuencias intensificadas debe ir acompañada de ajustes en prácticas de manejo para mantener la productividad del sistema.

Palabras clave: Trigo, Entre Ríos, diagnóstico.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*triticum aestivum* L.) es el cultivo de invierno más importante de los sistemas agrícolas de la región pampeana, con una producción anual de 17,6 millones Mg (MAGYP, 2021). En la última campaña la provincia de Entre Ríos contribuyó con un 8% a la producción nacional. Donde se sembraron 523.300 has de trigo, de las cuales 193.000 has (36,8 %) se ubicaron en el centro este de la provincia (BCER 2021).

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita el rendimiento del cultivo de trigo, producto de los altos requerimientos y por la disminución en los contenidos de materia orgánica (MO) de los suelos (Sainz Rozas et al., 2019). Por lo tanto, es necesario contar con métodos de diagnóstico de N precisos en pos de maximizar la eficiencia de uso de dicho nutriente.

En la actualidad existen diferentes métodos de diagnósticos para definir la dosis de N en trigo, sin embargo, en la región pampeana la determinación del contenido de N-NO₃⁻ en pre-siembra del cultivo (TNPS) es la metodología más utilizada. El TNPS determina la dosis en función al contenido de N-NO₃⁻ en suelo (0-60 cm de profundidad) en pre-siembra del cultivo y umbrales de suficiencia (US), los que varían según zona, sistema

de labranza y rendimiento objetivo (Calviño et al., 2002; Fontanetto et al., 2005).

Por otro lado, el cultivo antecesor afecta la dinámica de N en función de su relación carbono/nitrógeno (C/N) del mismo. En la Región Pampeana el cultivo de soja de 1º es el antecesor más frecuente del cultivo de trigo. Sin embargo, la necesidad de intensificar los sistemas agrícolas incrementando la frecuencia de gramíneas en las rotaciones, aumentó la superficie de trigo con antecesor maíz. Tal es así que en la campaña 2020-2021, el 30% de la superficie destinada a trigo en el CREA Litoral Sur (Entre Ríos) tuvo maíz como antecesor. Esta secuencia de gramíneas tiene impacto en el manejo de N, dada la inmovilización de N por parte de los microorganismos para la descomposición del rastrojo de maíz. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Evaluar la respuesta al agregado de N en trigo para diferentes antecesores (Soja y Maíz). 2) Determinar umbral de suficiencia de N para trigo con antecesor soja y maíz para el centro este de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las campañas 2020/21 y 2021/22 se realizaron experimentos de fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo en 6 sitios experimentales con suelos vertisoles (Peludertes argiudólicos y árgicos) predominantes en el centro-este de Entre Ríos (Tabla 1). En cada sitio experimental se realizaron 2 experimentos diferenciados por el cultivo antecesor (Maíz y Soja), en cada uno de estos experimentos se evaluaron cinco dosis de N (0, 50, 70, 100, 140, 200 kg N ha⁻¹). En los sitios experimentales 1 y 2, en los lotes con antecesor maíz se aplicó 46 kg de N ha⁻¹ previo a la siembra, esto fue sumado al N en suelo. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones, y las unidades experimentales fueron de 40 m². La fuente de N utilizada fue la Urea. Para que el fósforo y el azufre no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 20 y 20 kg ha⁻¹, respectivamente.

A la siembra del cultivo se realizó un muestreo de suelo en superficie (0-20 cm) para caracterizar cada sitio, donde se determinó el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley; Black, 1934), fósforo (P) (Bay; Kurtz I, 1945), y N-NO₃⁻ (Keeney y Nelson, 1982) en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). El Nitrógeno disponible (Nd) en cada tratamiento fue calculado como la suma de N suelo (kg ha⁻¹) y N del fertilizante (kg ha⁻¹).

Tabla 1. Caracterización de cada sitio experimental. Cultivo antecesor (antecesor), Materia orgánica (MO), fósforo extractable (P Bray), Nitrógeno disponible (Nd) y precipitaciones entre mayo y octubre (PP).

Sitio	Campaña	Antecesor	MO (%)	P Bray (mg kg ⁻¹)	Nd (kg ha ⁻¹)	PP (mm)
1	2020-2021	Soja	3.2	13	37	223
		Maíz	3.1	12	49	
2	2020-2021	Soja	3.0	2	42	263
		Maíz	2.8	6	60	
3	2020-2021	Soja	2.6	13	24	322
		Maíz	2.7	10	27	
4	2021-2022	Soja	3.5	23	38	367
		Maíz	3.0	2	26	
5	2021-2022	Soja	3.8	10	28	367
		Maíz	3.6	6	38	
6	2021-2022	Soja	4.7	4	40	533
		Maíz	4.1	5	48	

A madurez fisiológica del cultivo, en cada unidad experimental se evaluó el rendimiento del cultivo (14.5 % de humedad). La eficiencia en el uso de N (EUN) del fertilizante se calculó mediante el cociente entre la diferencia de rendimiento del tratamiento fertilizado y el testigo, y los kg de N aplicados.

Los datos de rendimiento, respuesta y EUN se analizaron mediante análisis de varianza (R Core Team, 2014) y cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el test de la diferencia mínima



significativa (DMS), con un nivel de probabilidad de 5 %. La relación entre el Nd (suelo + fertilizante) y los rendimientos relativos (RR) (rendimiento tratamiento/rendimiento máximo con aplicación de N) se evaluaron mediante el método arco seno modificado propuesto por Correndo et al. (2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos de MO y de fósforo extractable determinados en los diferentes sitios experimentales (Tabla 1) se ubican dentro de los rangos citados para la región (Sainz Rozas et al., 2019). En cuanto al N disponible, no se determinaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre antecesores, siendo el promedio de 38 y 41 kg N ha⁻¹ para el antecesor soja y maíz, respectivamente.

En cuanto a las condiciones ambientales, el promedio de precipitaciones para el centro de Entre Ríos entre mayo y octubre es de 456 mm. Para el mismo período se registró en la campaña 2020-2021 un total de 269 mm, y en la campaña 2021-2022 el acumulado fue de 422 mm. Estas diferencias en condiciones hídricas se expresaron en rendimiento, por lo tanto se determinaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el rendimiento promedio entre años, siendo de 3357 kg ha⁻¹ para la campaña 2020-2021 y de 3957 kg ha⁻¹ para la campaña 2021-2022.

El rendimiento promedio de todos los sitios experimentales fue de 3658 kg ha⁻¹, con valores que van desde 2901 kg ha⁻¹ hasta 4420 kg ha⁻¹. En todos los sitios experimentales se determinó respuesta significativa al agregado de N ($p < 0,05$). En la Figura 1 a, se presenta el rendimiento en función de la dosis de N aplicada, en la cual se observa que existió respuesta al N independientemente del cultivo antecesor.

Al evaluar los tratamientos testigos (0N) se observa una reducción del rendimiento del 10% en aquellos sitios que presentaron maíz como cultivo antecesor. Es válido destacar, que en promedio los rendimientos máximos obtenidos fueron similares con ambos cultivos antecesores, siendo de 4567 kg ha⁻¹ para antecesor soja y de 4701 kg ha⁻¹ para antecesor maíz (Figura 1 a).

A pesar de determinar diferencias en cuanto a precipitaciones entre años, al evaluar la respuesta al agregado de N, no se determinaron diferencias ($p > 0,05$) entre años, siendo la respuesta media de 1759 kg ha⁻¹ para la campaña 2020-2021 y 1800 kg ha⁻¹ para la campaña 2021-2022. Por otro lado, al comparar la respuesta entre antecesores, no se determinó diferencias significativas ($p > 0,05$), siendo la respuesta media al agregado de N de 1650 y 1909 kg ha⁻¹ para el antecesor soja y maíz, respectivamente.

Le EUN promedio de todos los sitios experimentales fue de 17 kg de trigo kg N⁻¹, con valores que van desde 6 hasta 35 kg de Trigo kg N⁻¹. Es válido destacar que en todos los sitios*tratamientos evaluados la EUN estuvo por encima de 5.9 kg de Trigo kg N⁻¹, que es el promedio histórico de relaciones de precios (1990-2008) determinado por Barbieri et al. (2009). Estos valores indicarían un resultado económico positivo de la fertilización con N para todos los sitios y dosis evaluadas.

Si bien no se determinó diferencias ($p > 0,05$) en EUN entre antecesores, se puede observar como tendencia que los sitios con antecesor maíz presentaban mayores EUN respecto a los sitios con antecesor soja, siendo superiores en el rango de 2 a 3 kg de Trigo por kg de N aplicado (Figura 1 b).

Estos resultados, de menores rendimientos de los testigos y mayores EUN en los sitios con antecesor maíz, se explicarían en parte a la inmovilización de N producida por los microorganismos del suelo para descomponer el rastrojo de maíz, el que no solamente es de gran cantidad, sino también de alta relación C/N. Es válido remarcar, que los máximos rendimientos alcanzados fueron similares en ambos cultivos antecesores. Esto indica que pasar de un sistema de rotación en tercios (33% de cada cultivo: Maíz-Soja-Trigo/soja), a un sistema de rotación en medios (50% de Maíz y 50% Trigo-soja), no implica una pérdida de potencialidad de rinde en el cultivo de trigo. No obstante, es necesario evaluar estos sistemas intensificados en el largo plazo y con un enfoque multidisciplinar, y no solo evaluando un cultivo.



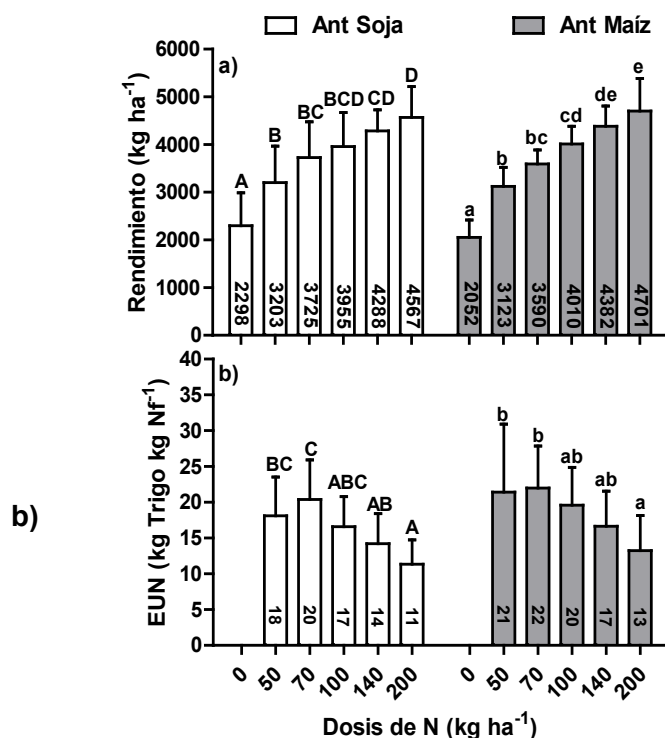


Figura 1. Rendimientos promedio de trigo (a) y eficiencia de uso de nitrógeno (b) para las dosis evaluadas para antecesor soja (barras blancas) y para antecesor maíz (barras grises). Las barras verticales indican el desvío estándar.

Para todos los tratamientos analizados (tratamientos*sitio), independientemente del cultivo antecesor, se determinó una fuerte relación entre el RR y el N disponible (suelo + fertilizante). Dicha relación permitió determinar que para lograr el 90% del RR es necesario alcanzar un N disponible de 148 kg ha⁻¹ (IC (90%) = 138-158; $r = 0.85$; datos no mostrados). Estos valores son similares a los reportados por Melchiori et al. (2011), para el oeste de Entre Ríos.

Sin embargo dado que se determinaron diferencias de rendimiento en parcelas testigos entre cultivos antecesores (Figura 1), es necesario evaluar umbrales de suficiencia según esta variable. Para los sitios con cultivo antecesor soja ($n = 6$), se determinó que el umbral de suficiencia para lograr el 90% del RR es de 132 kg N ha⁻¹ suelo más fertilizante, con un rango (IC 90%) que va desde 121 hasta 142 kg N ha⁻¹ ($r = 0.91$) (Figura 2a). Por otro lado, para los sitios con maíz como cultivo antecesor ($n = 6$) se determinó que para alcanzar el 90% del RR es necesario llegar a un N disponible de 165 kg N ha⁻¹, con un rango de va desde 149 hasta 181 kg ha⁻¹ (IC 90%).

Estos resultados dejan en evidencia que cuando el antecesor del cultivo de trigo es Maíz, se debe aumentar el umbral de suficiencia en 33 kg N ha⁻¹. Esto se explicaría en parte a la inmovilización de N por parte de los microorganismos de suelo para descomponer un rastrojo de alta relación C/N.

La información generada en el presente trabajo, puede ser una herramienta de utilidad para las decisiones empresariales, especialmente a la hora de planificar secuencias intensificadas. Ya que el antecesor para el cultivo de trigo es determinante del nivel de nitrógeno disponible a alcanzar, por lo también se debe analizar la relación de precios trigo/N.

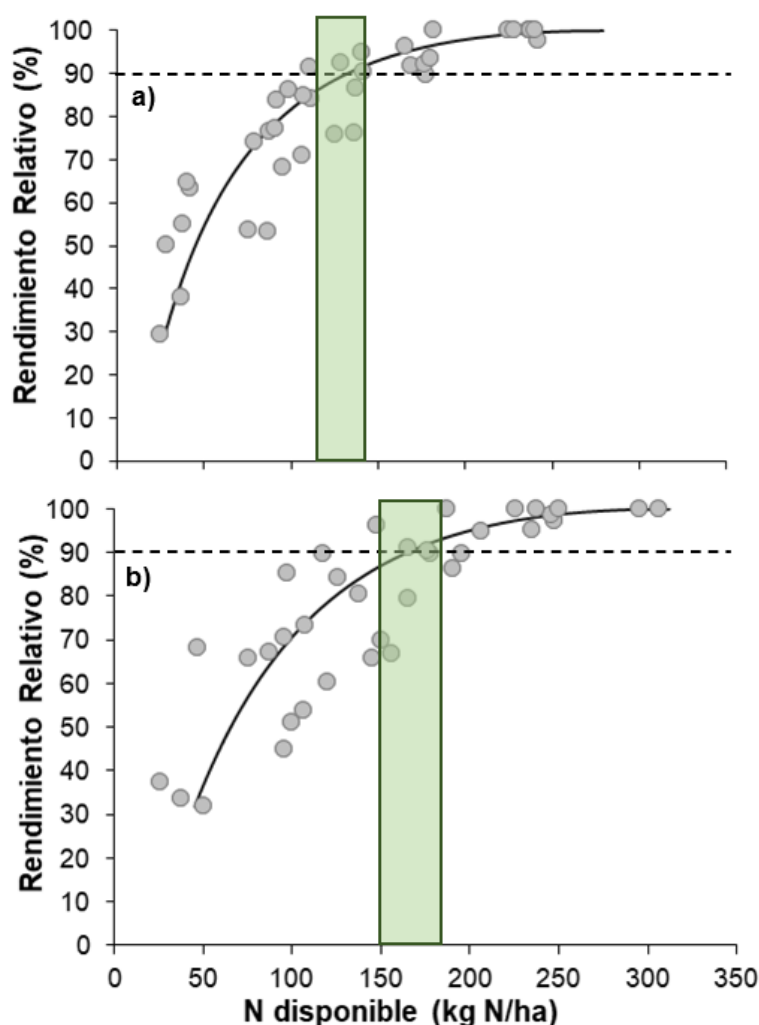


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo y nitrógeno disponible (N suelo + N fertilizante) para el antecesor soja (a) y para el antecesor maíz (b). Para el antecesor soja (a) el umbral de suficiencia = 132 kg ha^{-1} (IC (90%) = $121\text{-}142 \text{ kg ha}^{-1}$; $r = 0.91$). Para el antecesor Maíz (b) el umbral de suficiencia = 165 kg ha^{-1} (IC (90%) = $149\text{-}181 \text{ kg ha}^{-1}$; $r = 0.85$). La curva de calibración (línea curva negra llena) se ajustó según el método del arco seno modificado (Correndo et al., 2017). La franja verde vertical indica el rango crítico de N disponible para cada antecesor, y la línea punteada horizontal indica un rendimiento relativo del 90%.

CONCLUSIONES

Con la intensificación de las secuencias agrícolas es necesario ajustar prácticas de manejo. Los resultados del presente trabajo confirman que la potencialidad de rendimiento del cultivo de trigo no se ve afectada por diferentes antecesores (Soja y Maíz). Sin embargo, se determinó que los umbrales de suficiencia si se modificaron en función del cultivo antecesor, siendo necesario aumentar en 33 kg N ha^{-1} el umbral cual el cultivo antecesor en maíz.

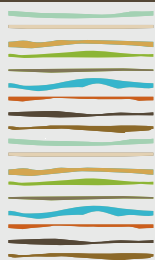
AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a los equipos de trabajo de CRALIS Agropecuaria Srl, Los O'Dwyer SA, MSU, al GAER (Grupo Agrícola Entre Ríos) y al CREA Victoria por su colaboración para poder llevar adelante estos trabajos. Además se agradece de manera especial a Marcelo Acuña (INTA EEA C del Uruguay), por su trabajo incansable para que estos trabajos puedan realizarse en tiempo y forma.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P., H. Echeverría y H. Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el Sudeste Bonaerense. *Ciencia del suelo*. 27. 115-125.
- BCER 2021. Bolsa de Cereales de Entre Ríos. SIBER. Estadísticas. <https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/estadisticas.php> (Verificación: mayo de 2021).
- Bray, R. H. & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Calviño, P., H.E. Echeverría, & M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 20: 36-42.
- Correndo A. A., F. Salvagiotti, F. O. García, and F. Gutierrez Boem. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop and Pasture Science*. Volume: 68; Issue: 3; <http://dx.doi.org/10.1071/CP16444>.
- Fontanetto, H., H. Vivas, O. Keller, R. Albrecht, L. Gastaldi, y H. Castignani. 2005. Consideraciones sobre la fertilización nitrogenada de trigo en la región central de Santa Fe. Publicación miscelánea. EEA Rafaela, (103).
- Keeney, D.R., y D.W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. En: Page, A.L. et al. eds. *Methods of soil analysis*. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698
- MAGYP, Ministerio de agricultura ganadería y pesca, 2021. <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. [Mayo, 2021].
- Melchiori, R., J. Pautasso, S. Albarenque y A. Kemerer. 2011. Fertilización nitrogenada en trigo según zonas de manejo. Consideraciones sobre la fertilización nitrogenada de trigo en la región central de Santa Fe. *Jornada Regional de Cultivos de Invierno Campaña 2011*. ISBN 978-950-698-268-3
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org> [Marzo, 2016]
- Sainz Rozas, H; 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. En: *Simposio Fertilidad 2019*. Fertilizar, Rosario, Mayo 2019.
- Walkley, A. & I.A. 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: 29-38.





MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN Y RENDIMIENTOS DE MAIZ: COMPARACIÓN ENTRE VANT Y OTRAS FUENTES

Oreiro, F.A.¹; M.M. Zubillaga^{2*}; M.N. Pose¹; M.E. Sanahuja²; R.I. Pueyo¹

¹ Dto. de Agrimensura, Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires (Av. Las Heras 2214, Buenos Aires, Argentina),

² Dto. Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires (Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina),

*mzubilla@agro.uba.ar

RESUMEN

La topografía suele jugar un papel importante en la variabilidad de los rendimientos de maíz a escala de lote. El objetivo es discutir la efectividad de los modelos digitales de elevación (MDE) desde fuentes con diferente resolución espacial para explicar el rendimiento de maíz en una parcela en el NO de Buenos Aires. La experimentación se llevó a cabo en Morse, provincia de Buenos Aires. Se evaluó el uso de modelos de superficie de diferentes fuentes: Imágenes de VANT y datos de elevación adquiridos por un monitor de rendimientos acoplados a una cosechadora (MR) y la aplicación de un filtrado gaussiano a este último (MR_filtrado). El lote es de 25 ha y su elevación varía de 96 a 105 m. El área se fertilizó con franjas de N. Los rendimientos de maíz son de 6 y 14 Mg ha⁻¹ en zonas de cotas bajas siendo en las cotas más altas de 2 y 6 Mg ha⁻¹. El análisis de pendientes separado por intervalos de cota permite identificar comportamientos diferentes en los rindes, lo que permite una mejora en la estimación. En todos los modelos se puede reconocer una diferencia en la distribución de los puntos entre pendientes positivas y negativas. Se puede identificar que el modelo MR presenta una mayor dispersión de los datos de rendimientos. Los modelos VANT y MR_Filtrado permiten identificar dos regiones de agrupamiento de los puntos para pendientes positivas, en donde el rinde aumenta a medida que se reduce la magnitud de la pendiente, pero con incrementos marcadamente diferentes. La influencia de la pendiente es más importante cuando las cotas son más bajas. La respuesta a la fertilización con N es mayor no solo en las posiciones más bajas del lote sino también donde las pendientes son positivas y de menor magnitud.

Palabras clave: Vehículo aéreo no tripulado, modelos digitales de elevación, rendimientos de maíz.

INTRODUCCION

La variabilidad espacial del rendimiento puede explicarse por atributos topográficos (Zhang et al., 2002). Estos atributos (pendiente, aspecto, curvatura y dirección del flujo) pueden ser derivados a partir de los modelos digitales de elevación (DEM). Los datos de elevación se pueden adquirir de tres fuentes principales: levantamientos terrestres, existentes mapas topográficos y técnicas de teledetección (Ouedraogo et al., 2014). La adquisición mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) es una técnica de recolección de datos que se ha popularizado recientemente. Entre las ventajas se logran imágenes de alta resolución espacial y alta frecuencia temporal, siendo un complemento eficaz para la agricultura de precisión. Los VANT podrían ser menos costosos y más prácticos en contraste con los sistemas satelitales y aerotransportados para datos de alta resolución de detección remota (Zhang & Kovacs, 2012). Otra técnica para recolectar datos de elevación es la utilización de los monitores de rendimientos de cosechadoras con DGPS que utilizan un sistema de



posicionamiento global cinemático en tiempo real (RTK-GPS). El objetivo de este estudio es discutir la efectividad de los MDE de diferentes fuentes con diferente resolución espacial para la explicación del rendimiento de maíz en una parcela agrícola en el NO de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

El campo experimental está ubicado en Morse, localidad de Junín (34°46'49.2"S; 60°49'9.3"O) región Pampa Arenosa subhúmeda. El tamaño del lote es de aproximadamente 35 ha, seleccionando para el experimento una sección del lote de aproximadamente 25 ha. El terreno de la parcela es ondulado con una pendiente media de aproximadamente el 1 %, y su elevación varía de 96 a 105 m sobre el nivel medio del mar (99.3 m en promedio). El suelo se puede clasificar como Hapludoles típicos en las partes bajas del terreno y Hapludoles enticos en las lomas. La precipitación media es de 1014 mm por año y la temperatura media es de 16.9 °C. La parcela está bajo siembra directa y el antecesor fue un cultivo de cobertura de centeno que fue secado previo a la siembra del maíz. El área se fertilizó con 6 franjas de N (N0, N50, N100, N150, N200 y N250 correspondiente a 0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg N/ha).

Los datos topográficos se obtuvieron a partir de 1) imágenes perpendiculares tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (VANT) utilizando el enfoque de fotogrametría y 2) datos de un monitor de rendimientos (AFS700). Las fotografías aéreas se tomaron el 2 de julio de 2021 con la cámara RGB DJI Zenmuse X4S, de distancia focal fija de 8.65 mm, montada en la plataforma octocóptero DJI Matrice 200. La ruta del VANT fue planificada a una altura de vuelo de 100 m, con una superposición longitudinal de 80% y lateral de 70%. La alineación de las imágenes se realizó con el software Pix4d utilizando 9 puntos de control terrestre, distribuidos a lo largo y ancho del terreno, a los que se les asignó coordenadas mediante el método GNSS cinemático en tiempo real (Stop & Go), utilizando dos receptores Trimble R8s. El modelo digital del terreno fue creado a partir de 470 imágenes superpuestas con una resolución espacial de 0.25 m x 0.25 m utilizando el mismo software (Figura 1).

Los rendimientos de maíz y los datos de elevación en el segundo modelo de terreno se adquirieron del monitor de rendimientos AFS 700 acoplado a una cosechadora CASE, y un receptor GNSS diferencial con una precisión del sistema es de $\pm 0,1$ a $0,3$ m en horizontal y de $\pm 0,2$ a $0,6$ m en vertical. Los datos de rendimiento y elevación se almacenaron con las coordenadas cada segundo, obteniendo 18665 observaciones, distribuidas cada 2 m en sentido longitudinal y cada 7 m en sentido lateral. Los valores de rendimiento del maíz se filtraron eliminando todos los valores que excedieron el rango definido como media ± 3 desviaciones estándar. El modelo del terreno se obtuvo a través de interpolación, utilizando el método TIN, para obtener una grilla regular de 0.25 m x 0.25 m de resolución espacial con el software QGIS. Las comparaciones se realizaron considerando 3 modelos: 1) el que surge de las elevaciones que se obtuvieron del monitor de rendimientos (MR), 2) el que surge de haber filtrado las elevaciones de este modelo con un filtro gaussiano de 19 x 19 celdas, corrido 200 veces (MR_Filtrado), y, 3) el modelo del VANT. La Figura 1 muestra una imagen tridimensional de los 3 modelos.

Además, para cada uno de estos puntos se calcula la pendiente de mayor magnitud (positiva o negativa) considerando los 8 nodos que lo rodean en la grilla regular de 0.25 m de cada modelo. La pendiente se calculó considerando que, si el punto de interés se encuentra por debajo del punto que genera la pendiente de mayor magnitud, se obtiene una pendiente positiva, mientras que si se encuentra por encima se obtiene una pendiente negativa.



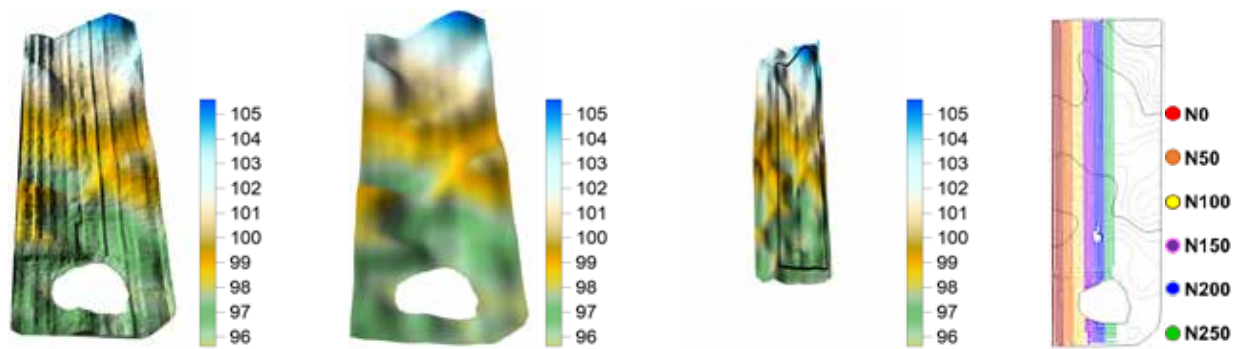


Figura 1. Modelos obtenidos con los datos de elevación. Desde la izquierda MR, MR_Filtrado y VANT. La figura de la derecha muestra la ubicación de las dosis de N aplicadas. El rectángulo negro de VANT indica la sección del lote del experimento. Las elipses blancas de MR y MR_Filtrado indican ausencia de mediciones.

Con esta comparación se busca identificar si las pendientes positivas, que implicarían acumulación de agua, presentan características diferentes en el rendimiento respecto de las pendientes negativas que implicarían zonas de pérdida de agua. La comparación entre los modelos se realiza correlacionando las cotas y las pendientes obtenidas de cada modelo con los puntos medidos de la variable “Rendimiento de maíz”.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 2 muestra el valor del rendimiento medido en función de la cota correspondiente a la ubicación en donde se realizó la medición, para cada uno de los modelos. Los rendimientos de maíz en las regiones con menores cotas son mayores y más dispersos. En las posiciones más elevadas del lote el rango de variación de los rendimientos es menor.

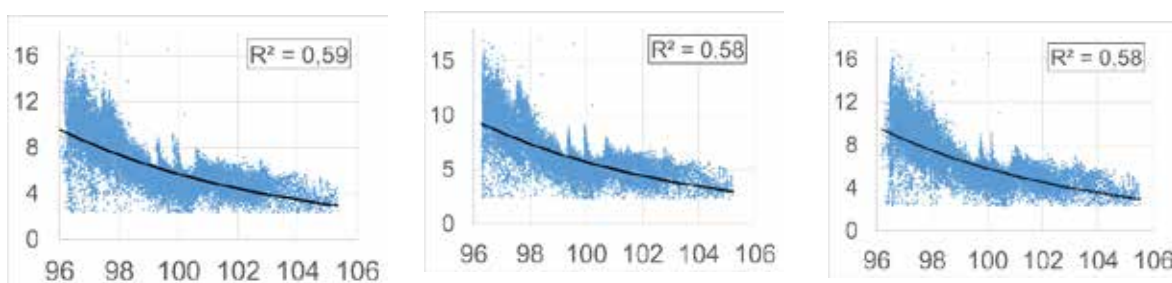


Figura 2. Comparación del rinde de maíz en función de la cota. Izquierda modelo MR, MR_Filtrado, derecha VANT.

En la Figura 3 se muestra la relación entre la pendiente de mayor magnitud y los rendimientos de maíz. En todos los modelos se puede reconocer una diferencia en la distribución de los puntos entre pendientes positivas y negativas. Se puede identificar que el modelo MR presenta una mayor dispersión de los datos de rendimientos. Los modelos VANT y MR_Filtrado permiten identificar dos regiones de agrupamiento de los puntos para pendientes positivas (Figura 3 - elipses azul y roja), en donde el rinde aumenta a medida que se reduce la magnitud de la pendiente, pero con incrementos marcadamente diferentes.



Figura 3. Comparación del rinde de maíz en función de la pendiente de mayor magnitud para los modelos MR (izq.), MR_Filtrado (medio) y VANT (der.). Las elipses azul y roja destacan dos agrupamientos que se puede identificar en la distribución de los puntos.

La región de la elipse roja toma valores aproximadamente entre 3 y 7 Mg ha^{-1} , mientras que la de la elipse azul lo hace entre 5 y 12 Mg ha^{-1} . El coeficiente de determinación de las rectas de regresión entre el modelo VANT y los modelos MR (0.30) y MR_Filtrado (0.79) demuestran la similitud que presentan el modelo MR_Filtrado y el VANT. Para separar los dos agrupamientos de datos que se identificaron en la Figura 3, se realiza el análisis del rinde en función de la magnitud de la mayor pendiente, separando previamente los puntos por intervalos de cota que contengan una cantidad similar de observaciones (Figura 4). Si se comparan los rendimientos en los intervalos de cota extremos (95.5-97.5 y 101.5-105) se puede identificar que, para la mayoría de las observaciones de las cotas más bajas, el

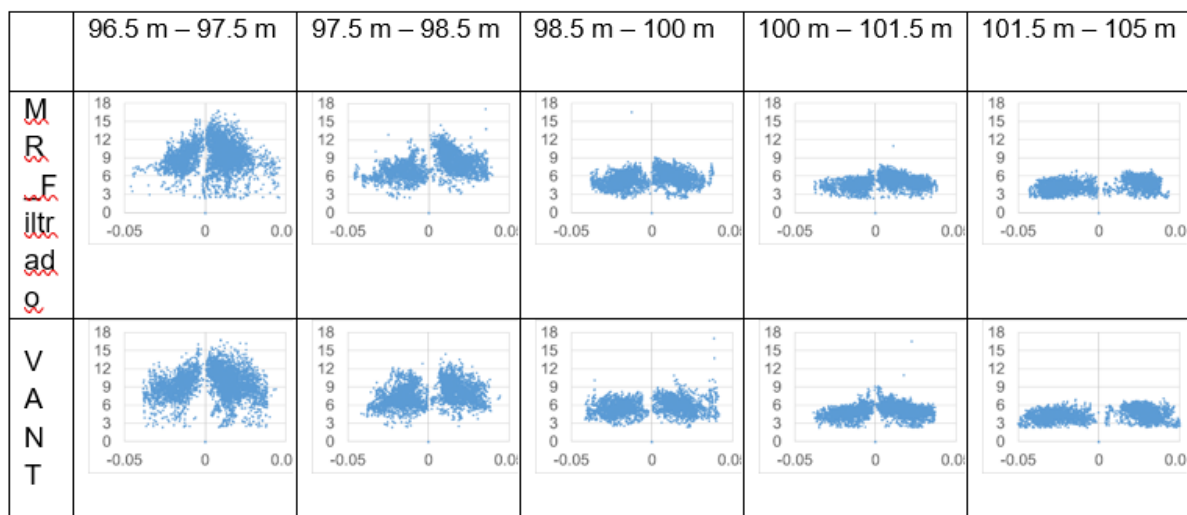


Figura 4. Rinde en función de la magnitud de la mayor pendiente, separados por intervalos de cota.

rendimiento de maíz varía entre 6 y 14 Mg ha^{-1} , mientras que para las más altas varía entre 2 y 6 Mg ha^{-1} . Además, se puede reconocer que la influencia de la pendiente es más importante para las cotas más bajas que para las más altas.

Finalmente, la Figura 5 presenta el efecto de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos y atributos topográficos. La respuesta a la fertilización con N se relaciona con los atributos topográficos, siendo mayor la respuesta no solo en las posiciones más bajas del lote. Estos resultados pueden explicarse porque los sitios de mayores cotas muestran menores rangos de N mineralizado durante el ciclo del cultivo que los sitios de menores cotas que lo duplican (Zubillaga et al., 2020) y por la mayor capacidad de almacenamiento de agua de estos suelos.

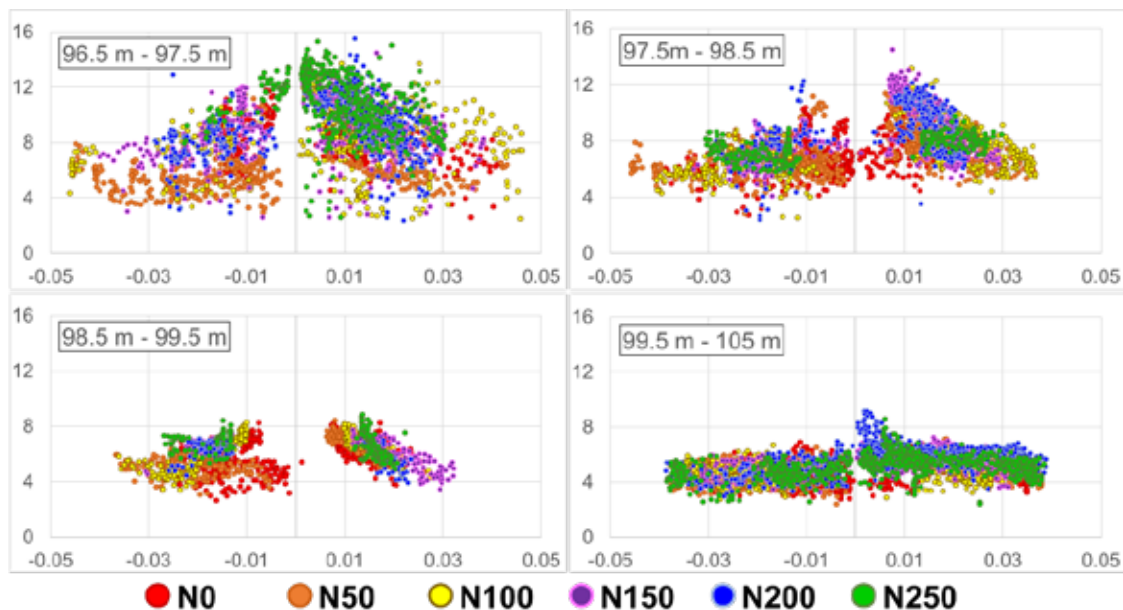


Figura 5. Rinde de maíz en función de la magnitud de la mayor pendiente, separados por intervalos de cota del modelo MR_Filtrado.

También se adiciona que las pendientes sean positivas y de menor magnitud favorece la respuesta a la fertilización. Las diferencias por dosis de N se presentan en las posiciones con menores cotas y con pendientes de menor magnitud.

CONCLUSIONES

Los atributos derivados de los modelos de elevación se relacionan con los rendimientos del cultivo de maíz. El modelo derivado del monitor de rendimiento sin filtrar tiene mayor variabilidad y no presenta un buen ajuste con las cotas del modelo derivado del VANT. El filtrado permitió mejorar el ajuste entre los datos de los modelos filtrado y VANT. El análisis de pendientes separado por intervalos de cota permite identificar comportamientos diferentes en el rinde, lo que lleva a una mejor estimación. La respuesta a la fertilización nitrogenada fue mayor en los sitios de menor cota y pendientes positivas de menor magnitud.

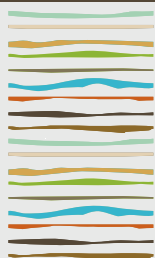
AGRADECIMIENTOS

Se agradece a UBACyT 20020190100111BA, al Establecimiento La Cabaña donde se llevó a cabo la experimentación, y al Agrim. Gerardo Moroni, el Agrim. Fernando Carbone y a Mariano de Laurentis quienes estuvieron a cargo del relevamiento con VANT y el apoyo GNSS para los puntos de control.

BIBLIOGRAFIA

- Quédraogo, MM; Degré, A; Debouche, C & J Lisein. 2014. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphol.* 214: 339-355.
- Zhang S; Zhang X; Huffman T; Liu X & J Yang. 2011. Influence of topography and land management on soil nutrients variability in Northeast China. *Nutr. Cycl Agroecosys* 89: 427-438.
- Zhang, C & JM Kovacs. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precis. Agric.* 13: 693-712.
- Zubillaga, MM; Redel, HM & ML Cabrera. 2020. Assessment of apparent N mineralization at field scale. *Soil Use Manage.* 37: 418-426.





EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA Y SU PASTOREO SOBRE LOS NIVELES DE N DE NITRATOS

Parra, B.J.^{1*}, R. Marzari^{1,2}, S. Perassi¹, F.S. Cabrera¹, M.D. Bongiovanni^{1,2}

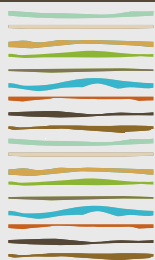
¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria UNRC;

² Instituto 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 N de nitratos (N-NO_3^-) para los cultivos de interés económico en un Hapludol típico. Para ello se estableció un ensayo en el campo de Docencia y Experimentación «Pozo del Carril» perteneciente a la UNRC, ($32^\circ 58' 46,5''\text{S}$, $64^\circ 39' 35,04''\text{O}$). 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 y sin pastoreo) 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 determinó (N-NO_3^-) hasta los 60 cm de profundidad al momento de secado de los CC y al de la siembra del maíz. Dicha determinación se realizó en capas de 20 cm y, para expresar los valores en kg de N-NO_3^- por hectárea, se determinó la densidad aparente en cada una. No se observó interacción significativa entre los factores evaluados por lo que los resultados se reportan para cada uno por separado. Al momento del secado de los CC los tratamientos pastoreados presentaron un mayor nivel de N-NO_3^- en relación a los no pastoreados (69 y 100 kg ha^{-1} respectivamente) probablemente debido a una menor demanda de los CC o a cambios en la tasa de mineralización de la biomasa de los CC en relación al estiércol bovino. Con respecto al efecto de los diferentes CC, el testigo sin CC presentó los mayores valores de N-NO_3^- (153 kg ha^{-1}) seguido de vicia (83 kg ha^{-1}) que a su vez se diferenció de centeno (48 kg ha^{-1}) quedando el tratamiento de centeno + vicia en una posición intermedia (54 kg ha^{-1}) de los últimos tratamientos sin diferenciarse. Esta diferenciación se atribuiría por un lado al consumo de N por parte de los CC y a la fijación biológica en los tratamientos que incluyen vicia. Al momento de la siembra de maíz los valores de N-NO_3^- fueron en promedio 12% mayores y la tendencia general observada en fue similar, aunque las diferencias no fueron significativas entre los niveles de ninguno de los factores. El incremento general de los valores de N-NO_3^- se atribuiría a la mineralización ocurrida en el período sin vegetación activa entre el secado de los CC y la siembra de maíz. Por otro lado los niveles de N-NO_3^- habrían tendido a equipararse debido a que el consumo inicial de N-NO_3^- por parte de los CC estaría retornando al sistema mediante mineralización. Se podría concluir que bajo las condiciones experimentales planteadas, los CC no disminuyeron significativamente la disponibilidad de N-NO_3^- al momento de la siembra de maíz y que existiría una tendencia a que la incorporación de vicia y el pastoreo de los CC atenuarían dicha disminución.

Palabras clave: disponibilidad de N, cultivos de servicio, vicia



RESPUESTA AL AGREGADO DE POTASIO Y ZINC EN TRIGO, SOJA Y MAÍZ EN ENTRE RÍOS

Pautasso, J.M.^{1,2*}, P. A. Barbagelata², R.M. Melchiori¹

¹ EEA INTA Paraná;

² FCA UNER;

* Ruta Provincial 11, km 11,5, (1100) Diamante, Prov. de Entre Ríos,
Pautasso.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

Además del N y del P otros nutrientes que podrían ser deficitarios y llegar a generar respuestas a su agregado son el zinc y el potasio. Para ambos nutrientes se han definido rangos críticos de disponibilidad, siendo para potasio el rango para todos los cultivos entre 117 y 200 mg kg⁻¹ y de alrededor de 1 mg kg⁻¹ de Zn DTPA para trigo y maíz. El objetivo de este trabajo fue explorar las respuestas al agregado de Zn y K y validar sus umbrales en suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos. En total se analizaron 38 ensayos para evaluar la respuesta a K (20 en trigo, 7 en soja y 11 en maíz) y 34 ensayos para Zn (20 en trigo, 5 en soja y 9 en maíz). Los sitios evaluados presentaron valores promedios de K intercambiable altos y de Zn DTPA dentro del umbral de respuesta. El rendimiento relativo utilizado para definir el umbral de respuesta fue de 90%. Analizando todos los cultivos, se determinó un umbral de K intercambiable que varió entre 212 y 229 mg kg⁻¹ ($p < 0,05$). Para el caso de Zn DTPA se pudo determinar un umbral sólo para el cultivo de trigo, que se situó entre 0,39 y 0,42 mg kg⁻¹ ($p < 0,05$). En el análisis conjunto de los sitios no se determinaron respuestas significativas ($p > 0,05$) al agregado de K y Zn en suelos del Centro Oeste de ER.

Palabras clave: K intercambiable, Zn DTPA, umbral crítico.

INTRODUCCION

La herramienta más difundida y utilizada para conocer la disponibilidad de algunos nutrientes es el análisis de suelos, a partir del cual los valores informados corresponden a "índices de disponibilidad" para los cultivos. Generalmente el valor determinado representa una porción del nutriente que está en rápido equilibrio con la solución del suelo y puede ser absorbida por los cultivos (Barbazán y García; 2015). Si bien los nutrientes que mayormente condicionan los rendimientos de los cultivos extensivos en Argentina son el nitrógeno (Echeverría y Sainz Rozas; 2015) y el fósforo (García y col. 2015), la falta de reposición y la actividad agrícola continua han producido una disminución de otros nutrientes que podrían llegar a ser actualmente limitantes, entre estos se cuentan el zinc y el potasio (Sainz Rozas y col. 2013).

En la Región Pampeña existen estudios que definen probabilidades de respuestas asociadas a diferentes disponibilidades de Zn en el suelo extraído con DTPA para trigo (Martínez Cuesta et al. 2021) y maíz (Barbieri et al. 2017; Martínez Cuesta et al. 2020). Se ha definido un umbral de alrededor de 1 mg kg⁻¹ de suelo para ambos cultivos (rango en maíz 0.86 a 1.30 mg kg⁻¹ y en trigo 0.87 a 1.23 mg kg⁻¹), mientras que para soja no se han informado respuestas positivas al agregado de Zn en la región (Barbieri y col. 2018).

En el caso del K, estudios realizados en Uruguay han definido un umbral que se encuentra entre 117 y 156 mg kg⁻¹ (Barbazán y col. 2017); mientras que en otras regiones del mundo se ha definido un rango óptimo un poco más alto, entre 160 y 200 mg kg⁻¹ (Mallarino, et al. 2013); en ambos casos el rango crítico es común a to-

dos los cultivos agrícolas. Adicionalmente, se han explorado variables complementarias para el diagnóstico, al respecto Sainz Rozas y col. (2013) afirman que cuando la relación $(Ca+Mg)/K$ presenta valores mayores a 20 a 1 puede existir respuesta al agregado de K.

Con el objetivo de explorar las respuestas al agregado de Zn y K y determinar umbrales locales o validar los citados por la bibliografía en trigo, maíz y soja se establecieron ensayos en suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas 2020 y 2021 se instalaron ensayos de fertilización en la zona Centro Oeste de la Provincia de Entre Ríos, área de influencia de la EEA INTA. Se realizaron experimentos en los cultivos de trigo, soja y maíz utilizando un diseño en BCA con tres repeticiones (Tabla 1). Para evaluar la respuesta a potasio, a las parcelas tratadas se les agregó 50 kg de K ha⁻¹ y para evaluar respuesta a Zn se agregó 1 kg ha⁻¹ de Zn elemento de forma sólida. Tanto las parcelas testigos como las tratadas con K y Zn, fueron fertilizadas con 20 kg ha⁻¹ de P, 12 kg ha⁻¹ de S y para las gramíneas se adicionó 92 kg de N ha⁻¹. Todos los nutrientes fueron aplicados a la siembra y en cobertura. Antes de la fertilización se extrajeron muestras de suelos 0-20 cm donde se midió Zn DTPA y K intercambiable extraído con acetato de amonio. En total se analizaron 38 ensayos para evaluar la respuesta a K (20 en trigo, 7 en soja y 11 en maíz) y 34 ensayos para Zn (20 en trigo, 5 en soja y 9 en maíz)

Para obtener los valores críticos de análisis de suelo de Zn DTPA y K intercambiable para rendimiento relativo (%), los cálculos fueron realizados siguiendo dos enfoques: i) mediante el ajuste de modelos de respuesta lineal y meseta, subrutina Solver del programa Microsoft® Excel y ii) la curva de calibración arco seno logaritmo (ALCC) modificado por Correndo et al. (2017). Para comparar medias se utilizó el paquete estadístico Infostat 2020 (Di Rienzo et al. 2020). Se realizaron análisis de variancia para las variables para el conjunto de los experimentos, anidando los bloques dentro de los sitios.

RESULTADOS Y DISCUSION

1 Disponibilidad de K y Zn según análisis de suelos

Los niveles de disponibilidad de Zn en la mayoría de los suelos estudiados estuvieron dentro del rango de respuesta probable al agregado de Zn, mientras que los niveles de K intercambiable evidenciaron valores mayoritariamente dentro de los rangos de óptimo a alto. El K intercambiable promedio fue de 342 mg kg⁻¹ y el de Zn de 1 mg kg⁻¹ para la determinación con DTPA (Figura 1).

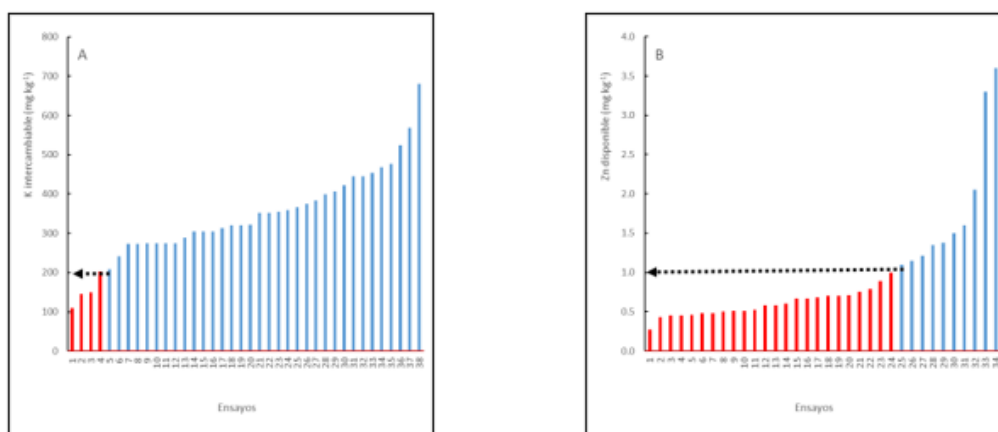


Figura 1: Disponibilidad de nutrientes en suelos del centro oeste de la provincia de Entre Ríos. A) niveles de Potasio intercambiable, y B) niveles de Zn extractable por DTPA. Las flechas en las figuras indican el nivel crítico para cada nutriente.

2 Respuesta al agregado de potasio.

En un análisis conjunto del rendimiento para todos los experimentos agrupados por cultivo no se determinó efecto significativo de la interacción Sitio*Tratamiento, ni del agregado de K ($p > 0,05$, Figura 2).

En la Figura 3 se muestran umbrales críticos de K intercambiable obtenidos para los distintos modelos estadísticos utilizados; los resultados locales, fueron levemente superiores a los valores informados en la bibliografía. Una de las limitantes importantes de los modelos obtenidos y las comparaciones realizadas es la baja cantidad de sitios con valores de K intercambiable bajos, lo que podría afectar el umbral determinado para este nutriente.

En la Tabla 2 y 3 se analizan las respuestas al agregado de K según el nivel de K intercambiable (definiendo 200 ppm de K intercambiable como umbral) y considerando la relación de bases intercambiables (Ca + Mg) / K, (particionado la población de datos por encima y por debajo de 20). La incorporación de la variable que relaciona bases al diagnóstico mejoró la predicción de la respuesta al agregado de K en el cultivo de trigo, donde en el 25% de los casos relevados se observaron valores mayores a 20 y respuesta a K, mientras que este criterio no sumó ventajas para predecir respuesta al agregado de K en maíz y soja.

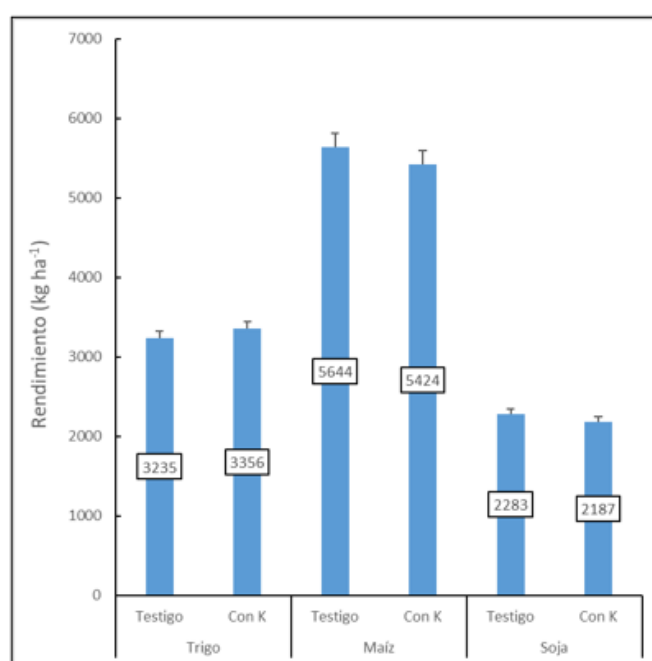


Figura 2: Rendimiento de los cultivos de trigo maíz y soja y respuesta al agregado de K (dosis de K = 50 kg ha⁻¹) en el Centro Oeste de Entre Ríos

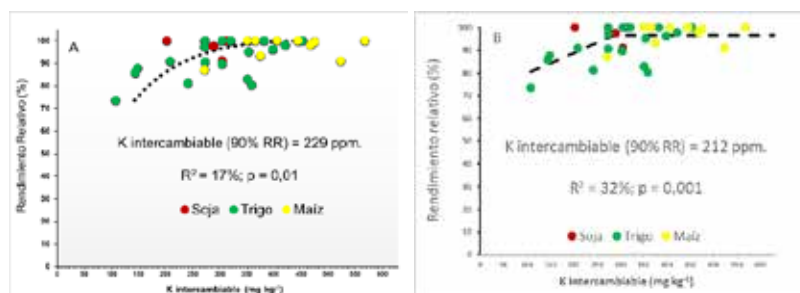


Figura 3: Rendimiento relativo de los cultivos de trigo, maíz y soja en función del K intercambiable y determinación de umbrales de respuesta para el Centro Oeste de Entre Ríos, utilizando dos métodos estadísticos: A) método ALCC; B) Modelo de respuesta lineal y meseta.

Tabla 2: Respuesta en rendimiento de los cultivos de trigo, maíz y soja al agregado de K para distintos niveles de K intercambiable.

Cultivo	nivel de K en suelo	K Intercambiable ppm (promedio)	Sitios (n)	Respuesta (kg ha ⁻¹)	p valor*
Trigo	K < 200 ppm	134	3	314	0.02
	K > 200 ppm	349	17	91	0.47
Maíz	K < 200 ppm	Sin datos	0	Sin datos	Sin datos
	K > 200 ppm	427	11	-220	0.46
Soja	K < 200 ppm	Sin datos	0	Sin datos	Sin datos
	K > 200 ppm	283	7	-96	0.29

*Prueba t para una media diferente de 0

Tabla 3: Respuesta en rendimiento al agregado de K para los cultivos de trigo, maíz y soja en función de la relación (Ca+Mg)/K en el Centro Oeste de Entre Ríos.

Cultivo	(Ca+Mg)/K	(Ca+Mg)/K (promedio)	Sitios (n)	Respuesta (kg ha ⁻¹)	p valor*
	Nivel de clase				
Trigo	< 20	10	15	57	0.69
	> 20	44	5	326	< 0,01
Maíz	< 20	9	9	-330.3	0.35
	> 20	38	2	278	0.58
Soja	< 20	13	5	-99	0.40
	> 20	28	2	-93	0.55

*Prueba t para una media diferente de 0

3 Respuesta al agregado de zinc.

El análisis conjunto de todos los sitios evaluados no mostro efecto significativo de la interacción Sitio*Tratamiento ($p > 0,05$), ni del tratamiento de agregado de Zn ($p > 0,05$). sobre el rendimiento de los cultivos (Figura 4).

La respuesta en función del Zn DTPA en trigo y soja presentaron respuesta al agregado de Zn cuando el suelo presentó valores muy bajos de Zn, mientras que el maíz en cambio respondió a la fertilización con este nutriente hasta valores cercanos a 1,5 ppm (Figura 5).

Con valores de suelos de Zn DTPA menores a 0,6 ppm se esperan respuestas al agregado de este nutriente de 134 kg ha⁻¹ y de 66 kg ha⁻¹ para trigo y soja, y para el caso del cultivo de maíz con valores menores a 1,5 ppm se presentaron en promedio un incremento de rendimiento de 198 kg ha⁻¹.

Los resultados obtenidos, sólo permitieron definir un umbral de ZN DTPA para el cultivo de trigo (Figura 6), con muy poca variación en la magnitud según la metodología utilizada, y un valor inferior al informado para la región pampeana en su conjunto por Martínez Cuesta et al. (2021).



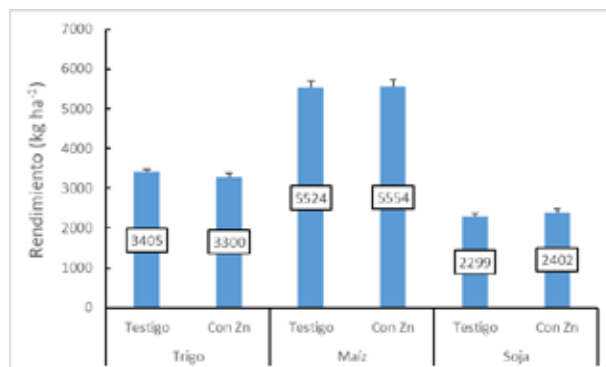


Figura 4: Rendimiento de los cultivos de trigo, maíz y soja y respuesta al agregado de Zn (dosis de Zn = 1 kg ha⁻¹) en el Centro Oeste de Entre Ríos en el Centro Oeste de Entre Ríos.

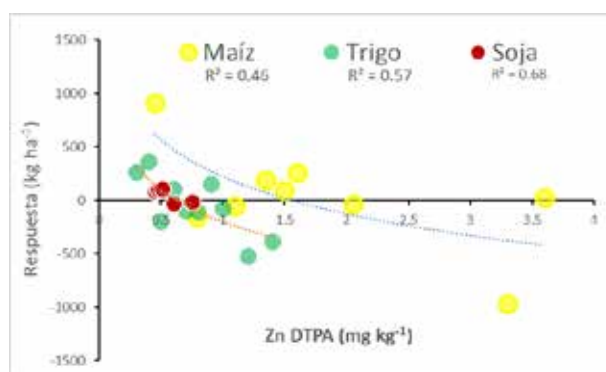


Figura 5: Respuesta de los cultivos de trigo, maíz y soja al agregado de Zn en función del Zn DTPA del suelo el Centro Oeste de Entre Ríos.

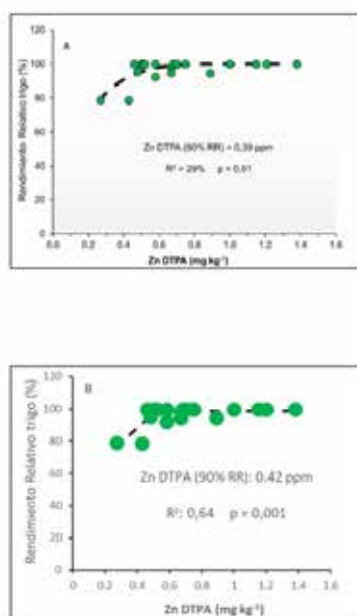


Figura 6: Rendimiento del cultivo de trigo en función del Zn DTPA y determinación de umbrales de respuesta para el Centro Oeste de Entre Ríos, utilizando dos métodos estadísticos: A) método ALCC; B) Modelo de respuesta lineal y meseta.

Los resultados obtenidos en 72 experimentos conducidos en el Centro Oeste de Entre Ríos, evidencian dos particularidades que requieren seguir siendo estudiadas: i) el umbral de K intercambiable determinado en la región es levemente superior al encontrado para suelos de Uruguay (Barbazán et al., 2017), afirmación que puede estar asociada a la baja probabilidad de encontrar sitios con bajos niveles de este nutriente y ii) el umbral de respuesta al agregado de Zn para trigo es considerablemente inferior al definido para el conjunto de la Pampa Húmeda.

CONCLUSIONES

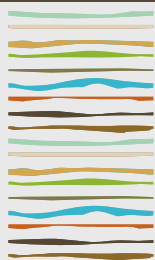
Para el centro oeste de la provincia de Entre Ríos no se observaron respuestas generalizadas al agregado de K y Zn.

El contenido de K intercambiable en trigo, maíz y soja y el de Zn DTPA en trigo permitieron determinar umbrales para predecir la respuesta a la fertilización.

BIBLIOGRAFIA

- Barbazán M. & F. García. 2015. Evaluación de la fertilidad y recomendaciones de fertilización. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina. Pp. 379-399.
- Barbazán M.; M. Bordoli; A. del Pino; M. Ferrando; O. Ernst; E. Hoffman; S. Mazzilli; L. Rocha & F. García. 2017. Assessment of potassium deficiencies in agricultural systems in Uruguay. *Frontiers of Potassium Science*. Rome, Italy. Pp. 367-372.
- Barbieri, P.; H. Sainz Rozas, N. Wyngaard; M. Eyherabide; N. Reussi Calvo, F. Salvagiotti; A. Correndo; P. Barbagelata; C. Espósito Goya, J. Colazo & H. Echeverría. 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in maize? *Soil Science Society of America Journal*, 81 (3), 556 – 563. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.09.0316>
- Barbieri P.; H. Sainz Rozas; H. Echeverría; F. Salvagiotti; G. Ferraris; H. Sánchez; R. Cáceres Díaz & A. Bústos. 2018. Respuesta del cultivo de soja (*Glycine max.*) al agregado de zinc y boro. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, 15 al 18 de mayo 2018.
- Correndo A.A.; F. Salvagiotti; F.O. García & F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop Pasture Sci.* 68:297-304., doi:10.1071/CP16444
- Di Rienzo J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría H. & H. Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. Pp. 189-228. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina.
- García F.; L. Picone & I. Ciampitti. 2015. Fósforo. Pp. 229-264. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina.
- Mallarino A.; J. Sawyer & S. Barnhart. 2013. A General Guide for Crop Nutrient and Limestone Recommendations in Iowa. PM 1688 Revised October 2013. Department of Agronomy, Iowa State University. <https://store.extension.iastate.edu/Product/A-General-Guide-for-Crop-Nutrient-and-Limestone-Recommendations-in-Iowa-PDF>
- Martínez Cuesta N; N. Wyngaard; H. Sainz Rozas; N. Reussi Calvo; W. Carciochi; M. Eyherabide; J. Colazo; M. Barraco; E. Guertal & P. Barbieri. 2020. Determining Mehlich-3 and DTPA extractable soil zinc optimum economic threshold for maize. *oil Use Manage* 2021; 37: 736– 748.
- Martínez Cuesta N; W. Carciochi; F. Salvagiotti; H. Sainz Rozas; N. Wyngaard; M. Lopez De Sabando & P. Barbieri. 2021. DTPA-extractable zinc threshold for wheat grain yield response to zinc fertilization in Mollisols. *SoilSci. Soc. Am. J.* 2021; 85:1858 – 1862.
- Sainz Rozas, H; M. Eyherabide; H. Echeverría; H. Barbieri; H. Angelini & G. Larrea. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. 22 – 23 de mayo de 2013. Rosario – Santa Fe – Argentina.





EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN PASTURAS CONSOCIADAS

Pautasso, J.M.^{1,2}; P.A. Barbagelata², M. Giordano², Y. Peltzer², M. Cian y M. Lorenzón

¹ EEA INTA Paraná;

² FCA UNER;

* Ruta Provincial 11, km 11,5, (1100) Diamante, Prov. de Entre Ríos,
Pautasso.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

En los sistemas de producción ganaderos argentinos la aplicación de fertilizantes está menos difundida que en los agrícolas. La aplicación de N en otoño adelanta el crecimiento de las gramíneas y, por lo tanto, el pastoreo, en un momento estratégico de oferta forrajera en general limitante. Las leguminosas tienen la capacidad de fijar grandes cantidades de N atmosférico y transferir parte del mismo a las gramíneas acompañantes o a cultivos posteriores. En Entre Ríos es escasa la información sobre el impacto de la fertilización nitrogenada en pasturas consociadas con base leguminosa. A partir de ensayos instalados en sistemas reales de producción se evaluó el impacto productivo en función de dosis y momentos de agregado de N en pasturas consociadas de distinta antigüedad y composición. La respuesta y la eficiencia de uso del N agregado fue dependiente de la composición de la pastura. La respuesta al agregado de N en pasturas con bajo porcentaje de gramínea (<70%) puede no ser viable económicamente. Las aplicaciones divididas de N no generaron una mayor producción de forraje.

Palabras clave: pasturas mezcla, gramíneas, leguminosas, eficiencia agronómica de nitrógeno.

INTRODUCCION

En general la oferta de nutrientes desde el suelo resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos de las especies forrajeras. En nuestros sistemas productivos los nutrientes que mayormente limitan la productividad son el fósforo (P) y el nitrógeno (N) (García et al., 2002) y su demanda está estrechamente asociada con la producción de forrajes, entonces para alcanzar elevados niveles productivos en la mayoría de los casos se debe recurrir al agregado de los mismos (Agnusdei et al., 2010). Una particularidad de los planteos ganaderos de Argentina se relaciona al menor uso de fertilizantes, observando con frecuencia deficiencias nutricionales (Marino y Berardo, 2014).

La aplicación de N en otoño adelanta el crecimiento de las gramíneas en un momento estratégico de oferta forrajera.

Las leguminosas tienen la capacidad de fijar grandes cantidades de N atmosférico a partir de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Este N fijado no solo beneficia a las leguminosas sino también a los cultivos acompañantes o posteriores. Dicho fenómeno se denomina transferencia de N, que se describe como "directa" o "indirecta" según se requiera mayor o menor mineralización de los tejidos o exudados de las leguminosas (Thilakarathna et al., 2016).

Existe bibliografía internacional sobre el tema de fertilización nitrogenada en forrajes (Gourley et al., 2017; Christie et al., 2020) y en el país se han realizado trabajos en ambientes productivos como Balcarce (Clausen



et al., 2016; Marino et al., 2016), donde se ha medido el impacto de la fertilización en pasturas consociadas, obteniendo recomendaciones adaptadas localmente para adecuar la nutrición de las pasturas.

En Entre Ríos es escasa la información y en general está enfocada a la nutrición fosfatada de pasturas puras de leguminosas (Quintero et al., 1995; Pautasso y Barbagelata, 2017). El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto productivo en pasturas consociadas de distinta antigüedad y composición en función de dosis y momentos de agregado de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 6 ensayos de fertilización nitrogenada durante dos años (2019 y 2020), en pasturas consociadas de distinta antigüedad base alfalfa o lotus, en mezcla simple con una gramínea. Cada ensayo tuvo un diseño en bloques con tres repeticiones, donde cada unidad experimental fue de 2 por 5 metros. Todos los sitios recibieron al menos 20 kg ha⁻¹ de P a la siembra.

Los tratamientos fueron 6: T0 (0 kg N ha⁻¹), T1 (46 kg N ha⁻¹), T2 (92 kg N ha⁻¹), T3 (138 kg N ha⁻¹), T4 (dos dosis de 46 kg N ha⁻¹) y T5 (aplicaciones al inicio y luego de cada corte de 46 kg N ha⁻¹). La fuente de N utilizada fue urea (46 % de N).

Los tratamientos respondían a los siguientes objetivos:

1. Respuesta a dosis de N: tratamientos T0, T1, T2 y T3. Todas las dosis aplicadas al inicio del otoño (abril).
2. Respuesta a dosis dividida de N: tratamientos T2 vs T4 ("92 kg de N ha⁻¹" vs "46 + 46 kg de N ha⁻¹") y tratamientos T3 vs T5 ("138 kg de N ha⁻¹" vs "46 + 46 + 46 kg de N ha⁻¹").

El impacto productivo se midió durante tres cortes a partir del agregado de nitrógeno (sólo en un sitio se contó con dos cortes luego de la fertilización nitrogenada otoñal). La producción de cada unidad experimental se evaluó a partir del corte de medio metro cuadrado. Las muestras se separaron por componentes (leguminosas, gramíneas y material muerto y malezas) y se pesaron. Para estimar la MS las muestras se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante.

La respuesta a la fertilización se calculó como la diferencia acumulada en todos los cortes de cada tratamiento fertilizado respecto al testigo (T0) de su bloque y la eficiencia de uso del N (EUN) como el cociente entre la respuesta y la dosis de N agregada.

Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo et al.; 2020). Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre diferentes variables en cada ensayo se realizó ANOVA y en los casos que el efecto fue significativo (< 0,05) las medias se compararon a partir de un test LSD Fisher. También se realizaron regresiones entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los ensayos realizados durante el 2019 la precipitación anual fue mayor a la registrada históricamente (18,4% más), en cambio en el 2020 la lluvia acumulada fue un 33,3% menores al promedio.

En la Tabla 1 y 2 se resume información general de los ensayos.



Tabla 1: Características generales de los ensayos

Ensayo	MO	pH	P Bray	NO ₃ ⁻	Suelo	Año implan- tación	Año ensa- yo	Cortes evalua- dos
	%		----ppm----					
1	2,67	6,10	17,9	27,8	Argiudol ácuico	2018	2019	3
2	3,56	5,97	23,8	32,3	Argiudol ácuico	2018	2019	3
3	3,25	6,04	23,4	27,2	Argiudol ácuico	2018	2019	3
4	3,74	6,23	4,4	32,3	Argiudol vértico	2016	2020	3
5	3,22	6,33	3,5	36,5	Peludertes árgico	2017	2020	2
6	3,34	6,49	3,5	23,4	Argiudoles rendólicos	2017	2020	3

Las muestras de suelos se extrajeron antes de la fertilización nitrogenada.

No se encontró una relación entre la fertilización nitrogenada y el porcentaje final de los componentes de la pastura. Este resultado responde posiblemente al poco tiempo desde la aplicación del N hasta la última medición (alrededor de 200 días) y a diferentes condiciones climáticas entre mediciones (primera medición en invierno y tercera medición en primavera/verano) que pueden condicionar de manera diferente el aporte de cada componente de la mezcla.

Tabla 2: Mezcla de especies forrajeras en cada sitio y composición al inicio y al final del ensayo (% de la MS total).							
Ensayo	Mezcla	Leguminosa (%)		Gramínea (%)		Material muerto o maleza (%)	
		Ini- cio*	Final*	Inicio*	Final*	Inicio*	Final*
1	Alfalfa + cebadilla	74%	79%	16%	8%	10%	13%
2	Lotus + raigrás	44%	56%	49%	42%	6%	2%
3	Alfalfa + cebadilla	80%	78%	11%	22%	9%	1%
4	Alfalfa + festuca	15%	30%	74%	57%	11%	13%
5	Alfalfa + festuca	27%	20%	67%	68%	6%	12%
6	Alfalfa + festuca	0%	0%	100%	89%	0%	11%

* valores promedios de las parcelas con agregado de N. Los valores iniciales corresponden al 1^{er} corte y los finales al 3^o (excepto sitio 5, que corresponde a la composición en el 2^{do} corte).

En tres de los seis ensayos evaluados se encontró un efecto significativo de la aplicación de N sobre la producción de MS de las pasturas consociadas (Tabla 3).



Tabla 3: Producción promedio por corte y por tratamiento (kg MS/ha).

Ensa- yo	Testigo		T1		T2		T3		T4		T5		Respu- esta a N (valor p)
					kg MS por hectárea								
1	638	b	783	ab	850	ab	735	ab	954	a	736	ab	0,02
2	883	b	1010	ab	1044	ab	1071	ab	1197	a	889	b	0,01
3	1072	a	1069	a	1162	a	1139	a	965	a	1112	a	0,59
4	1444	a	1614	a	1691	a	1449	a	1632	a	1752	a	0,15
5	695	a	972	a	940	a	791	a	680	a	909	a	0,23
6	613	c	1230	ab	1019	bc	1660	a	1095	b	1697	a	<0,01

En el sitio 6 se perdió el componente alfalfa, es decir el forraje era 100% festuca. Para cada ensayo medias con una letra común no son significativamente diferentes, según el test LSD ($p > 0,05$).

La respuesta y la eficiencia de uso del N agregado fue dependiente de la composición de la pastura. La respuesta al agregado de N en pasturas con bajo porcentaje de gramínea (<70%) fue escasa, lo que transforma a la aplicación de N en estos casos en una práctica que puede no ser económicamente viable.

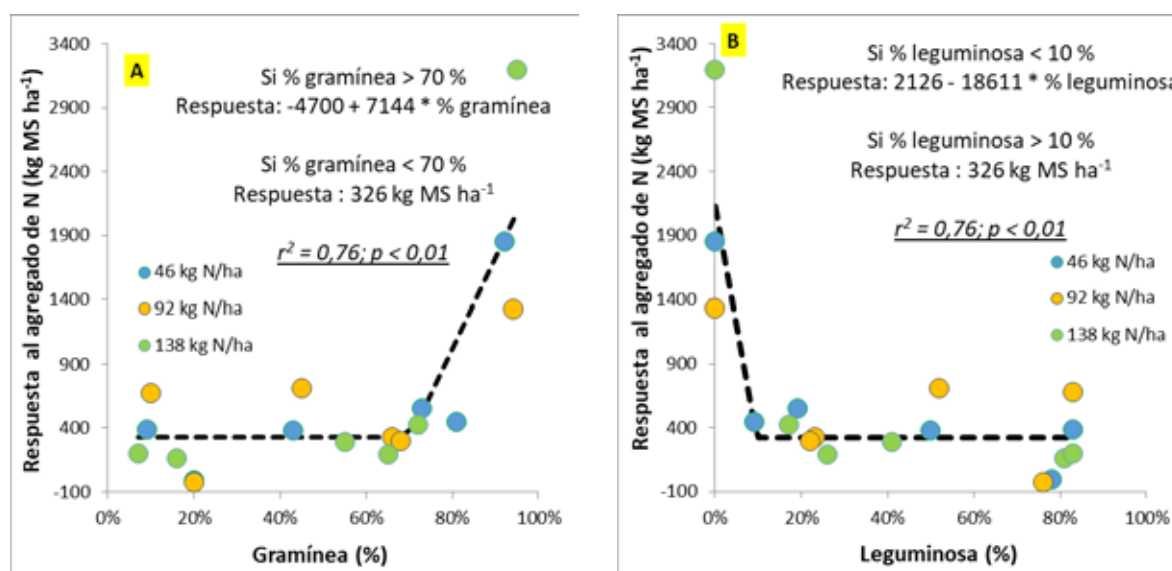


Figura 1: Respuesta al agregado de N en función del porcentaje de gramínea (A) y de leguminosa (B) en la composición de la pastura.

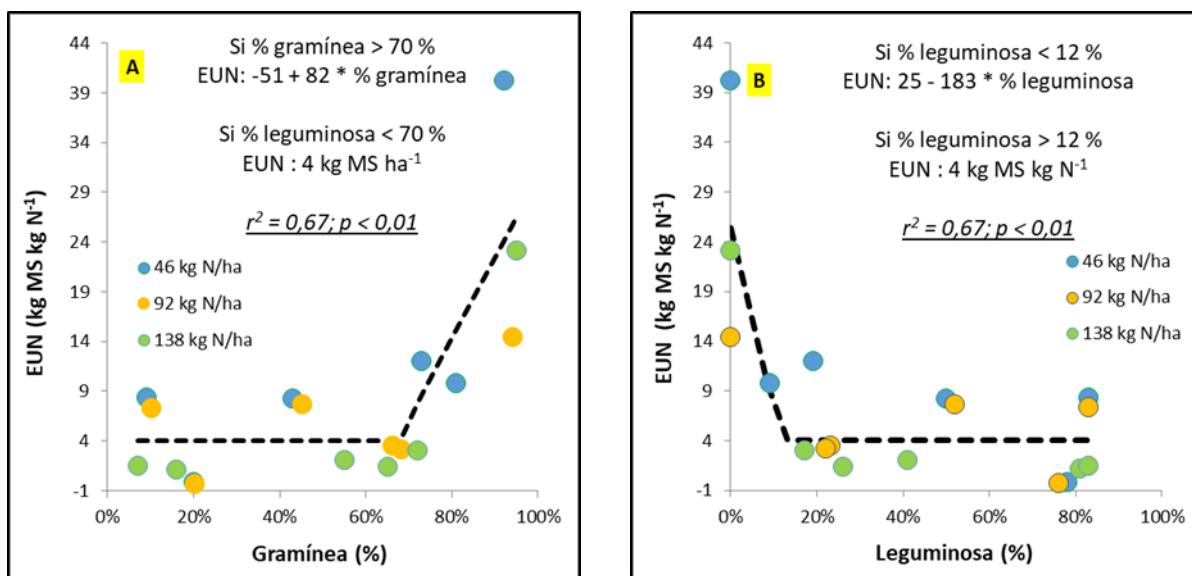


Figura 2: EUN en función del porcentaje de gramínea (A) y de leguminosa (B) en la composición de la pastura.

Estos modelos de respuesta y de EUN le dan un valor más preciso a lo informado por Rubio et al. (2013) quienes reportaron que se requieren valores de 30% a 50% de leguminosas bien noduladas para balancear los requerimientos de N de las gramíneas y por Thilakarathna et al. (2016) quienes informaron que las tasas de transferencia de nitrógeno fue de hasta un 80% de las leguminosas forrajeras a las gramíneas, siendo la transferencia de N superior cuando la fracción leguminosa fue mayor que la fracción no leguminosa. También Phelan et al. (2015) recomiendan mantener un componente de leguminosas en la mezcla (óptimo 40-60% de materia seca del forraje) para poder reducir los costos de fertilizantes nitrogenados.

Las aplicaciones divididas de N no generaron una mayor producción de forraje comparadas con la misma dosis de N aplicada por única vez, esta afirmación surge de contrastar los tratamientos T2 vs T4 ($p = 0,75$) y los tratamientos T3 vs T5 ($p = 0,67$).

En la Figura 3 se presentan las respuestas promedio por corte para cada tratamiento evaluado. En la misma se puede apreciar una tendencia a disminuir la respuesta en el tercer corte para las aplicaciones simples (T1 – T2 – T3) y una respuesta un poco más estable entre cortes para las aplicaciones divididas (T4 y T5).

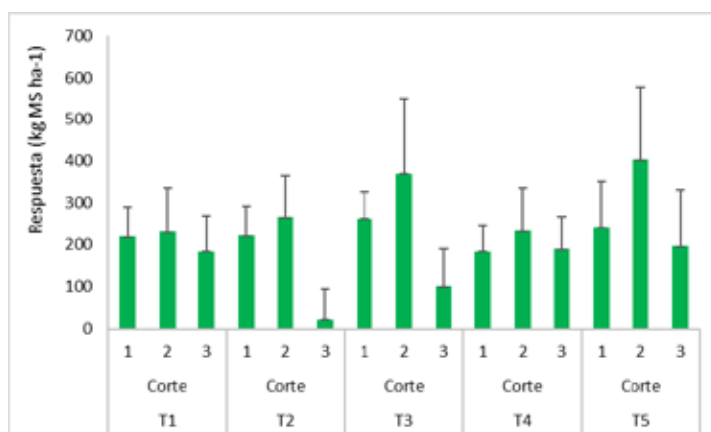


Figura 3: Respuestas promedio de forraje por corte para cada tratamiento de fertilización nitrogenada evaluado. Las barras verticales corresponden a los errores estándar.

CONCLUSIONES

La gramínea en la mezcla forrajera recibe un importante aporte de N desde la leguminosa, siendo las respuestas al agregado de este nutriente en dichas pasturas relativamente bajo.

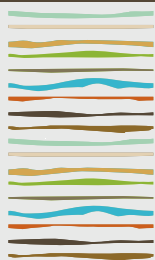
A partir de los datos presentados, se podría justificar la aplicación de N en este tipo de pasturas consociadas sólo cuando la componente leguminosa prácticamente ha desaparecido. Estratégicamente también podría utilizarse dosis bajas de N, asumiendo EUN menor a la obtenida en cultivos puros de gramíneas.

La presente investigación generó información que podría ser de utilidad para decidir la práctica de fertilización nitrogenada en recursos forrajeros constituidos por pasturas de gramíneas y leguminosas en función de las cantidades relativas de cada uno de los componentes.

BIBLIOGRAFIA

- Agnusdei M.; S. Assuero; F. Lattanzi & M. Marino. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2010) 88:215–230. DOI 10.1007/s10705-010-9348-6.
- Clausen L.; G. Berone; M. Marino & M. Nuñez Lucanera. 2016. PP 79 Agregado de nitrógeno en otoño temprano en una pastura mezcla de alfalfa y festuca. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 36 Supl. 1: 295-411 (2016).
- Christie, K.; A. Smith; R. Rawnsley; M. Harrison & R. Eckard. (2020). Simulated seasonal responses of grazed dairy pastures to nitrogen fertilizer in SE Australia: N loss and recovery. *Agricultural Systems*. 182. 10.1016/j.agsy.2020.102847.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M. & Robledo C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- García, F.; F. Micucci; G. Rubio; M. Ruffo & I. Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. Instituto de la Potasa y el Fósforo - INPOFOS Cono Sur. Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC). Marzo 2002. Pp. 72.
- Gourley C.; M. Hannah & K. Chia. 2017. Predicting pasture yield response to nitrogenous fertilizer in Australia using a meta-analysis-derived model, withfield validation. *Soil Research*, 2017, 55, 567–578 <http://dx.doi.org/10.1071/SR17032>
- Marino, M. & A. Berardo. 2014. Pasturas y pastizales. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina. Pp. 555-583.
- Marino, M.; G. Berone; L. Clausen & M. Nuñez Lucanera. 2016. Producción de pasturas alfalfa-festuca mediterránea según el momento de fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 36 Supl. 1: 295-411. ISBN-ISSN 0326-0550.
- Quintero C.; N. Boschetti & R. Benavidez. 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos. *Ciencia del Suelo* 13:60-65. Disponible http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_13n2/Quintero.pdf [Verificación: enero de 2021]
- Phelan, P.; A. Moloney; E. Mcgeough; J. Humphreys; J. Bertilsson; E. O’Riordan & P. O’Kiely. 2015. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 34: 281-326.
- Pautasso J. M. & P. A. Barbagelata. 2017. Actualización del umbral de fósforo Bray para el cultivo de alfalfa en Entre Ríos (Argentina). IAH 26 - junio 2017. Disponible [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/8865252DFED837860325815D00631784/\\$FILE/13.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/8865252DFED837860325815D00631784/$FILE/13.pdf) [Verificación: enero de 2021]
- Rubio G.; F. Micucci & F. García. 2013. Capítulo 14: Ciclado de nutrientes y fertilización de pasturas. En *Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Ed. R. Álvarez, P. Prystupa, M. Rodríguez y C. Álvarez. Editorial FA UBA. ISBN: 978-987-27793-7-5.
- Thilakarathna, M.; M. McElroy & T. Chapagain. 2016. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 58 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0396-4>.





ANÁLISIS EXPLORATORIO DE PROPIEDADES BIOCONTROLADORAS Y PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL DE *PAENIBACILLUS POLYMYXA* INTA I-1

Piccinetti, C.F.^{1,*}, D.H. Sauka^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMYZA);

² CONICET;

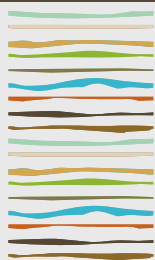
*Nicolás Repetto y De Los Reseros s/n°, Hurlingham (B1686), Prov. de Buenos Aires, piccinetti.carlos@inta.gob.ar

RESUMEN

En el contexto de los retos que se enfrentan a nivel mundial (cambio climático, contaminación ambiental, degradación de recursos naturales) existe un consenso asociado con la necesidad de avanzar hacia procesos productivos que impulsen un desarrollo sustentable. En tal sentido los bioinsumos bacterianos son de los más requeridos como herramientas para la producción y protección vegetal. Asimismo existe creciente demanda de nuevas cepas bacterianas para incluirlas como ingredientes activos de este tipo de bioinsumos. *Paenibacillus polymyxa*, antiguamente clasificada dentro del género *Bacillus*, es una de las especies bacterianas bien caracterizadas que habitan el suelo y que son beneficiosas para el desarrollo de diversas plantas. La cepa INTA I-1 (=DSM 36=ATCC 842) es la cepa tipo de *P. polymyxa*. El objetivo de este estudio fue caracterizar y evidenciar distintas propiedades biocontroladoras y promotoras del crecimiento vegetal de INTA I-1 a escala de laboratorio. La identidad de la cepa fue verificada a través del análisis de la secuencia de un fragmento del gen ARNr 16S. Se evaluaron las siguientes propiedades: (i) capacidad biocontroladora sobre hongos fitopatógenos, (ii) solubilización de fosfato tricálcico, (iii) fijación biológica de N (FBN), iv) actividad celulolítica, v) energía germinativa y promoción temprana del crecimiento en maíz y soja a los 7 días después de la siembra (DDS). La secuencia del fragmento del gen ARNr 16S obtenida resultó idéntica a la de otras cepas de *P. polymyxa* depositadas en GenBank. INTA I-1 produjo un buen porcentaje de biocontrol sobre *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum* y *Drechslera tritici* con valores entre 29,7 y 13,5, y no fue capaz de controlar a *Rhizoctonia solani*. INTA I-1 fue eficiente en solubilizar fosfato tricálcico en placas de agar SMRS con un índice de solubilización promedio de 1,39 y capaz de crecer en placas con agar Burk (sin N) indicando FBN observable. INTA I-1 demostró propiedades celulolíticas interesantes con un índice de capacidad de hidrólisis de 4,2 tras 120 h de incubación en placas de agar carboximetilcelulosa. La actividad celulasa aumentó con el tiempo de incubación. Se observó que con 1×10^4 UFC/semilla se mejoró la energía germinativa (24 h) tanto para maíz en un 12,2% como para soja en un 90,4% respecto al control sin inocular. El efecto de la promoción del crecimiento evaluados a los 7 DDS se evidenció con 1×10^4 UFC/semilla el mejor comportamiento en maíz con incrementos del 32,5% en la longitud aérea y 11,2% en longitud de raíz, como en soja con un 100,0% sólo en longitud de raíz, respecto a los controles sin inocular. En conclusión, se logró evidenciar en INTA I-1 la capacidad biocontroladora *in vitro* y su capacidad para mejorar la germinación y promover el crecimiento temprano de maíz y soja. Su desempeño en condiciones de campo se deberá evaluar considerando la formulación de inoculantes experimentales. La actividad celulolítica de la cepa podría constituir una herramienta eficaz para acelerar la degradación natural de residuos agropecuarios ricos en celulosa.

Palabras clave: biocontrol, PGPR, inoculante.





SELECCIÓN DE RIZOBIOS NODULANTES DE SOJA POR EFICIENCIA SIMBIÓTICA AISLADOS DE POTREROS PRODUCTIVOS DE ARGENTINA

Piccinetti, C.F.^{1*}, Peticari, A.²

¹ Laboratorio Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (LBPCV-IMYZA-CICVYA-INTA.

Nicolás Repetto y De los Reseros s/n, Hurlingham (1686), Buenos Aires.;

² AER Concarán, EEA San Luis-INTA. Concarán (D5770), San Luis. piccinetti.carlos@inta.gob.ar

RESUMEN

La soja como leguminosa simbiótica puede utilizar dos fuentes de N para construir su biomasa y rendimiento. Son pocas las cepas de referencia que se utilizan en la formulación de inoculantes y que tienen una larga trayectoria de evaluaciones tanto en condiciones controladas como en campo. Las nuevas cepas para inocular soja fueron buscadas de suelos con rizobios naturalizados y se fundamentaron en encontrar aislamientos con mayor eficiencia simbiótica para incrementar el N de origen biológico. Se realizaron ensayos en cámara de cultivo en vermiculita e invernáculo (en vermiculita y suelo con población de rizobios) para determinar la capacidad infectiva (nodular) y de eficiencia para fijar N, sumados el rendimiento de granos y los componentes relacionados. Las cepas 42-06A, 10-07 A y 10-07H junto a SEMIA5080 sobre vermiculita (invernáculo) tuvieron alto %NT (4,06; 3,97; 3,93 y 3,90% respectivamente). Además, 42-06A fue la que tuvo mayor N derivado de la FBN (+86%) y rendimiento de granos junto a 39-06C (+36% en promedio). Y sobre sustrato suelo 2 cepas de referencia tuvieron comportamientos destacado junto a 42-06A, 10-07A y 10-07H tanto en rendimiento de granos, número de granos y biomasa total. Mientras que SEMIA5080 tuvo respuestas intermedias salvo en el %FBN. Los aislamientos 42-06A, 10-07A y 10-07H fueron los que tuvieron altas respuestas a las variables simbióticas como %NT, %FBN y NdFBN como en el rendimiento y sus componentes (biomasa total y número de granos). Estas cepas junto a las de referencia deberían continuar los procesos de selección para verificar estas respuestas en condiciones de campo.

Palabras clave: Aislamientos, cepas, FBN, eficiencia simbiótica.

INTRODUCCION

La soja (*Glycine max* L.) es una leguminosa simbiótica de verano que establece una asociación mutualista eficiente básicamente con tres especies, *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *B. diazoefficiens*. Asimismo, la soja es el principal cultivo en Argentina (ciclo 2021-2022), con una superficie de siembra aproximada de 16,1 Mha con una producción estimada de 42,2 Tg. La soja comenzó a afianzarse como cultivo en nuestros esquemas de producción desde la década del 70 (Martínez Alvarez, 2012). Como es un cultivo introducido, también lo fueron sus rizobios específicos (*Bradyrhizobium* antes *Rhizobium*) comenzando así procesos de selección para nuestros ambientes de las cepas más apropiadas. En la década del 90 culminaron varios de estos procesos sugiriendo la recomendación de utilizar la cepa E109 de *B. japonicum* para inocular soja (Peticari, 1992). Estos estudios fueron realizados poniendo el foco en la producción y contenido de proteína de los granos (Benintende *et al*, 1997; Gómez *et al*, 1997; Brutti *et al*, 1998). Posteriormente, ante el surgimiento de la soja Roundup Ready (RR), fue necesario reevaluar las cepas con mejor comportamiento simbiótico de *B. japonicum* como E109 y SEMIA 5079 en ensayos de campo (Piccinetti *et al*, 2010). Paralelamente se realizaron nuevos procesos de selección que incluyeron la introducción de cepas, aislamientos y subcultivos (Al-



thabegoiti *et al*, 2008; López-García *et al*, 2009; Covelli, 2013; Pastorino, 2014, López *et al*, 2018). Sin embargo, no han logrado prevalecer sobre la cepa E109 en términos de uso ni tampoco como adicional en los formulados. Por lo cual, se inició un nuevo proceso de selección de cepas enfocado en la eficiencia simbiótica con aislamientos de rizobios naturalizados de lotes con historia de soja con el fin de mejorar la introducción de N biológico al sistema. Los objetivos de este trabajo fueron i) evaluar la capacidad infectiva de los rizobios aislados en condiciones controladas de cámara de crecimiento y ii) evaluar la eficiencia simbiótica para la fijación de N en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 37 aislamientos de suelo nodulantes de soja de diferentes sitios productivos argentinos en cámara de crecimiento. Estos aislamientos de rizobios se obtuvieron de muestras compuestas de suelo a diferentes profundidades de lotes productivos. Los aislamientos de rizobios se cultivaron en caldo de extracto de levadura manitol (ELM) (Vincent *et al*, 1970). Los inóculos tuvieron recuentos superiores a 5×10^8 unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC ml^{-1}). Las semillas de soja fueron desinfectadas. Se inocularon dos semillas germinadas con 1 ml de caldo y se cultivaron en macetas plásticas de 220 cm^3 con vermiculita estéril durante 30 días. Los cultivos fueron regados con solución Hoagland sin N (Hoagland y Arnold, 1938). Se realizaron dos ensayos utilizando un diseño al azar con dieciocho repeticiones para el primer ensayo y diez para el segundo. Las variables evaluadas fueron el número de nódulos en la raíz principal y en raíces laterales, número de nódulos totales por planta.

Se seleccionaron 4 aislamientos y se incluyeron 2 cepas de referencia internacional (SEMIA5079 de *B. japonicum*, y SEMIA5080 de *B. diazoefficiens*) más E109 (controles positivos) fueron evaluados en invernadero y conducidos hasta cosecha. Se utilizó un inoculante de base turba para inocular las semillas con un recuento mayor a 1×10^8 UFC g^{-1} de producto formulado. Se realizaron dos ensayos en paralelo: 1- con sustrato vermiculita estéril y 2- con sustrato suelo no estéril y con población de rizobios nodulantes de soja. Los tratamientos fueron cada cepa de rizobio más sus controles sin inocular. El diseño fue de bloques completos al azar con 9 repeticiones. El sustrato vermiculita se regó con solución Hoagland sin N, tres veces por semana; y el suelo sólo con agua.

Se evaluaron las variables de nodulación (número y peso seco) a los 48 días después de la siembra (DDS) y los 84 DDS. El contenido de clorofila con un medidor de clorofila SPAD-502 Plus (Konica Minolta) en tres momentos del ciclo de cultivo a los 48, 62 y 84 DDS sobre la primera hoja completamente expandida en la parte superior de la planta. Además, fueron evaluadas las variables productivas como peso seco, rendimiento de granos y sus componentes por planta, pero enfocados en el contenido de N en planta, el porcentaje de la Fijación Biológica de N (%FBN), el N derivado de la FBN. El %FBN se determinó utilizando el método de abundancia natural de ^{15}N (Shearer and Kolt, 1986) para lo cual se sembró maíz como planta control.

Se realizó el análisis de la varianza para uno y dos factores y la comparación de medias por el método DGS ($p < 0,05$) de infostat.

RESULTADOS Y DISCUSION

Cámara de cultivo

Todos los aislamientos fueron capaces de formar nódulos, es decir resultaron infectivos para las condiciones evaluadas. No se observaron diferencias significativas en el número y peso seco de nódulos en raíz principal. En cambio, en el número de nódulos por planta en raíces laterales 7 aislamientos (+67%, en promedio) resultaron significativamente superiores al resto y sólo uno para el total de nódulos por planta (+24%); mientras que 2 aislamientos tuvieron menor número de nódulos (-364%, en promedio), respecto de E109. En la figura 1 se observan los aislamientos que tuvieron una cantidad mayor de nódulos en raíces laterales y total por planta y los aislamientos remarcados fueron los seleccionados para evaluar en invernáculo.



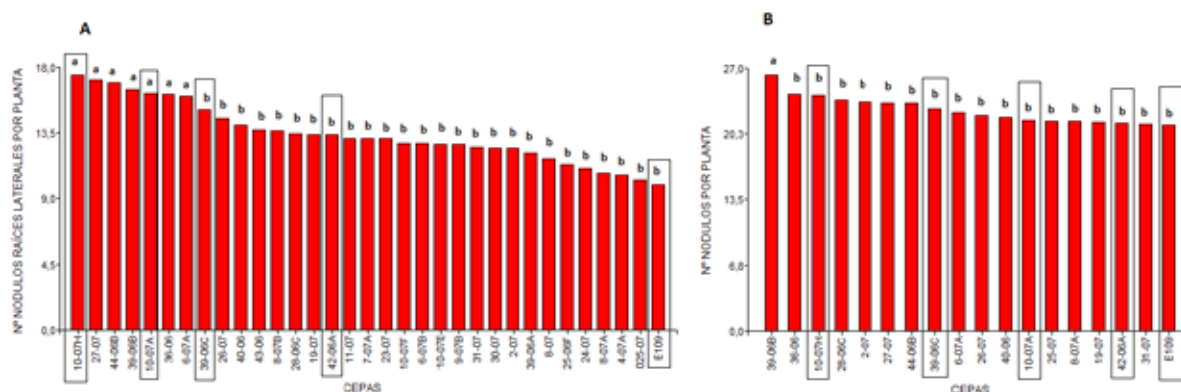


Figura 1: Capacidad de infección de los aislamientos de suelo y la cepa de referencia sobre soja. A: Número de nódulos en raíces laterales y B: Número de nódulos por planta. El recuadro marca las cepas que fueron seleccionadas para la evaluación en invernáculo.

Invernáculo

La evolución de la nodulación medida en dos estadios del ciclo (R4 y R6) fue diferente según el sustrato en magnitud y tendencia. Sobre vermiculita, todos los aislamientos y cepas de referencia tuvieron un incremento de un estadio a otro tanto en número como peso seco de nódulos. Sin embargo, la cepa E109 y el aislamiento 10-07H en sustrato suelo mantuvieron constante el número y la biomasa de nódulos por planta. Se observó que los aislamientos 42-06A y 10-07H sobre vermiculita junto a E109 fueron los que obtuvieron el mayor peso seco de nódulos en R6 con un 171% de incremento en promedio (Figura 2A-D).

La evolución del índice SPAD medidos en tres estadios del cultivo tuvieron dinámicas diferentes dependiendo del sustrato utilizado. Cuando el sustrato fue vermiculita la tendencia fue creciente a medida que avanzó el ciclo; en cambio, cuando el sustrato fue suelo tuvo un incremento inicial para decaer posteriormente, en este contexto las cepas E109 y 10-07H más el control sin inocular en R5 fueron significativamente inferiores al resto (Figura 2E-F).

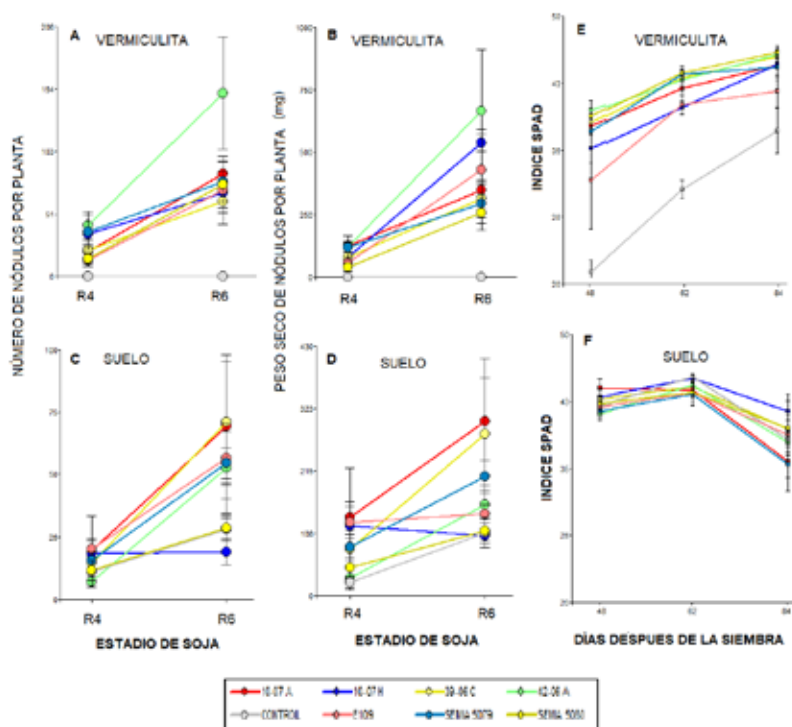


Figura 2: Evolución de la nodulación en dos estadios del ciclo el cultivo de soja. Número de nódulos por planta en sustrato vermiculita (A) y en sustrato suelo (C). Peso seco de nódulos por planta, en sustrato vermiculita (B) y en sustrato suelo (D). Evolución del contenido de clorofila utilizando el indicador SPAD, sobre sustrato vermiculita (E) y sobre sustrato suelo (F).

Los tratamientos inoculados con los aislamientos tuvieron mayores valores del contenido de N total con el sustrato vermiculita que con suelo, mientras que 42-06A fue el que tuvo mayor valor (4,06%), pero se observaron diferencias entre 42-06A, SEMIA5080, 10-07A y 10-07H respecto al resto en 7,7% en promedio (Figura 3A). El aislamiento 42-06A se diferenció del resto en la cantidad de N derivado de la FBN en un 86% (Figura 3B). En el rendimiento de granos por planta los valores más altos se observaron con el aislamiento 42-06A (13,2 g/pl) seguido por 39-06C y diferenciándose del resto en +56% en promedio (Figura 3C). Y en el número de granos por planta 42-06A con 41,7 granos/pl junto a SEMIA5080 (34.7 granos/pl) tuvieron los valores más altos que el resto (Figura 3D). Estos resultados sobre un sustrato inerte estéril permitieron determinar que las cepas de referencia como los aislamientos el potencial aporte de N biológico al cultivo sin interferencias de otras fuentes de N. Esta manera de encarar el proceso de selección fue diferente a las realizadas por Althabegoiti *et al* (2008) utilizando subcultivos más móviles de cepas de referencia o los de Covelli (2013) por diferentes capacidades de tolerancia a estreses abióticos y de eficiencia simbiótica de un área reducida de muestreo.

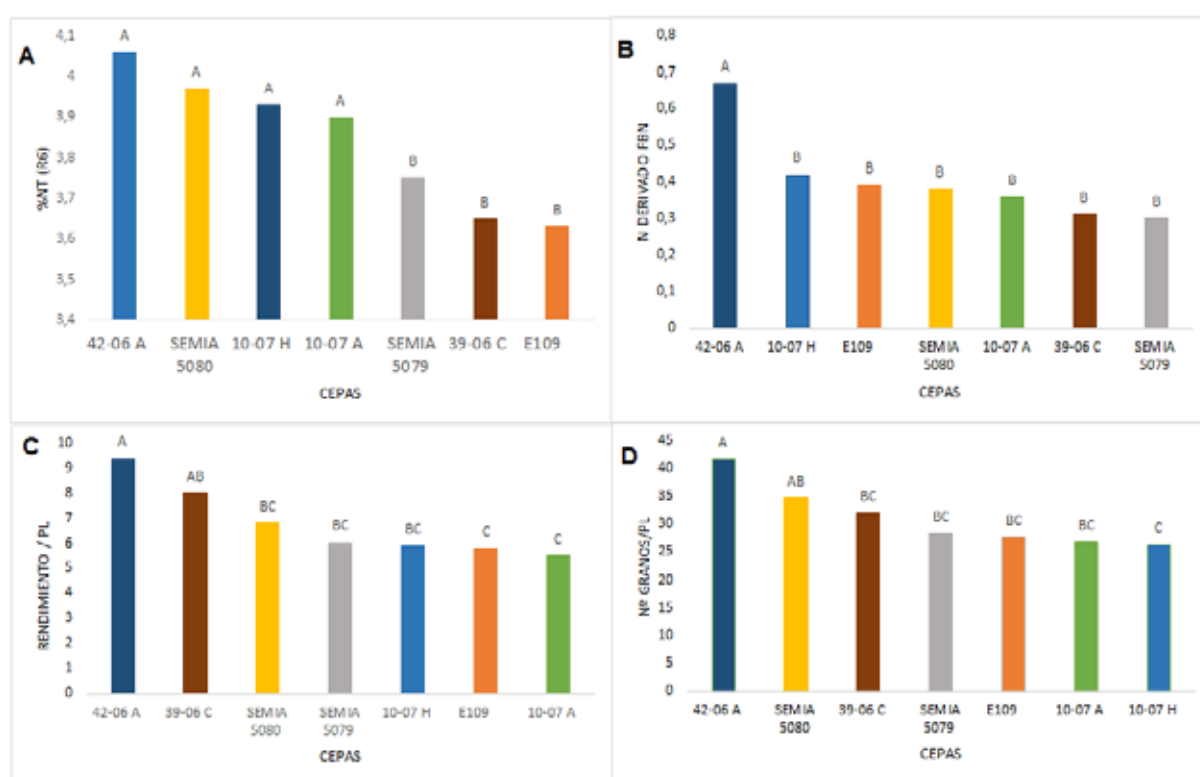


Figura 3: Respuestas de la inoculación de soja sobre vermiculita, A) contenido de N total de la biomasa aérea por planta, B) N derivado de la FBN, C) rendimiento por planta y D) número de granos por planta.

En el sustrato suelo se observaron diferencias significativas en el porcentaje de la FBN de plantas inoculadas, las 3 cepas de referencia fueron los más altos junto a 10-07A tuvieron en promedio los valores más altos (90,5%) (Figura 4A). En cambio, el aislamiento 42-06A (13,2 g/pl) tuvo el mayor rendimiento de granos por planta junto a E109, 10-07A, SEMIA5079 y 10-07H (11,6 g/pl) diferenciándose del resto entre ellas SEMIA5080 (Figura 4A). Adicionalmente, las mismas cepas con 42-06A (76 granos/pl) seguida por 10-07H (71 granos/pl) tuvieron mayor cantidad de granos por planta y también la mayor producción de biomasa por planta donde nuevamente 42-06A con 45,0 g/pl, seguida por E109 (42,4 g/pl) tuvieron los valores más altos (Figura 4C y 4D). Las respuestas observadas permitieron determinar que existen en los lotes con antecedentes del cultivo de soja inoculados posibilidades de encontrar rizobios naturalizados con alta capacidad de fijar N en simbiosis como los observados por Hungría *et al* (1996) evaluando las cepas SEMIA566 y derivadas eficientes entre ellas SEMIA5079 (o CPAC15) y la cepa cb809 y derivadas eficientes como SEMIA5080 (CPAC7).

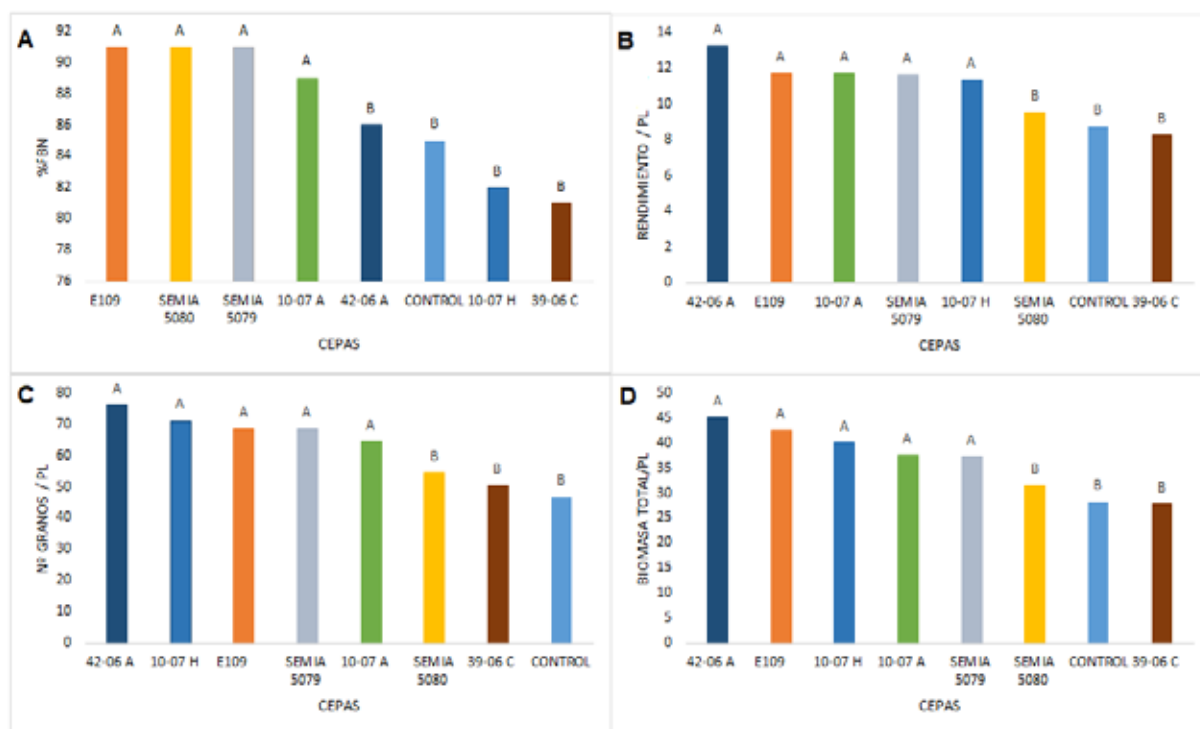


Figura 4: Respuestas de la inoculación de soja sobre suelo no estéril y con población de rizobios nodulantes, A) porcentaje de FBN, B) rendimiento por planta, C) número de granos por planta y D) biomasa total por planta.

CONCLUSIONES

En las condiciones del experimento las cepas de referencia E109 y SEMIA 5079 demostraron alta aptitud simbiótica. En cambio, fueron intermedios los valores determinados con SEMIA 5080. Los aislamientos 42-06A, 10-7H y 10-7A tuvieron un comportamiento destacado tanto por su eficiencia simbiótica como en el rendimiento de granos, no solo con la fuente biológica como única opción de adquirir N sino que también cuando el sustrato utilizado fue suelo. Estos 3 aislamientos junto a las 3 cepas de referencia deberán continuar el proceso de selección para convalidar estas respuestas en condiciones de campo.

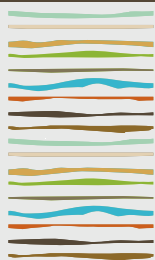
BIBLIOGRAFIA

- Althabegoiti, M. J., López-García, S. L., Piccinetti, C., Mongiardini, E. J., Pérez-Giménez, J., Quelas, J. I., and Lodeiro, A. R. (2008). Strain selection for improvement of *Bradyrhizobium japonicum* competitiveness for nodulation of soybean. *FEMS microbiology letters*, 282(1), 115-123.
- Benintende, S., Sanchez, C., Barbabianca, A., Basurco, J. P., y Perticari, A. (1997). Ensayos de campo de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* de eficiente comportamiento en arjudoles vérticos de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 1, 9-14.
- Brutti, L., Rivero, E., Basurco, J. C. P., Nicolàs, M., Iriarte, L., Abbiati, N., and Mårtensson, A. (1998). Persistence of *Bradyrhizobium japonicum* in arable soils of Argentina. *Applied Soil Ecology*, 10(1-2), 87-94.
- Covelli, J. M. (2013). Biofertilización con *Bradyrhizobium japonicum* para la agricultura sustentable: aspectos ecofisiológicos del problema de la competición para la nodulación (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Gómez, M., Silva, N., Hartmann, A., Sagardoy, M., and Catroux, G. (1997). Evaluation of commercial soybean inoculants from Argentina. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13 (2), 167-173.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnold (1938). The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.*, 357 (1938), pp. 1-39.
- Hungria, M., Nishi, C. Y. M., Cohn, J., and Stacey, G. (1996). Comparison between parental and variant soybean *Bradyrhizobium* strains with regard to the production of lipo-chitin nodulation signals, early stages of root infection, nodule occupancy, and N₂ fixation rates. *Plant and Soil*, 186(2), 331-341.



- López, S. M., Sánchez, M. D. M., Pastorino, G. N., Franco, M. E., García, N. T., and Balatti, P. A. (2018). Nodulation and delayed nodule senescence: strategies of two *Bradyrhizobium japonicum* isolates with high capacity to fix nitrogen. *Current microbiology*, 75(8), 997-1005.
- López-García, S. L., Peticari, A., Piccinetti, C., Ventimiglia, L., Arias, N., De Battista, J. J., and Lodeiro, A. R. (2009). In-furrow inoculation and selection for higher motility enhances the efficacy of *Bradyrhizobium japonicum* nodulation. *Agronomy Journal*, 101(2), 357-363.
- Martínez Álvarez, D. L. (2012). Historia de la soja en la Argentina: introducción y adopción del cultivo. *El cultivo de soja en Argentina*, 11-31.
- Pastorino, G. N. (2016). Diversidad de los rizobios que nodulan la soja en los suelos de la Pampa húmeda e identificación de cepas para la fabricación de inoculantes comerciales (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Peticari, A. (1992). Influencia de la aplicación de herbicidas comerciales sobre a simbiosis *Bradyrhizobium japonicum*-soja. Actas de la XVI Reunión Latinoamericana de Rhizobiología, Santa Rosa, La Pampa, noviembre de 1992.
- Piccinetti, C.; Díaz-Zorita, M.; Arias, N.; Ventimiglia, L. and Peticari, A. (2010). Soybean rizobia inoculation has a positive contribution to argentine grain production. ASA-CSSA-SSSA International 2010 Annual Meeting (31 Octubre – 3 Noviembre, 2010). Green Revolutions 2.0: Food + Energy and Environment Security. Long Beach, CA, USA. At-A-Glance. [FBN63257 Agronomy meetings 2010 vf.pdf](#).
- Shearer, G. and Kohl, D.H. (1986). N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13, 699–756.
- Vincent, J. M. (1970). A manual for the practical study of the root-nodule bacteria. A manual for the practical study of the root-nodule bacteria.





CALIBRACIÓN DE FÓSFORO OLSEN PARA MAÍZ Y SOJA EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA-BOLIVIA

Reussi Calvo, N.I.^{1,2*}, D. Cortez³, R. Trujillo³, A. Correndo⁴, W. Carciochi^{1,2}, F.O. Garcia^{1,5}

¹Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 de km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

²CONICET.

³ANAPQ.

⁴Kansas State University.

⁵Consultor.

*Ruta Provincial 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, nahuelreussicalvo@mdp.edu.ar

RESUMEN

El fósforo (P) es uno de los principales nutrientes que limita el rendimiento de los cultivos en la región de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia. Sin embargo, es escasa la información sobre umbrales críticos (UC) en suelo para el diagnóstico de deficiencias de P en maíz (*Zea Mays* L) y soja (*Glycine Max* (L.) Merr.). El objetivo del presente trabajo fue definir y comparar el UC de P por el método de Olsen para maíz y soja. Se realizaron un total de 20 experimentos de fertilización fosfatada (con y sin P) en maíz y 77 en soja en la zona de Santa Cruz de la Sierra, desde el año 2005 hasta 2021. Se determinó el contenido de materia orgánica, P Olsen y pH en el suelo presiembra (0-20 cm) y el rendimiento a cosecha. Se estimó el rendimiento relativo (RR) como la relación entre el rendimiento en grano del tratamiento testigo y del fertilizado con P. El umbral crítico (UC) fue calculado siguiendo el método del arcoseno-logaritmo. Se realizó un remuestreo ($n = 5000$) de los datos utilizando la técnica de *bootstrapping*. Los principales resultados fueron: i) la respuesta promedio al agregado de P en soja fue de 317 kg ha^{-1} (+13,9%) y en maíz de 672 kg ha^{-1} (+11,9%), ii) el UC fue de $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ($r=0,37$, $p=0,05$) y $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ($r=0,46$, $p<0,001$) para soja y maíz, respectivamente, y iii) la variabilidad estimada de los UC ($\sim 3\text{-}9 \text{ mg kg}^{-1}$) indica que ambos cultivos no difieren entre sí. Por lo tanto, la determinación de P Olsen en suelo es una herramienta promisorio para el diagnóstico de la fertilidad fosfatada y el desarrollo de modelos de recomendación para maíz y soja en Santa Cruz de la Sierra-Bolivia.

Palabras clave: diagnóstico, suelo, calibración.

INTRODUCCION

El diagnóstico de la fertilidad fosfatada para la producción de cultivos se basa principalmente en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial. El objetivo del análisis de suelo es estimar la capacidad de abastecimiento de fósforo (P) por medio de extractantes que simulan la absorción del cultivo o se relacionan con el rendimiento de los mismos (Sims, 2000; Havlin et al., 2005). Los extractantes más utilizados para esta determinación varían de acuerdo a características del suelo tales como pH y forma de P inorgánica dominante, siendo los más difundidos Bray-1 (Bray & Kurtz, 1945), Mehlich-1 (Mehlich, 1953), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) y Olsen (Olsen et al., 1954). En Bolivia, según el CIAT (Centro de Investigación de Agricultura Tropical), el extractante más difundido es Olsen (Terrazas et al., 2012), sin embargo, no hay registros de calibraciones locales que permitan definir los umbrales críticos (UC) para el cultivo de maíz y soja.

El UC para P varía según el extractante, la profundidad de muestreo, la textura del suelo, el método estadístico empleado para su definición y el cultivo (Correndo, 2018). Para la región pampeana Argentina, Sucunza et

al. (2018) determinaron que el UC para P mediante el método de Bray no varía para maíz y soja, siendo el mismo en promedio de $13,6 \text{ mg kg}^{-1}$. De igual manera, para el cinturón maicero de EE.UU. se considera un mismo rango óptimo de P extractable (Bray-1 o Mehlich-3, 0-15 cm) para ambos cultivos (Dodd & Mallarino, 2005). Como se mencionó, las variaciones en el UC pueden estar influenciados por el método de estimación (e.g., regresión por mínimos cuadrados, método de Cate-Nelson gráfico, o Cate-Nelson estadístico) entre otros factores. Trabajos recientes han propuesto el empleo del método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo *et al.*, 2017), el cual permite realizar comparaciones estadísticas entre calibraciones de redes o grupos de ensayos segregados en función de algún criterio específico (ej. cultivo). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue definir y comparar el UC de P Olsen para maíz y soja para la principal zona productora de granos de Bolivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas que van desde el invierno del año 2005 hasta invierno de 2021 se realizaron un total de 20 experimentos en maíz y 77 en soja bajo siembra directa en distintas localidades de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia (desde San Pedro en el norte, Okinawa en el centro a Cuatro Cañadas al este). Estos ensayos estaban incluidos en redes experimentales llevadas a cabo por Fundacruz (<http://www.fundacruz.org.bo>), CREA Santa Cruz Este (<https://creabolivia.org/crea-santa-cruz-este/>) y ANAPO (<https://anapobolivia.org>). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron 2 tratamientos correspondientes a un testigo sin P (0P) y un tratamiento con el agregado de 20 kg P ha^{-1} (cP). Se trabajó sin limitaciones de macronutrientes y micronutrientes para lo cual se aplicaron 100 kg ka^{-1} de nitrógeno (solo en maíz), 20 kg ha^{-1} de azufre y 50 kg ha^{-1} de potasio al voleo en superficie en la emergencia del cultivo bajo la forma de urea (46-0-0), fosfato monoamónico (11-52-0), sulfato de calcio (18% S; 23% Ca) y cloruro de potasio (50% K), respectivamente. Además, se realizó la aplicación de boro (B) y zinc (Zn) foliar en pre-floración/floración empleando el producto comercial Profol Productividad (concentración por kg: 22,5 g B y 67,5 g Zn). La dosis para cada nutriente se definió en función de recomendaciones zonales. Previo a la siembra de los cultivos se realizó un muestreo de suelo (0-20cm) para la determinación de materia orgánica (MO), pH (1:2,5) y P Olsen (Olsen *et al.*, 1954). A madurez fisiológica de los cultivos se determinó el rendimiento mediante la cosecha manual de 2 m^2 de cada unidad experimental. Se determinó el contenido de humedad (%) del grano y el rendimiento se expresó al 14,5% de humedad en maíz y 13,5% en soja.

El valor de rendimiento relativo (RR) se expresó como el cociente entre el rendimiento del testigo (0P) respecto del máximo rendimiento promedio observado (máximo = 100%). Para el análisis de datos, se utilizó el modelo denominado curva de calibración del arcoseno-logaritmo (ALCC, por sus siglas en ingles), originalmente propuesto por Dyson y Conyers (2013) y modificado por Correndo *et al.* (2017). Este método considera ambas variables, rendimiento y valor de análisis de suelo, como aleatorias y basa sus estimaciones en un modelo de regresión bivariado. Para ello se utilizó la función `mod_alcc` del paquete `soiltestcorr` (Correndo *et al.*, 2022) especificando el cálculo del umbral crítico para el 90% de rendimiento relativo. Para cada cultivo, maíz y soja, se realizó un remuestreo ($n = 5000$) de los datos utilizando la técnica de bootstrapping (Faraway, 2014) con el objetivo de obtener una distribución poblacional aproximada del umbral crítico de respuesta a P. De cada distribución se extrajeron los valores de mediana (quantil 0.5) como valor más probable, y límites inferior (quantil 0.025) y superior (quantil 0.975) como extremos del intervalo de confianza al 95%.

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido promedio de MO vario desde 1,1% hasta 3,9%, el valor de pH vario desde 4,8 hasta 8,0, mientras que la concentración de P Olsen vario desde 1 mg kg^{-1} hasta 59 mg kg^{-1} ; lo cual pone en evidencia el amplio rango de condiciones edáficas exploradas (Tabla 1). Estos valores se ubican dentro de los rangos citados para la región por otros autores (Viera, 2007; Terrazas *et al.*, 2012).

Para soja, el rendimiento promedio del tratamiento testigo fue de 2441 kg ha^{-1} , siendo el incremento promedio de rendimiento por efecto de la fertilización con P de 317 kg ha^{-1} (+13,9%). Para maíz, el rendimiento promedio fue de 5618 kg ha^{-1} y 6290 kg ha^{-1} para el tratamiento 0P y cP, respectivamente (Tabla 1). La respuesta promedio al agregado de P fue de 672 kg ha^{-1} (+11,9%). Trabajos previos realizados en la región en redes experimentales de Fundacruz en la región norte y CREA Santa Cruz Este en la región este de Santa



Cruz mostraron respuestas de similar magnitud en soja y maíz (Terrazas et al., 2012; C. Paz, com. personal).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las determinaciones de suelo (0-20 cm) previo a la siembra de los cultivos y rendimientos del tratamiento testigo (0P) y fertilizado(cP), en los diferentes sitios experimentales.

Estadístico	MO (%)	pH	P Olsen (mg kg ⁻¹)	Rendimiento 0P ----- (kg ha ⁻¹)----- -----	Rendimiento cP ----- (kg ha ⁻¹)----- -----
Soja (n= 77)					
Promedio	2,1	6,7	13	2441	2758
DE	0,9	0,7	14	594	650
Mínimo	1,1	4,8	1	1031	1238
Máximo	3,8	8,0	59	3983	4288
Maíz (n= 20)					
Promedio	2,2	6,9	15	5618	6290
DE	0,9	0,4	13	1567	2044
Mínimo	1,3	6,2	1	2918	3050
Máximo	3,9	7,7	48	7005	8644

En la Figura 1A se presenta la relación entre el RR de soja y la concentración de P Olsen en suelo. En función de la misma fue posible ajustar para el 90% de RR un UC de 5,1 mg kg⁻¹, siendo el comportamiento del modelo adecuado ($r=0,37$, $p<0,001$). El valor de P Olsen para el cuantil 2,5% y 97,5% fue de 3,7 mg kg⁻¹ y 6,7 mg kg⁻¹, respectivamente. Para maíz, el UC fue de 5,7 mg kg⁻¹ siendo la correlación del modelo ($r=0,46$, $p=0,05$) levemente mejor que para soja (Figura 1B). En maíz, el rango crítico para P Olsen vario desde 2,6 mg kg⁻¹ hasta 9,5 mg kg⁻¹. Los UC citados para P Olsen en diferentes regiones (Mallarino & Atia, 2005; Colomb et al., 2007) se ubican dentro del rango crítico definido en el presente estudio. No obstante, Correndo (2018) sugiere que los experimentos empleados para realizar calibraciones deberían contar con al menos un testigo y dos dosis de P, con dosis máximas altas (mayores a 30 kg de P ha⁻¹) para reducir la probabilidad de subestimar el rendimiento máximo o, en otras palabras, sobre-estimar el RR.

Si bien la función que relaciona el RR con el análisis de P Olsen en maíz está ligeramente desplazada hacia la derecha respecto de la soja (Figuras 1A y 1B), los UC de ambos cultivos no difirieron entre sí (**Figura 2**). Esto se explica por la superposición de los intervalos de confianza del UC, dado que maíz registró un IC95% = 2,6 – 9,5 mg kg⁻¹, mientras que soja registró un IC95% = 3,7 – 6,7 mg kg⁻¹. Cabe destacar que la mayor variabilidad del UC observada en maíz respecto de soja puede corresponderse con el menor número de experimentos disponibles para determinar la curva de calibración. A nivel práctico sería factible considerar un valor de UC único más probable alrededor de 5 mg kg⁻¹, dentro de un rango de variabilidad esperado entre 3 y 9 mg kg⁻¹ (**Figura 2**). Colomb et al. (2007), para el sudeste de Francia, reportaron un nivel crítico levemente mayor en soja (7,5 mg kg⁻¹) respecto a maíz (6,9 mg kg⁻¹), utilizando la función de ajuste de Mitscherlich. En Argentina, trabajando con P Bray⁻¹, Correndo (2018) determinó un UC de 10,8 mg kg⁻¹ para maíz y 10,0 mg kg para soja, siendo no significativa la diferencia entre ambos cultivos. Similares resultados fueron reportados por Sucunza et al. (2018). En Australia, Bell et al. (2013) tampoco detectaron diferencias significativas en los niveles críticos de P Colwell (0-10 cm) entre maíz y soja.

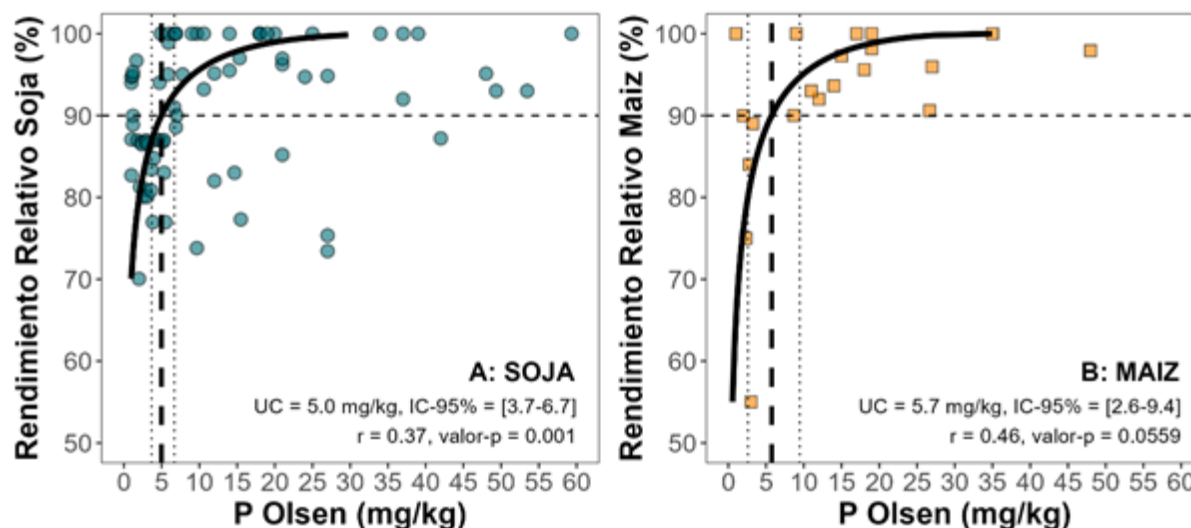


Figura 1. Rendimiento relativo de soja (A) y maíz (B) en función de la concentración de P Olsen (0-20cm) en suelo. Las líneas verticales punteadas indican el nivel crítico para el 90% de rendimiento relativo con su respectivo intervalo de confianza (95%).

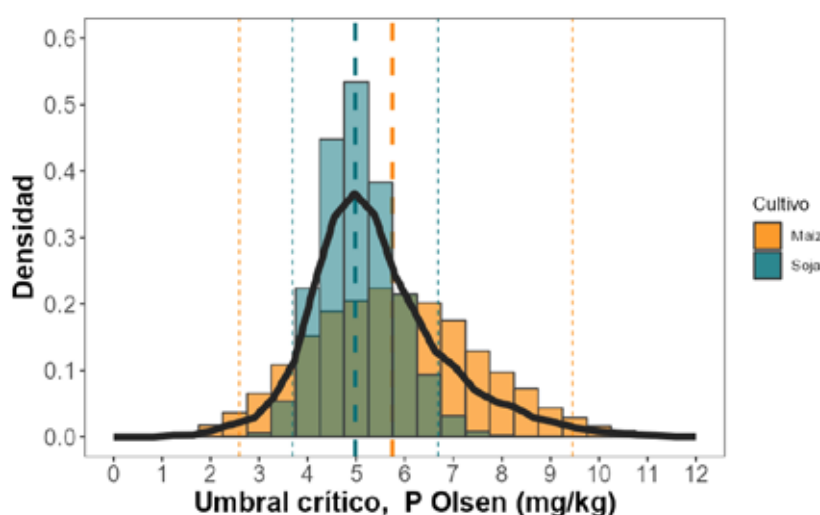


Figura 2. Variabilidad esperada del umbral crítico de concentración de P Olsen (0-20cm) en suelo para lograr 90% del rendimiento relativo en soja (verde) y maíz (naranja). Para cada cultivo, las líneas verticales punteadas indican el nivel crítico para el 90% de rendimiento relativo con su respectivo intervalo de confianza (95%) obtenido a través de la técnica de bootstrapping ($n = 5000$). La curva sólida negra indica la distribución conjunta de umbrales críticos para ambos cultivos.

CONCLUSIONES

Para la región de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia, se concluye que la determinación de P Olsen en suelo permite diagnosticar las deficiencias de fósforo en maíz y soja. Si bien el umbral crítico fue levemente mayor para maíz ($5,8 \text{ mg kg}^{-1}$) respecto a soja ($5,1 \text{ mg kg}^{-1}$), la diferencia no fue significativa. Esto representa una ventaja al momento de la interpretación y, por lo tanto, de la adopción por parte de los productores y asesores del análisis de suelo como herramienta básica para el diagnóstico de la fertilidad fosfatada y el desarrollo de modelos de recomendación en cultivos extensivos. Futuras investigaciones deberán complementar el análisis estudiando los efectos de otros factores adicionales como el potencial de rendimiento, y el tipo de suelo, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

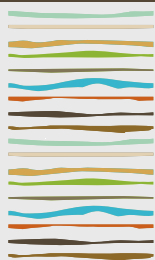
Los autores agradecen a la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), el grupo CREA Santa Cruz Este y la Fundación de Desarrollo Agrícola Santa Cruz (Fundacruz) por facilitar los datos de las redes experimentales y a los dueños, asesores y personal de los establecimientos donde se realizaron los ensayos.



BIBLIOGRAFIA

- Bray, RH & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *J. Soil Sci.* 59:360-361.
- Bray, RH. 1954. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.* 78 (1):9-22.
- Bell, MJ; PW Moody; GC Anderson & W Strong. 2013. Soil phosphorus—crop response calibration relationships and criteria for oil-seeds, grain legumes and summer cereal crops grown in Australia. *Crop and Pasture Science* 64:499–513. <http://dx.doi.org/10.1071/CP12428>
- Colomb, B; P. Debaeke; C. Jouany & J.M. Nolot. 2007. Phosphorus management in low input stockless cropping systems: crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. *Eur. J. Agron.* 26, 154–165.
- Correndo, AA; F Salvagiotti; FO García & FH Gutiérrez Boem. 2017. A modification of the arcsine-log calibration curve for analysing soil test value-relative yield relationships. *Crop and Pasture Science* 68 (3): 297-304. <https://doi.org/10.1071/CP16444>.
- Correndo, AA. 2018. Variables asociadas a la respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en maíz y soja en region pampeana. Tesis de Magister FAUBA, 165 pag.
- Correndo, AA; A Pearce; D Osmond & IA Ciampitti. 2022. soiltestcorr: Soil Test Correlation and Calibration. R package version 2.1.2. <https://cran.r-project.org/package=soiltestcorr>
- Dyson, CB & MK Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test-crop response datasets. *Crop & Pasture Science* 64: 435–441.
- Dodd, JR & AP Mallarino. 2005. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69(4):1118–1128.
- Faraway, JJ. 2014. Linear models with R. Chapman & Chapman (2nd edition), Hall/CRC Press, NY. USA (2014). 270 pp. ISBN 9781439887332.
- Havlin, J; J Beaton; S Tisdale & W Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, EE.UU. 7a. edición. 515p.
- Mallarino, AP & AM Atia. 2005. Correlation of a resin membrane soil phosphorus test with corn yield and routine soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 266-272.
- Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. North Carolina Soil Testing Div., Raleigh.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractants: A modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- Olsen, SR; CV Cole; FS Watanabe & LA Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.
- Sims, JT. 2000. Soil fertility evaluation. En M.E. Sumner (ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton, FL. pp.113-153.
- Sucunza, FA; FH Gutiérrez-Boem; FO García; M Boxler & G Rubio. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Europ. J. Agronomy*, 96 (2018): 87-95.
- Terrazas, J; G Guaygua; E Juárez & FO García. 2012. Respuesta a la fertilización en cultivos de las planicies del este de Bolivia. Actas CD XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Argentino de la Ciencia del Suelo. AAC-SLCS. Mar del Plata, Argentina. ISBN 978-987-1829-11-6.
- Viera MS. 2007. Manejo sostenible del recurso suelo en las áreas Integrada y de expansión del trópico húmedo. CIAT-ANAP. Presentación al Simposio Vidas 2007. Fundacruz. Santa Cruz de la Sierra. Octubre 2007.





NUTRICIÓN BALANCEADA PARA MAÍZ Y SOJA EN SANTA CRUZ DE LA SIERRA-BOLIVIA

Reussi Calvo, N.I.^{1,2*}, D. Cortez³, R. Trujillo³, W. Carciochi^{1,2}, F.O. García^{1,4}

¹Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta Nac. 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

²CONICET. ³ANAPQ.

⁴Consultor.

* Ruta Provincial 226, km 73,5, (7620) Balcarce, Prov. de Buenos Aires, nahuelreussicalvo@mdp.edu.ar

RESUMEN

La nutrición balanceada (NB) es uno de los principales factores para reducir las brechas de rendimiento de los cultivos extensivos en Sudamérica. En Santa Cruz de la Sierra-Bolivia, no hay registros de trabajos donde se evalué el efecto de la NB sobre el rendimiento, concentración y nivel de extracción de nutrientes en grano. El objetivo del presente trabajo fue i) evaluar el efecto de la NB sobre el rendimiento y la concentración de nutrientes en grano y ii) determinar el nivel de remoción de nutrientes para maíz y soja. Se realizaron un total de 10 experimentos en maíz y 16 en soja en Santa Cruz de la Sierra. Los tratamientos fueron i) testigo y ii) nitrógeno, fósforo, azufre, potasio y micronutrientes (NB). Se determinó la concentración de macro y micronutrientes en suelo y grano, y el rendimiento a cosecha. Los principales resultados fueron: i) la NB incrementó el rendimiento de maíz en 871 kg ha⁻¹ (23,5%; p<0,05), mientras que en soja se observó una tendencia de incremento de 228 kg ha⁻¹ (9,7%; p>0,05), sin afectar la concentración de nutrientes en grano (p>0,05) y ii) en ambos cultivos, la remoción de nutrientes fue explicada por el rendimiento del cultivo (p<0,05) y no por la concentración en grano (p>0,05). Por lo tanto, la NB permitiría reducir las brechas de rendimiento de maíz y, en menor medida, de soja en Santa Cruz de la Sierra. Además, los valores de remoción de nutrientes podrían ser utilizados como referencia local para la estimación de balances de nutrientes en soja y maíz.

Palabras clave: macronutrientes, micronutrientes, grano.

INTRODUCCION

La intensificación de la agricultura, sumada a la elevada extracción y la baja reposición tanto de macronutrientes como de micronutrientes, ha provocado una marcada disminución de la fertilidad actual de la mayoría de los suelos (García *et al.*, 2018). Sumado a esto, la deficiencia de nutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg) y/o potasio (K), también afectaría el pH y las propiedades físicas de los suelos, debido a su rol en la formación y estabilización de agregados (Vázquez *et al.*, 2010). Esto se ve reflejado en parte en las brechas de rendimiento (diferencia de rendimiento entre el promedio del productor y el potencial en secano) determinadas para diferentes cultivos que van desde 30% al 45% en Sudamérica (Arumburu Merlosa *et al.*, 2015; Rizzo *et al.*, 2021). En este contexto, la nutrición balanceada (NB) sería uno de los aspectos a considerar con el objetivo de reducir dichas brechas (Arumburu Merlosa *et al.*, 2015). Para Argentina, trabajos realizados en la región pampeana han determinado aportes de la NB al rendimiento de los cultivos desde el 36% al 45% en maíz (*Zea mays* L.) y desde el 19 al 22% en soja [*Glycine max* (L.) Merr.] (Correndo *et al.*, 2015). Santa Cruz de la Sierra es una de las principales zonas productoras de granos de Bolivia (96% del total de producción de soja y 56% del maíz), sin embargo, son escasos los trabajos donde se evalué la contribución de la NB al rendimiento de los cultivos y su efecto sobre la concentración de nutrientes en grano (Terrazas *et al.*, 2012).



En la actualidad, existen diferentes metodologías de diagnóstico mediante las cuales es posible estimar requerimientos, respuestas o probabilidad de respuesta a los nutrientes. Para todas ellas, la calibración local es una característica deseada para mejores recomendaciones. El análisis de grano permitiría caracterizar la disponibilidad de nutrientes que tuvo el cultivo y ser base para la cuantificación del nivel de extracción y, por ende, la elaboración de balances de nutrientes en los cultivos (Sainz Rozas *et al.*, 2019). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue i) evaluar el efecto de la NB sobre el rendimiento y la concentración de nutrientes en grano y ii) determinar el nivel de remoción de nutrientes para maíz y soja en Santa Cruz de la Sierra- Bolivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas de verano 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021 se realizaron un total de 10 experimentos en maíz y 16 en soja bajo siembra directa en distintas localidades de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia (desde San Pedro en el norte, Okinawa en el centro a Cuatro Cañadas al este). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron 2 tratamientos correspondientes a un testigo y un tratamiento de nutrición balanceada. Este tratamiento consistió en la aplicación de nitrógeno (N) (solo en maíz), fósforo (P), azufre (S), y K al voleo en superficie en emergencia del cultivo bajo la forma de urea (46-0-0), fosfato monoamónico (11-52-0), sulfato de calcio (18% S; 23% Ca) y cloruro de potasio (50% K), respectivamente. Además, se aplicó Mg, B, Cu, Mn y Zn vía foliar en pre-floración/ floración empleando el producto comercial Profol Productividad (concentración por kg: 22,5 g B, 7.5 g Cu, 30 g Mg, 210 g Mn, y 67,5 g Zn). La dosis para cada nutriente se definió en función de recomendaciones zonales. Se realizó un análisis de suelo a la siembra de los cultivos con la finalidad de caracterizar cada sitio (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las determinaciones de suelo (0-20 cm) previo a la siembra de los cultivos en los diferentes sitios experimentales.

Es- tadístico	MO (%)	pH	P Ol- sen (mg kg ⁻¹)	Ca [#] --(cmol _c kg ⁻¹)--	Mg	K	S-SO ₄ ⁻² ------(mg kg ⁻¹)-----	Cu*	Fe	Mn	Zn	B
Soja												
Prome- dio	2,1	6,7	19	5,0	2,8	0,6	15	0,7	29	24	2,0	0,4
DE	0,9	0,7	18	2,2	1,2	0,5	16	0,5	20	19	1,2	0,2
Mínimo	1,2	4,8	1	1,5	0,8	0,1	1	0,2	2	4	0,6	0,2
Máximo	3,8	7,7	62	9,3	5,3	2,0	59	2,0	93	80	7,6	0,8
Maíz												
Prome- dio	2,2	6,9	15	5,4	2,7	0,5	8	1,0	30	33	1,7	0,3
DE	0,9	0,4	13	2,3	1,1	0,2	5	0,6	24	23	0,9	0,1
Mínimo	1,3	6,2	2	1,5	0,8	0,2	1	0,2	2	2	0,5	0,1
Máximo	3,9	7,7	52	11,9	5,5	1,0	22	1,9	83	64	3,1	0,4

[#]Extracciones de Ca, Mg y K con acetato de amonio 1N a pH 7; *Extracciones de B con agua caliente y de Cu, Fe, Mn y Zn con DTPA.

A madurez fisiológica de los cultivos se determinó el rendimiento mediante cosecha manual de 2 m² de cada parcela. El N en grano se cuantificó mediante método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), mientras que la concentración de P, Ca, Mg, K y micronutrientes se determinó mediante digestión húmeda con su posterior lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica (Zasoski & Burau, 1977).

Para cada nutriente en suelo y grano se calcularon las siguientes estadísticas descriptivas: el promedio, el desvío estándar (DE), los valores mínimos y máximos para ambos cultivos. Para la comparación de medias entre tratamientos se utilizó el test t por medio del paquete estadístico R (R Core Team, 2014). También, se



realizaron análisis de regresiones lineales simples empleando el procedimiento lm (lineal model) de dicho programa, para explicar la relación entre la extracción de nutrientes en grano con el rendimiento del cultivo y/o concentración.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones edafoclimáticas

Las precipitaciones durante las campañas de invierno variaron desde 190 mm hasta 743 mm, mientras que en verano desde 499 mm hasta 1644 según sitio y/o año. En algunos sitios, tanto el déficit como el exceso hídrico típico de la zona de influencia de Santa Cruz de la Sierra pudo haber limitado la respuesta al agregado de nutrientes.

Los valores promedio para las diferentes determinaciones de suelo (Tabla 1) se ubican dentro de los rangos citados para la región (Viera, 2007). Salvo para el caso del B, en general, los contenidos se encuentran por encima de los niveles críticos citados en la literatura internacional. Sin embargo, considerando los valores mínimos sería esperable determinar respuesta al agregado de P y/o Mg y/o S y/o Cu y/o Zn en alguno de los sitios experimentales. En general, las zonas de San Pedro y Okinawa se caracterizaron por menores valores de P, S, K y Mg mientras que en Cuatro Cañadas los niveles fueron menores para S, Cu y Zn. Por último, considerando el bajo contenido de MO de todos los experimentos es esperable determinar respuesta en rendimiento al agregado de N en maíz.

Rendimiento y concentración de nutrientes en grano

El rendimiento del cultivo de soja varió desde 1056 hasta 3814 kg ha⁻¹ según sitio/año. No se determinó interacción significativa entre sitio y tratamiento en el rendimiento del cultivo. Se observó cómo tendencia un incremento de 228 kg ha⁻¹ (9,7%) por efecto de la NB (Figura 1). Para el caso de maíz, el rendimiento del cultivo varió desde 2673 hasta 7557 kg ha⁻¹ según sitio/año. Se determinó diferencia significativa en el rendimiento del cultivo por efecto de la NB, siendo la respuesta promedio de 871 kg ha⁻¹ (23%). Trabajos previos realizados en la región en redes experimentales de Fundacruz en la región norte de Santa Cruz mostraron respuestas de hasta 21% en maíz (NPS) y 26% en soja (PS) (Terrazas *et al.*, 2012).

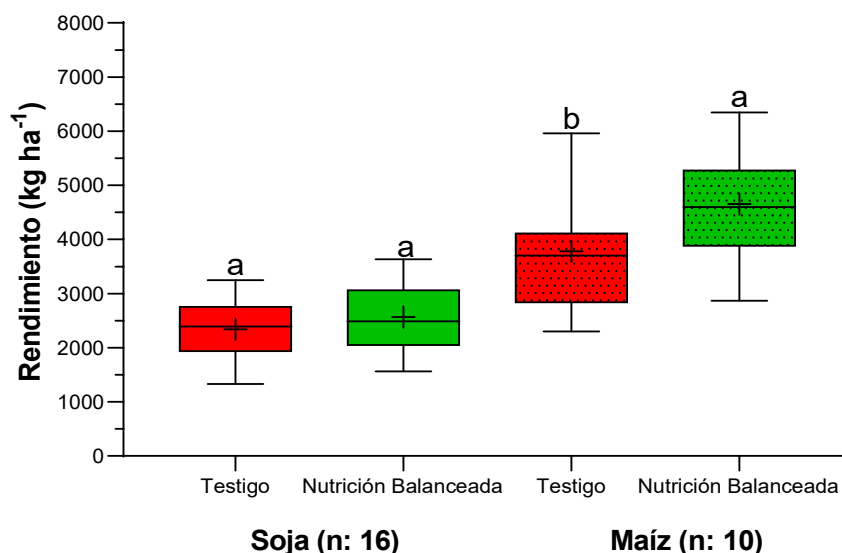


Figura 1. Rendimientos promedio de soja y maíz para los tratamientos sin fertilizar (Testigo) y nutrición balanceada. Las barras verticales indican los percentiles 10% y 90%, las cajas los percentiles 25% y 75%, la línea horizontal la mediana, y el signo "+" indica la media. Para cada cultivo, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de fertilización.

No se determinó interacción significativa entre sitio y tratamiento ni hubo efecto puro de la NB sobre la concentración de macro y micronutrientes en grano. Para soja, la concentración promedio fue de 6,3%, 0,53%, 1,7%, 0,41%, 0,29%, 0,34%, 17,5 mg kg⁻¹, 195 mg kg⁻¹, 31 mg kg⁻¹, 49 mg kg⁻¹ y 31 mg kg⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn y B, respectivamente. Para maíz, las mismas fueron de 1,6%, 0,26%, 0,42%, 0,04%, 0,11%, 0,9%, 10,2 mg kg⁻¹, 45 mg kg⁻¹, 5 mg kg⁻¹, 29 mg kg⁻¹ y 4 mg kg⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn y B, respectivamente. En general, los valores de concentración en grano de soja son similares a los reportados por Diovisalvi *et al.* (2021) y se ubicaron por encima de los citados como críticos en la bibliografía. Las concentraciones de nutrientes en grano de maíz son similares para N, algo menores para P, S y Mg y mayores para K a las reportadas por Ciampitti *et al.* (2013a y b). Por otra parte, son levemente mayores para Ca, B, y Cu, levemente menores para Mg, y similares para Fe, Mn y Zn, según Bender *et al.* (2013) y Ciampitti *et al.* (2013b). Solo para S en maíz, la concentración estuvo por debajo del umbral crítico de 0,11% (Carciochi *et al.*, 2019). Por otra parte, la concentración de nutrientes en grano no fue afectada por el rendimiento del cultivo de maíz y soja (Figura 2). En un relevamiento de lotes de producción de soja de la región pampeana, Diovisalvi *et al.* (2021) tampoco observaron relación entre dichas variables.

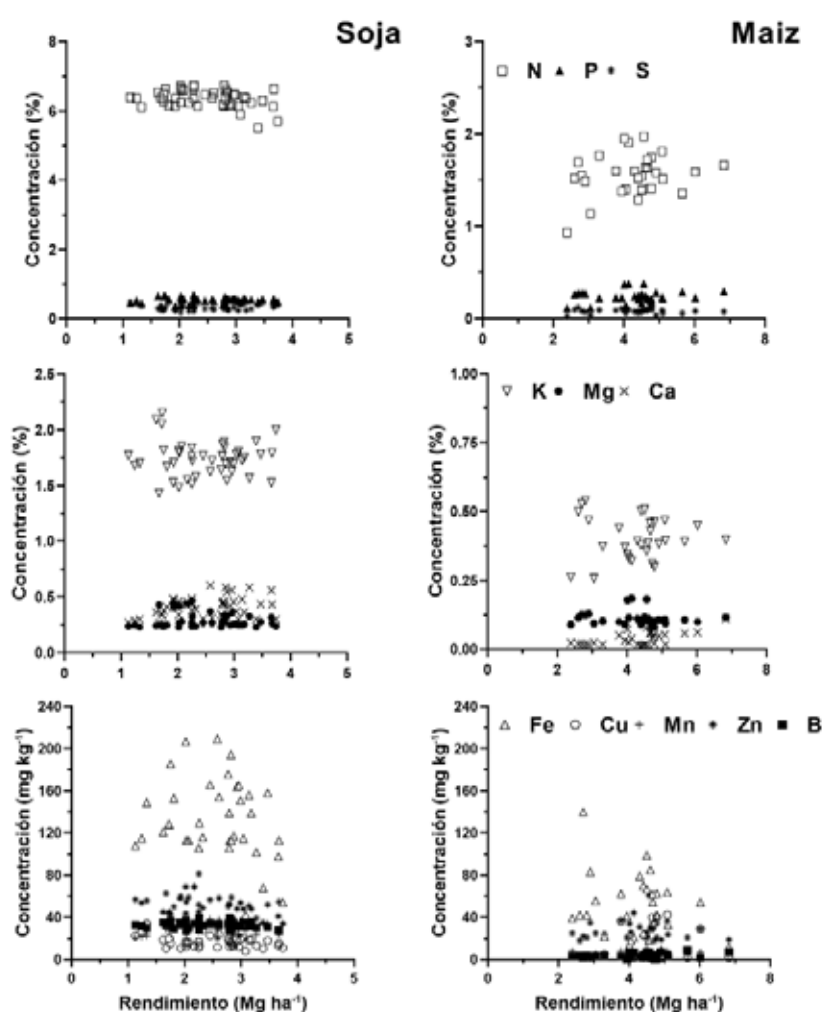


Figura 2. Concentración de nutrientes en grano de soja y maíz en función del rendimiento del cultivo para los diferentes sitios experimentales.

Remoción de nutrientes en grano

La remoción de nutrientes en grano de maíz y soja fue explicada por el rendimiento del cultivo (Figura 3). Para soja, las pendientes de la Figura 3 indican que la remoción de nutrientes fue del orden de 55, 4.9, 14.9, 3.8, 2.5 y 2.9 kg de N, P, K, Ca, Mg y S por tonelada de grano, respectivamente. La remoción de micronutrientes

fue de 28, 15, 27 y 42 g de B, Cu, Mn y Zn por tonelada de grano, respectivamente. Las remociones de soja son similares a las reportadas por Salvagiotti *et al.* (2021) para N, P, K y S y por Diovisalvi *et al.* (2021) para micronutrientes. De la misma manera, las pendientes de la Figura 3 indican que, para maíz, la remoción de nutrientes fue del orden de 13, 2.1, 3.6, 0.4, 0.9 y 0.7 kg de N, P, K, Ca, Mg y S por tonelada de grano, respectivamente. La remoción de micronutrientes de maíz fue de 4, 5 y 25 g de B, Mn y Zn por tonelada de grano, respectivamente. Estos valores de remoción de nutrientes para soja y maíz constituyen información local de Santa Cruz que podría ser utilizada de referencia en el desarrollo de recomendaciones de fertilización.

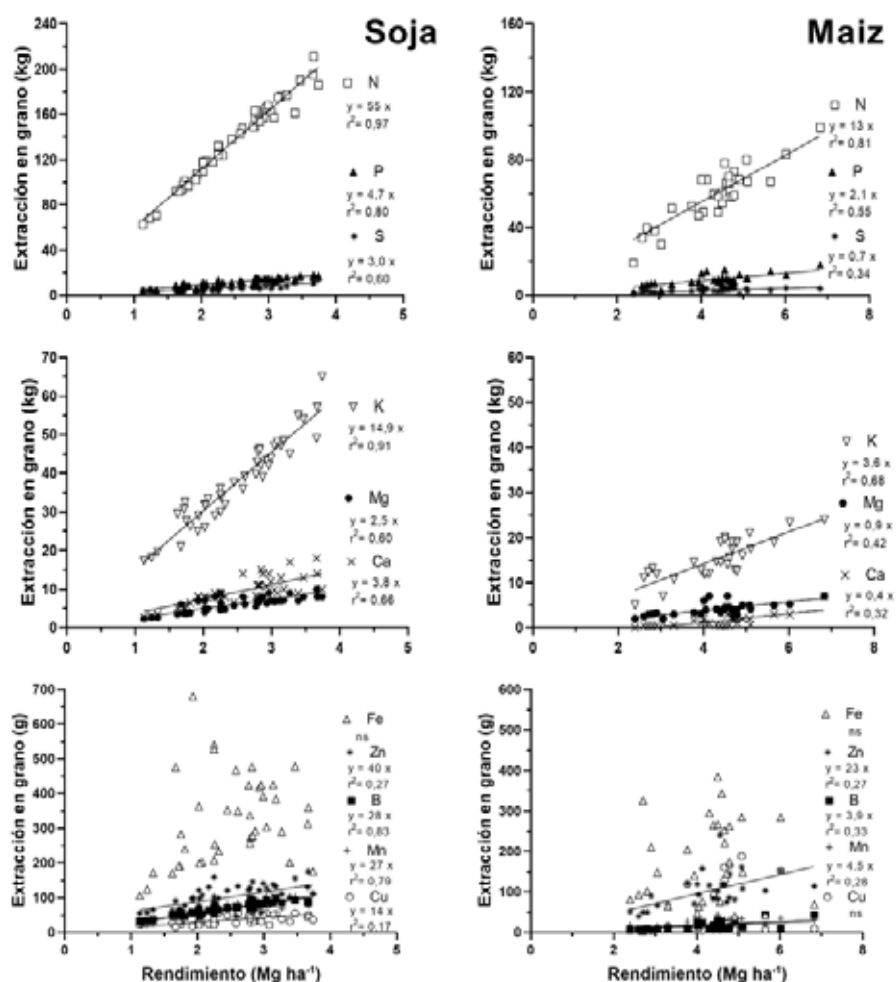


Figura 3. Extracción de nutrientes en grano de soja y maíz en función del rendimiento del cultivo para los diferentes sitios experimentales.

CONCLUSIONES

La nutrición balanceada permitió reducir las brechas de rendimiento de maíz (23,5%) y, en menor medida, de soja (9,7%) en Santa Cruz de la Sierra. La extracción de nutrientes en grano fue explicada por el rendimiento del cultivo, donde los valores de remoción de nutrientes podrían ser utilizados como referencia local para la estimación de balances en soja y maíz.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO) por el financiamiento y a los dueños y personal de los establecimientos donde se realizaron los ensayos.

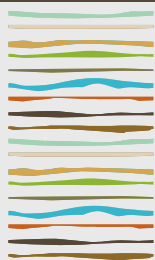
BIBLIOGRAFIA

Aramburu Merlos, F; JP Monzon; JL Mercu; M Taboada; FH Andrade; AJ Hall; E Jobbagy; KG Cassman & P Grassini. 2015. Potential for



- crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*. 184, 145-154.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. In: Page, A.L. (eds). *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties*. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. Agron. Monog 9, pp. 595-624.
- Ciampitti, I & T Vyn. 2013a. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: II. Calcium, Magnesium, and Micronutrients. *Agron. J.* 105:1645–1657.
- Ciampitti, I; J Camberato; S Murrell & T Vyn. 2013b. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. *Agronomy Journal* 105: 783-795. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0467>
- Correndo AA; M Boxler; & FO García. 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 33(2):197-212.2015.
- Diovisalvi, NV; NI Reussi Calvo; M Boxler & F Garcia. 2021. Relevamiento de bases y micronutrientes en lotes de producción de soja. *Ciencia del Suelo* 39 (1): 64-79.
- García, FO; A Grasso; MF González Sanjuan; A Correndo & F Salvagiotti. 2018. Connecting Crop Nutrient Use Efficiency to Future Soil Productivity. *Better Crops* 102(4): 8-10.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Versión 3.1.2. <http://www.R-project.org> (accessed 10.05.14).
- Rizzo, G; JP Monzon & O Ernst 2021. Cropping system-imposed yield gap: Proof of concept on soybean cropping systems in Uruguay. *Field Crops Research* 260 (2021) 107944. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107944>
- Sainz Rozas, H; 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. En: *Simposio Fertilidad 2019*. Fertilizar, Rosario, Mayo 2019.
- Salvagiotti, F; L Magnano; O Ortez; J Enrico; M Barraco; P Barbagelata; A Condori; G Di Mauro; A Manlla; J Rotundo; FO García; M Ferrari; V Gudelj & I Ciampitti. 2021. Estimating nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur uptake and requirement in soybean. *European Journal of Agronomy*, Volume 127, 126289. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126289>.
- Terrazas, J; G Guaygua; E Juárez & FO García. 2012. Respuesta a la fertilización en cultivos de las planicies del este de Bolivia. *Actas CD XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Argentino de la Ciencia del Suelo*. AACS-SLCS. Mar del Plata, Argentina. ISBN 978-987-1829-11-6.
- Vázquez, M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; P Gelati; PF Guilino; J García Díaz; J Kostiria & M García. 2010. Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en ámbitos templados argentinos. *Ci. Suelo*, 28(2).
- Viera MS. 2007. Manejo sostenible del recurso suelo en las áreas Integrada y de expansión del trópico húmedo. CIAT-ANAO. Presentación al Simposio Vidas 2007. Fundacruz. Santa Cruz de la Sierra. Octubre 2007.
- Zasoski, RJ & RG Burau. 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multielement tissue analysis. *Common Soil. Sci. Plant Analyzis*. Vol 3:425-436.





EVALUACIÓN DE UN DIGERIDO PORCINO COMO FERTILIZANTE EN UN CULTIVO DE FRUTILLA BAJO INVERNACULO

Riera¹, N.; E. Rubio², P. Rizzo³, P. Bres¹, M. Karlanian², N. Ruiting⁴, Y. Long⁴, M. Beily¹

¹Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. INTA CNIA;

²Instituto de Floricultura. INTA CNIA.

*De Los Reseros y Repetto s/n, (1686) Hurlingham, Prov. De Buenos Aires.

³Estación Experimental de INTA (EEA) Luján de Cuyo, Mendoza.

*San Martín N° 3853 (5507) Luján de Cuyo, Mendoza.

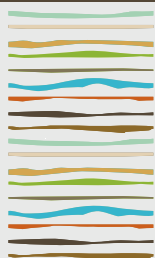
⁴BioGas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs (BIOMA).

*Section 4-13, Renmin Nan Road, Chengdu, P.R China. riera.nicolas@inta.gob.ar

La digestión anaerobia de efluentes porcinos ha crecido en las últimas décadas, principalmente debido a la producción de biogás como energía renovable. Sin embargo, la sostenibilidad de esta tecnología, también depende del uso apropiado del material digerido para ser utilizado como biofertilizante. El objetivo del presente trabajo fue valorizar agrónomicamente un digerido porcino (DP) para su utilización como fertilizante en un cultivo de frutilla bajo invernáculo. El ensayo constó de cinco tratamientos, por triplicado, con diferentes dosis de DP en sus dos fracciones (sólida, DPS y líquida, DPL). Las dosis planteadas fueron: T0: sin agregado de DP y de 0,5; 10; 20; 40 y 80 g de nitrógeno por m², para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente. Se plantearon 18 unidades experimentales, con una superficie total por parcela de 1.5 m². Inicialmente se aplicó DPS, correspondiente al 30% del NT del tratamiento. Luego de 7 días, se realizó la aplicación del DPL, correspondiente al 70% restante del NT. El DPL, se distribuyó en 5 momentos diferentes correspondientes a distintos momentos del desarrollo del cultivo. Luego de una semana se tomaron las muestras correspondientes al muestreo inicial del suelo. Por último, se procedió a la implantación de los plantines de frutilla (variedad San Andrés). Al finalizar el cultivo, se realizó el muestreo final del suelo y se evaluaron, por métodos de referencia, diferentes parámetros físico químicos. Además, en las plantas, se evaluó el contenido de clorofila (SPAD) foliar y el contenido de azúcar en el fruto. El DPL presentó la siguiente composición: pH: 8,1±0,0; conductividad eléctrica (CE): 30,1±0,1 dS.m⁻¹; y en g.L⁻¹: materia orgánica (MO):14,7±0,6; nitrógeno total (NT): 4,9±0,0; amonio (N-NH₄⁺): 3,6±0,0 y fósforo total (PT): 0,2±0,0. En g.Kg⁻¹ (peso seco): Ca: 8,1±1,1; K: 99,6±3,7; Mg: 6,1±0,9; Na: 45,6±1,5; Cu: 44,8±0,9 y Zn: 1784,0±34,2. Así mismo, las características del DPS fueron: pH: 8,9±0,3; CE: 3,8±0,3 dS.m⁻¹. En g.Kg⁻¹ (base húmeda): MO: 301,5±87,2; NT: 9,0±0,2; N-NH₄⁺: 1,2±0,0. En g.kg⁻¹ (peso seco): PT: 43,9±2,8; Ca: 13,8±1,7; K: 18,9±3,4; Na: 14,1±1,7; Zn: 1,1±0,1; Cu: 0,3±0,0. Los resultados en el suelo inicial mostraron, luego de la aplicación de DP, un incremento significativo en el T5 para MO, P disponible, nitratos, NT, potasio extractable, capacidad de intercambio catiónico, Ca y Cu (p<0.05). Así también, se observó un incremento significativo del Zn en el T4. Por otro lado, se observó un incremento significativo en el contenido de azúcar en el fruto para los tratamientos con aplicación de DP, con respecto al T0 (p<0.05), mientras que no se observaron diferencias significativas respecto al contenido de clorofila foliar entre tratamientos. Los resultados obtenidos indicaron un incremento en las concentraciones de macro y micronutrientes en el suelo. Sin embargo, es necesario monitorear las concentraciones de Cu y Zn, provenientes de la aplicación DP. Se concluye que la aplicación de DP es una opción viable, que conduce a la valorización y al reciclado de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes que se encuentran disponibles en los efluentes porcinos.

Palabras clave: digeridos anaeróbicos, fertilización, frutilla





FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ SEMBRADO SOBRE DIFERENTES ANTECESORES

Robledo, G. E.¹, A. Sanzano¹, H. Rojas Quinteros¹, D. Gamboa², M. R. Devani²

¹Ings. Agrs., Sección Suelos y Nutrición Vegetal;

²Ings. Agrs., Sección Granos. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

Tucumán – Argentina. E-mail: gerobledo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Los sistemas productivos de granos de la región NOA se caracterizan por presentar un bajo porcentaje de gramíneas en la rotación. Esto, sumado a la baja reposición de nutrientes durante muchos años, llevó a la degradación química, física y biológica de nuestros suelos. Desde el punto de vista de las propiedades químicas de suelo se puede observar importantes pérdidas de materia orgánica y fósforo. Con el objetivo de evaluar la respuesta por parte del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada, se instalaron ensayos en la gramínea de renta sembrada sobre distintos antecesores: barbecho invernal vs garbanzo como cultivo de servicio. El garbanzo aportó aproximadamente 20 kg/ha de N por cada tonelada de materia seca producida. También se observó mayor contenido de NO₃ de suelos en V6 del maíz con este antecesor. Sin embargo, el consumo de agua durante su ciclo afectó notablemente el rendimiento de granos en el cultivo de maíz. En años con precipitaciones normales, la recarga del perfil del suelo desde el secado de los cultivos de servicios hasta la siembra de la gramínea estival, es mayor cuando el suelo presenta un cultivo comparado con un barbecho de invierno. El maíz respondió al agregado de N sembrado sobre ambos antecesores con dosis de 70 kg/ha de N (aproximadamente 150 kg/ha de Urea) o más. Las diferencias de rendimientos entre el tratamiento mejor fertilizado y su testigo absoluto sin fertilizar, fueron de 1808 y 2349 kg/ha para antecesor garbanzo y antecesor barbecho respectivamente. Durante la campaña el contenido de agua de suelo y las bajas precipitaciones al comienzo del ciclo del maíz jugaron un papel fundamental en los rendimientos de la gramínea de renta.

Palabras clave: Cultivo de servicio, Fertilización, Garbanzo, Maíz.

INTRODUCCIÓN

En el noroeste argentino (NOA), los sistemas de producción de granos han evolucionando hacia secuencias de cultivos con fuerte predominio de la soja en detrimento del maíz (Fandos *et al.*, 2012). Esta falta de rotación de cultivos ha provocado la degradación física, química y biológica de los suelos, lo que se tradujo en importantes pérdidas de materia orgánica, fósforo, reducción progresiva del pH, aumento de la densidad aparente, disminución de la infiltración y aumento del escurrimiento y la erosión hídrica (Dantur *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 1998; Hernández *et al.*, 2011). Manteniendo la cobertura con residuos de cosecha aumenta la infiltración, disminuyen las pérdidas por evaporación y es posible un mejor control de malezas (Sanzano *et al.*, 2005).

En los últimos años se ha desarrollado el concepto de intensificación agrícola con la introducción de cultivos de servicios (CS) entre dos cultivos de verano. CS se define como una cubierta vegetal viva que cubre el suelo de manera temporal. No tiene un valor comercial, pero agrega valor al siguiente cultivo de interés económico.



Los CS no se cultivan con el objetivo de ser cosechados, sino para llenar vacíos, sean de tiempo o espacio, que dejan las siembras comerciales (Altieri, 1999). Los CS se realizan durante el período de barbecho, previo a la siembra de un cultivo destinado a la producción de granos, y se interrumpe su crecimiento a través de la aplicación de herbicidas (Caviglia *et al.*; 2008). Con el objetivo de evaluar la respuesta por parte del cultivo del maíz a la fertilización nitrogenada, se realizaron ensayos de fertilización de dosis crecientes de N en maíces sembrados sobre distintos antecesores. Por un lado, sobre rastrojo de garbanzo como CS, y por otro, sobre un barbecho de invierno. Además, durante el invierno anterior a la siembra de la gramínea se realizaron determinaciones de distintos parámetros de suelo en ambos sitios donde se llevaron a cabo estos ensayos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2021-2022, en la localidad de Isca Yacu, perteneciente al Departamento Jiménez, provincia de Santiago del Estero, se llevaron a cabo ensayos de fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz con distintos antecesores: garbanzo como CS y barbecho invernal.

A principio de Mayo de 2021, en la mitad de un lote comercial de la firma Javicho SA se sembró garbanzo con el fin de secarlo y dejarlo en campo como cultivo de servicio sin ser incorporados al suelo. La siembra se realizó a un distanciamiento de 26 cm entre líneas con una densidad de 8 semillas por m lineal, siendo Chañarito la variedad de garbanzo sembrada. El momento del secado químico del cultivo fue el 23 de septiembre de 2021, es decir, que desde siembra del CS al secado tuvo un ciclo de 140 días aproximadamente. El resto del lote se dejó como barbecho invernal.

Materia seca del garbanzo y composición química del rastrojo

En el momento del secado químico del cultivo invernal se determinó el rendimiento de materia seca (kg/ha). La obtención de las muestras fue mediante un anillo de superficie conocida, tomando muestras del sitio del lote sembrado con garbanzo donde posteriormente se llevo a cabo el ensayo de fertilización en maíz. Dichas muestras fueron secadas en estufa hasta peso constante a una temperatura de 50°C, y por último, los pesos obtenidos fueron llevados a kg/ha, estimándose así el rendimiento de materia seca del CS por unidad de superficie. Posteriormente y con el fin de conocer las características químicas del garbanzo y el aporte que este hace al sistema, se realizaron determinaciones de nitrógeno orgánico total (%) y carbono orgánico total (%), por el método de Kjeldahl y de calcinación, respectivamente. En las Tablas 1 y 2 se muestran rendimientos de materia seca y características químicas del rastrojo de la leguminosa como CS.

Tabla 1. Rendimiento de materia seca de garbanzo y sus características químicas. Isca Yacu 2021. Santiago del Estero – Argentina.

CS	Rdto MS (kg/ha)	N org total (%)	C org total (%)	Relación C/N
Muestra 1	4854	1,8	57,3	31,8
Muestra 2	3579	2,3	55,0	23,9
Muestra 3	4648	1,9	50,1	26,4
Muestra 4	4409	2,1	49,9	23,7
Media Muestras	4372,5	2,0	57,1	26,5

Tabla 2. Aporte nutricional del garbanzo como CS. Isca Yacu 2021. Santiago del Estero - Argentina.

CS	Rdto MS (kg/ha)	N org total (kg/ha)	C org total (kg/ha)
Muestra 1	4854	87,4	2781,3
Muestra 2	3579	82,3	1968,5
Muestra 3	4648	88,3	2328,6
Muestra 4	4409	92,6	2200,1
Media Muestras	4372,5	87,7	2319,6



Como puede observarse en las Tablas anteriores, fueron aceptables los rendimientos de materia seca del garbanzo como CS para nuestra región. El valor promedio de nitrógeno orgánico total del rastrojo fue de 2% aproximadamente, mientras que el carbono orgánico total fue de 57%. Con respecto a la calidad del residuo, se observa una relación C/N de 26,5 como promedio de todas las muestras. Con estos rendimientos obtenidos en esta campaña el aporte de N orgánico fue de 88 kg/ha aproximadamente, mientras que el aporte de carbono orgánico al sistema fue de 2320 kg/ha.

Determinación de agua útil

Nuestra región se caracteriza por presentar un régimen pluviométrico del tipo monzónico, ya que más del 80% de las precipitaciones anuales se dan durante el semestre cálido. Es decir, que el éxito de una buena implantación de un cultivo de invierno depende en gran medida de la humedad de suelo remanente del verano anterior. Motivo por el cual toma gran importancia la fecha de siembra de estos cultivos. De esta manera, cuanto más temprano sembremos el cultivo invernal, mayor probabilidad de éxito tendremos para la implantación del mismo. Durante la campaña 2021-2022, desde Octubre a Mayo, las precipitaciones registradas en el lote en cuestión fueron de 408 mm, por debajo de lo normal para la zona. Se observó también un período sin lluvias de 25 días aproximadamente entre los meses de diciembre y enero. Además en esa misma época se registraron varios días con temperaturas superiores a los 40 °C.

Con el fin de evaluar la evolución del contenido de humedad de suelo durante el ciclo del cultivo de invierno, se realizaron muestreos hasta 150 cm de profundidad para la determinación de mm de agua útil en ambos sitios dentro del lote comercial y en cuatro momentos diferentes: siembra del CS, secado del CS, siembra del cultivo de maíz y en V6 del maíz (seis hojas verdaderas). En la Figura 1, se puede observar los contenidos de agua útil (mm) a la profundidad antes mencionada en los distintos momentos y para ambos sitios.

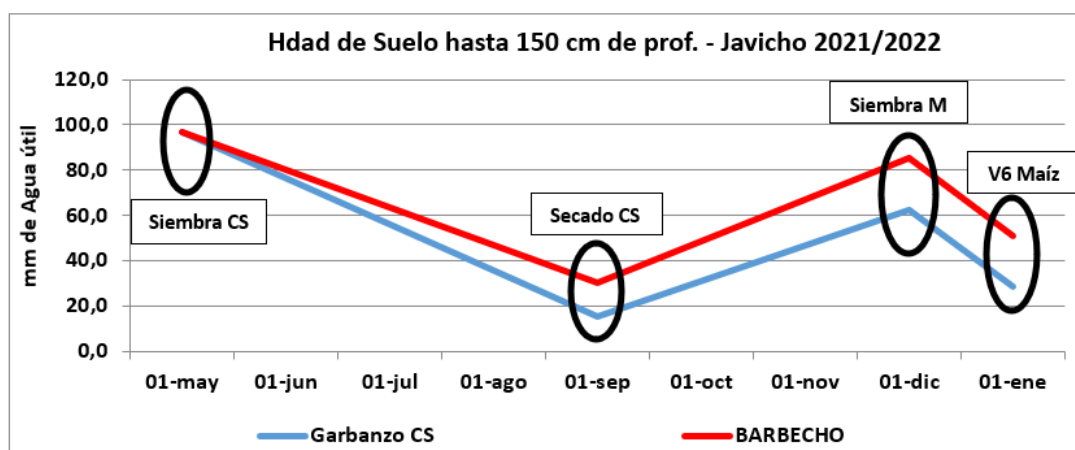


Figura 1. Contenido de humedad de suelo (mm de agua útil) hasta 150 cm de profundidad en tres momentos diferentes. Isca Yacu 2021. Santiago del Estero – Argentina.

Hasta los 150 cm de profundidad, el contenido de agua útil en el momento de la siembra de los CS fue de 96 mm aproximadamente. Luego de la siembra de invierno, en todos los momentos muestreados, el contenido de humedad de suelo del barbecho fue mayor que en el sector del lote donde se sembró el garbanzo como CS.

Fertilización en el cultivo de maíz

Durante el verano, en el cultivo de maíz sembrado sobre los distintos antecesores antes mencionados, se instalaron ensayos de fertilización nitrogenada en dosis crecientes. En la Tabla 3 pueden observarse los resultados de los análisis de suelo realizados antes de la siembra del maíz en ambos sitios del lote comercial.

Tabla 3. Resultado de análisis de suelo en sitios de ensayo de fertilización en maíz hasta 30 cm de profundidad. Isca Yacu 2021. Santiago del Estero – Argentina.

Antecesor	pH	Sales (dS/m)	Carbonatos (%)	Textura estimada	Materia orgánica (%)	P Bray I (ppm)
Barbecho	6,5	0,4	-	Franco	1,3	25,7
Garbanzo CS	6,8	0,3	-	Franco	1,6	22,2

En cada ensayo se evaluaron cinco tratamientos: un testigo absoluto sin fertilizar y cuatro tratamientos con dosis crecientes de N (50, 70, 90 y 110 kg/ha). El fertilizante nitrogenado fue Urea + inhibidor (46-0-0), aplicado superficialmente sin incorporar y en dosis dividida, es decir, 1/3 de dosis durante la siembra y el resto cuando el maíz tuvo 6 hojas verdaderas (V6). Durante este estadio del maíz, se realizó un muestreo de suelos para la determinación de nitratos hasta 60 cm de profundidad en ambos sitios, antes de la aplicación del fertilizante, y solo de los testigos absolutos sin fertilizar. En la Tabla 4 se observan los valores de NO_3^- en suelo en V6 del maíz, hasta 60 cm de profundidad. Como puede apreciarse, los contenidos de nitratos de suelo fueron mayores cuando el antecesor fue Garbanzo como CS, un 25% más que el barbecho invernal.

Tabla 4. Nitratos de suelos en el cultivo de maíz sembrados sobre distintos antecesores. Isca Yacu 2022. Santiago del Estero – Argentina.

Nitratos de suelo en V6 del maíz hasta 60 cm de profundidad (ppm)	
Barbecho Invernal	72 ppm
Garbanzo CS	90 ppm

El diseño experimental utilizado para los ensayos de fertilización nitrogenada en maíz fue en bloques al azar con tres repeticiones. El análisis de la varianza de las medias de cada tratamiento fue realizado mediante Test LSD Fisher, con una probabilidad de error del 95% ($P > 0.05$). Cada parcela estuvo constituida por seis líneas sembradas a 52 cm, con un largo de 10 m, sumando así una superficie por parcela de aproximadamente 31 m². El híbrido sembrado en todo el lote comercial fue P2089 de Pioneer y la fecha de siembra el 21 de diciembre de 2021. Durante la madurez del cultivo se cosecharon las espigas de tres líneas centrales de cada parcela, en una longitud de 5 m. Estas se trillaron en máquinas fijas para obtener el peso de granos de cada parcela, y finalmente se estimó rendimiento de granos en kg/ha corregidos por humedad del grano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos de granos en el cultivo del maíz obtenidos en cada uno de los tratamientos evaluados sobre los distintos antecesores pueden observarse en la Figura 2.



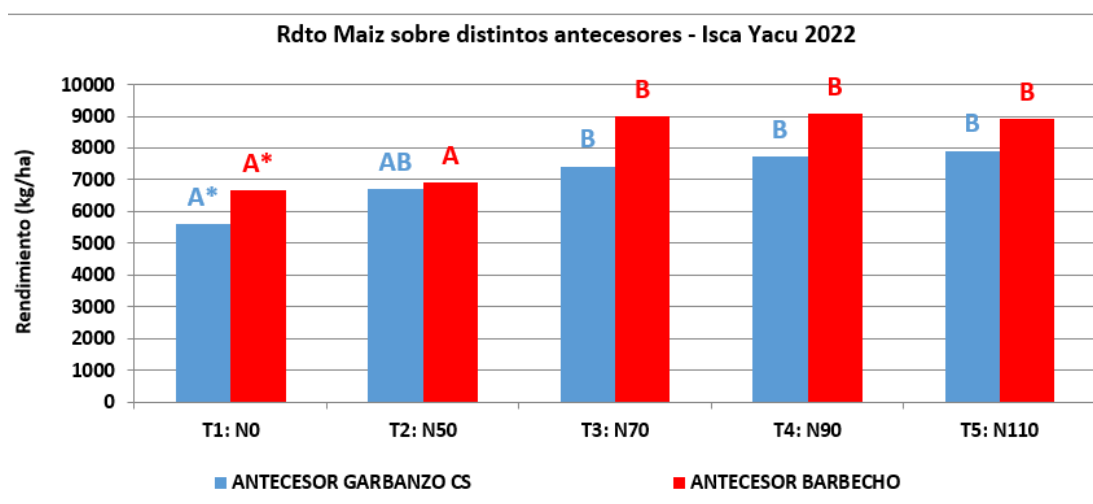


Figura 2. Rendimientos medio de maíz (kg/ha) de cada tratamiento sobre distintos cultivos antecesores. Isca Yacu 2022. Santiago del Estero – Argentina.

*Letras distintas indican diferencias significativas con test LSD Fisher, con una probabilidad de error del 5% ($P > 0.05$).

Tabla 5. Rendimiento medio de maíz y diferencial de rendimiento con sus respectivos testigos absolutos sin fertilizar en los distintos antecesores de invierno. Isca Yacu 2022. Santiago del Estero – Argentina.

TRATAMIENTO	ANTECESOR GARBANZO CS		ANTECESOR BARBECHO	
	RDTO (kg/ha)	DIF RDTO CON TA (kg/ha)	RDTO (KG/HA)	DIF RDTO CON TA (kg/ha)
T1: N0	5619	0	6660	0
T2: N50	6699	1080	6929	269
T3: N70	7426	1808	9010	2349
T4: N90	7715	2096	9077	2417
T5: N110	7917	2298	8904	2244

Como puede observarse en la Tabla 5, con ambos antecesores, el cultivo del maíz rindió más que el TA sin fertilizar cuando se agregó fertilizante nitrogenado. Sin embargo, se observan rendimientos con diferencias significativas desde el punto de vista estadístico comparadas con su TA sin fertilizar, a partir de los 70 kg/ha de N o más. El rendimiento promedio del ensayo con antecesor garbanzo y barbecho, fue 7075 kg/ha y 8116 kg/ha, respectivamente. La diferencia de rendimientos del mejor tratamiento fertilizado comparado con el TA sin fertilizar fue de 1808 kg/ha cuando el antecesor fue garbanzo como CS, mientras que con antecesor barbecho esa diferencia fue de 2349 kg/ha.

CONCLUSIONES

- Se obtuvieron aceptables rendimientos de materia seca del garbanzo como CS a pesar de los bajos contenidos de humedad de suelo determinados durante la siembra.

- El garbanzo como CS realizó un aporte importante al sistema. Por cada tonelada de materia seca aportó 20 kg/ha de N orgánico. El rastrojo presentó una relación C/N baja, lo que lo califica como un residuo de descomposición rápida dejando disponible los nutrientes para el próximo cultivo de la rotación.

- En todos los momentos muestreados, incluso cuando el maíz presento 6 hojas verdaderas (V6), el contenido de humedad de suelo hasta 150 cm de profundidad fue siempre mayor a favor del barbecho como antecesor de la gramínea. Explicando posiblemente la diferencia de los rendimientos del maíz sembrado con ambos antecesores. Durante la campaña el agua de suelo tuvo un papel fundamental en los rendimientos de



la gramínea de renta.

- A pesar de presentar mayor contenido de nitratos de suelo hasta los 60 cm de profundidad cuando el antecesor fue garbanzo, no se vio reflejado en los rendimientos del maíz sembrado sobre dicho antecesor.

- En ambos antecesores, el cultivo del maíz respondió a la fertilización nitrogenada a partir de los 70 kg/ha, aproximadamente 150 kg/ha de producto comercial.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a todos los que forman parte de la firma Javicho SA, en especial a los Ings. Agrs. Pachin Mariona y Daniel Frascarolo, por permitirnos trabajar en los lotes comerciales de la empresa y llevar a cabo nuestros ensayos de fertilización de cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan - Comunidad.

Caviglia, O. P.; N. V. Van Opstal; V. C. Gregoratti; R. J. M. Melchiori y E. Blanzaco. 2008. El invierno: estación clave para intensificación sustentable de la agricultura. Agricultura sustentable. Actualización técnica. INTA Paraná. Septiembre de 2008, pp. 7-13.

Dantur, N. C.; C. F. Hernández; M. R. Casanova; V. Bustos y L. Guzmán. 1989. Evolución de las propiedades de los suelos de la Región Chaco-Pampeana de Tucumán bajo diferentes alternativas de producción. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 66 (1): 33-66.

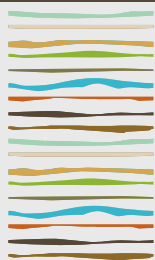
Fandos C.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2012. Superficie cultivada con soja y maíz en Tucumán en la campaña 2011/2012 y comparación con campañas anteriores. Boletín Electrónico [En línea]. Disponible en: www.eeaoc.org.ar

Hernández, C.; F. Sosa; G. A. Sanzano; G. Robledo; D. E. Gamboa; C. Sotomayor; J. I. Romero; M. Morandini y H. Rojas Quinteros. 2011. Experiencia de fertilización en maíz. En: Gamboa, D.; B. Lane Wilde; F. Goizueta y M. R. Devani (eds.). El maíz en el NOA. Campaña 2011/2012. Publ. Espec. EEAOC (46): 91-98.

Sánchez, H. A.; J. R. García; M. R. Cáceres y R. D. Corbella. 1998. Labranzas en la Región Chacopampeana Subhúmeda de Tucumán. En: Panigatti, J. L.; H. Marelli; C. Buzchiazso y R. Gil (eds.), Siembra Directa. INTA. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, R. Argentina, pp. 245-256.

Sanzano, G. A.; R. D. Corbella; J. R. García y G. S. Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Ci Suelo (Argentina) 23 (1): 93-100.





PRODUCTIVIDAD DE LOS RECURSOS EN SECUENCIAS CON PREDOMINIO DE SOJA

Rodríguez, M.P.^{1,2,*}, C. Crespo^{1,2}, J.P. Martínez¹, H.R. Sainz Rozas^{1,2}, W.D. Carciochi^{1,2}, P.A. Barbieri^{1,2}

¹ Unidad Integrada Balcarce (FCA (UNMdP) – EEA INTA Balcarce);

² CONICET.

*Ruta Nacional 226 km 73,5 (Balcarce, Argentina), mail: rodr.mariapia@gmail.com

RESUMEN

La inclusión de cultivos de alto aporte de residuos como los cultivos de cobertura (CC) en una secuencia agrícola, sería una estrategia para mejorar la eficiencia en la captación de los recursos y aumentar la productividad del agua (PA) y la radiación (PR). Una manera de cuantificar dicha eficiencia es mediante el índice de intensificación sustentable (ISI) y la Productividad Relativa Porcentual (Prel%). En secuencias con predominio de soja bajo siembra directa (SD) en el sudeste de Buenos Aires, se plantea: (i) evaluar el efecto de la incorporación de avena como CC y la fertilización con nitrógeno (N) sobre: PA, PR, Prel% y el rendimiento de soja de las secuencias. El sitio experimental se inició en el año 2012 en la localidad de Balcarce y se incluyeron los siguientes tratamientos: soja continua (Sj); CC / soja (CC/Sj); CC fertilizado con N / soja (CCf/Sj). En todos los años, la fertilización con N incrementó significativamente la MS de los CC (50%), como así también el contenido de N (52%) y el N acumulado (119%). En los tres años bajo estudio la PA y PR fue mayor en las secuencias CCf/Sj y CC/Sj, en comparación con la soja continua (45 y 44 % para el promedio de las secuencias vs Sj, respectivamente). Solamente se determinaron diferencias significativas para PA y PR entre secuencias en el Año 1. Las secuencias CCf/Sj y CC/Sj con un ISI=2 incrementaron la Prel%, respecto a Sj con un ISI=1. El rendimiento de soja fue en promedio de 3 Mg ha⁻¹ y no mostró diferencias significativas entre secuencias y años. Este trabajo refuerza el concepto de la adopción de CC en las secuencias agrícolas, para diversificar las rotaciones, aumentar el número de cultivos por secuencia y mejorar la captura de los recursos.

Palabras clave: Cultivo de cobertura, intensificación, sustentabilidad.

INTRODUCCION

La incorporación de cultivos invernales previo a soja [*Glycine max* (L.) Merr.], como los cultivos de cobertura (CC), incrementa el aporte de residuos vegetales y nutrientes al suelo (Restovich et al., 2012). Los CC gramíneas, captan el nitrógeno (N) edáfico y lo acumulan en su biomasa, evitando posibles pérdidas por lavado. De esta forma, retornan dicho nutriente al suelo mediante sus residuos, lo que permitiría una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Una manera de cuantificar esta eficiencia es mediante el índice de intensificación sustentable (ISI). Este indicador expresa el número de cultivos por año en una secuencia dada (Caviglia & Andrade, 2010). La inclusión de cultivos de alto aporte de residuos como los CC, sería una estrategia para aumentar la productividad del agua (PA), de la radiación (PR) y la productividad relativa porcentual (Prel%). Siendo PA y PR, la materia seca total producida en la secuencia por unidad de agua y radiación fotosintéticamente activa, y Prel% la relación entre la biomasa aérea total promedio de cada secuencia y la mayor biomasa aérea total promedio registrada.

Un aspecto de gran importancia en relación a la inclusión del CC, es su incidencia sobre el rendimiento del cultivo posterior. Algunos autores determinaron que la inclusión de CC bajo condiciones hídricas normales



no disminuyó el rendimiento de la soja (Restovich et al., 2012). Fernández et al. (2008) demostraron que barbechos con altas cantidades de residuos en superficie incrementaron la cantidad de agua en etapas iniciales del cultivo de verano debido a la disminución en la evaporación. Bonvecchi y Cabrera (2012), determinaron mayores rendimientos en el cultivo de soja sembrada luego de CC avena (*Avena sativa* L.), respecto al tratamiento sin CC. En la Región Pampeana, y principalmente en el Sudeste Bonaerense (SEB), existe escasa información sobre las ventajas y desventajas de la incorporación de CC previo a soja, la cual sería de utilidad para evaluar la factibilidad de dicha práctica. En secuencias con predominio de soja, se plantea: (i) evaluar el efecto de la incorporación de CC y la fertilización con N sobre: PA, PR, PreI% y el rendimiento de soja de las secuencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental, diseño del ensayo y manejo

El sitio experimental se ubicó en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA INTA) Balcarce, Buenos Aires, (37° 45' S, 58° 18' O, 138 m sobre el nivel del mar) (916 mm de precipitación media acumulada anual y 14 °C de temperatura media anual, 1971-2015) sobre un Argiudol Típico con menos de 2 % de pendiente y textura superficial franca. Se evaluaron tres años: 2012/13 (Año 1); 2013/14 (Año 2); 2014/15 (Año 3). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones que incluyeron las siguientes secuencias: soja continua (Sj); CC / soja (CC/Sj); CC fertilizado con N / soja (CCf/Sj). Las unidades experimentales fueron parcelas de 5 m de ancho por 15 m de longitud (75 m²). Los datos de precipitación, evapotranspiración potencial, radiación y temperatura fueron obtenidos de la estación agrometeorológica de la EEA INTA Balcarce, ubicada a 500 m del sitio experimental. La Tabla 1 resume algunos parámetros de suelo determinados al inicio del ensayo.

Tabla 1. Materia Orgánica (MO), pH, fósforo disponible (P-Bray) y contenido de nitrógeno (N-NO₃) del suelo de 0-20 cm, correspondientes al inicio del ensayo experimental en 2012.

Estrato	MO (g kg ⁻¹)	pH (1:25)	P-Bray (mg kg ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)
0-20 cm	48,0	6,0	38,3	10,3

El CC fue avena, se sembró bajo siembra directa (SD) en las fechas: 22/5/12, 11/6/13 y 6/6/14 en los 3 años bajo estudio, respectivamente. Su secado se realizó en la segunda quincena de octubre, en el estado de encañazón avanzado a preemergencia floral Z34-Z41 (Zadoks et al., 1974) mediante una aplicación de 3-4 L ha⁻¹ de glifosato (48% i.a.). La soja fue sembrada bajo SD la segunda quincena de noviembre en los tres años bajo estudio. El cultivar utilizado fue DM3810, la semilla se inoculó previo a la siembra con inoculante comercial a base de bacterias de la especie *Bradyrhizobium japonicum*. Las plagas, malezas y enfermedades se controlaron con métodos químicos para no afectar el desarrollo de los cultivos.

El cultivo de soja se fertilizó a la siembra, con una dosis de 20 kg P ha⁻¹ bajo la forma de superfosfato triple (0-46-0), el azufre (S) se aplicó con una dosis de 15 kg S ha⁻¹ como yeso agrícola (16% S, 20% Ca). El N se aplicó en el cultivo de CC avena en macollaje (Z22) (Zadoks et al., 1972), con una dosis de 60 kg N ha⁻¹ en forma de urea (46-0-0). Las aplicaciones fueron al voleo, en superficie y con cobertura total.

Determinaciones en los cultivos

La biomasa aérea total de los CC se recolectó al momento de su secado sobre una superficie de 1,05 m². Se secó en estufa a 60°C hasta peso constante, se pesó y se determinó la materia seca (MS). El cultivo de soja fue cosechado en madurez fisiológica (MF) con trilladora automotriz, colectando material de una superficie de 10 m² por parcela. La biomasa aérea total de soja al estadio de R7 (Fehr & Caviness, 1977), se calculó en función del rendimiento expresado en base seca dividido un índice de cosecha de 0,4 (Studdert & Etcheverría, 2000). La determinación del contenido de C y N se realizó mediante el método de Dumas (1831).

Productividad del agua y de la radiación

La PA se calculó como el cociente entre la MS aérea total acumulada (MST) en cada secuencia y las precipitaciones totales acumuladas durante el período evaluado. Por otra parte, se calculó la PR como el cociente entre biomasa aérea total acumulada en cada secuencia y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) total



acumulada. Además, se calculó la productividad relativa porcentual (Prel %) como el cociente entre la biomasa aérea total promedio de cada secuencia y la mayor biomasa aérea total promedio registrada en la secuencia expresada en porcentaje. En cada secuencia, se consideraron las precipitaciones y la RFA acumuladas desde el 1 de abril hasta el 31 de marzo del año siguiente. La RFA se calculó multiplicando la radiación solar incidente por el factor de 0,48 (Caviglia et al., 2013). El ISI se definió como la cantidad de cultivos en un año. La secuencia de soja continua (Sj) tuvo un ISI=1 mientras que las secuencias con CC presentaron un ISI=2.

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto del Año y las secuencias sobre las variables analizadas, se realizaron análisis de varianza mediante el procedimiento ANOVA incluido en el programa estadístico R (R Core Team). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de significancia de 0,05. Cuando hubo interacción entre secuencia y el Año ($p < 0,05$), se evaluaron los efectos simples de las secuencias dentro de cada Año. En caso contrario, fueron evaluados los efectos principales de las secuencias. Se analizó la relación entre variables de interés como ISI, MST y Prel% a partir de modelos de regresión lineales simples utilizando el programa estadístico R.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones climáticas para el CC y el cultivo de soja

En las tres campañas en estudio, se determinó una adecuada disponibilidad hídrica desde la siembra del CC hasta la cosecha de la soja, con déficits hídricos bajos a nulos. En el Año 1 y 3, las precipitaciones ocurridas en las secuencias fueron de 1109,8 y 956,2 mm y superaron el promedio histórico de 917,7 mm (1985-2014). En el Año 2 las precipitaciones fueron de 902,2 mm, menores a los registros históricos en 15,5 mm.

Producción de MS, contenido de C y N y N acumulado del CC

En los tres años bajo estudio, la fertilización con N incrementó significativamente la producción de MS y el N acumulado, y disminuyó significativamente la relación C/N (Tabla 2). Es de destacar que si bien el CC sin fertilizar mostró los menores valores de N absorbido ($46 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en promedio de los tres años), la cantidad de N acumulado puede considerarse importante ya que se deriva del suelo y no del fertilizante. Por lo tanto, el contenido de N en el CC indicaría un efecto beneficioso debido a la reducción del riesgo de lixiviación de N. Además, el N inmovilizado por el CC puede luego ser mineralizado en el suelo y absorbido por cultivos posteriores en la rotación, lo cual favorece el ciclado de N.



Tabla 2. Producción de materia seca aérea (MS), contenido de N y C, relación C/N y N acumulado en la biomasa del cultivo de cobertura avena para las secuencias: cultivo de cobertura (CC)/soja (CC/Sj) y cultivo de cobertura fertilizado con N (CCf)/soja (CCf/Sj) en los años: 2012/13 (Año 1); 2013/14 (Año 2); 2014/15 (Año 3). Letras iguales indican diferencias no significativas entre tratamientos, según test LSD ($p < 0,05$).

	Secuencia	MS (kg ha ⁻¹)	N (%)	C (%)	C/N	N (kg ha ⁻¹)
Año 1	CC	2800 d	0,9 c	42,1	42,8 a	28,0 d
	CCf	5954 b	1,1 c	42,5	38,2 b	65,5 bc
Año 2	CC	5106 c	0,9 c	42,5	43,1 a	51,1 cd
	CCf	6100 b	1,5 b	42,7	28,4 c	91,5 b
Año 3	CC	6143 b	0,9 c	43,0	43,6 a	61,4 c
	CCf	7762 a	1,8 a	42,8	22,9 d	147,4 a
Promedio Año						
Año 1		4377	1,0	42,3 c	40,7	46,8
Año 2		5603	1,2	42,6 b	35,8	70,8
Año 3		6952	1,4	42,9 a	33,2	104,6
Promedio Secuencia						
	CC	4683	0,9	42,5 a	43,2	46,4
	CCf	6605	1,5	42,6 a	29,9	101,7
Valor p						
	Año	0,042	0,032	0,012	0,108	0,036
	Secuencia	0,003	<0,001	0,182	<0,001	<0,001
	Año x Secuencia	0,014	<0,001	0,057	<0,001	0,049

Rendimiento de soja

El rendimiento en grano de la soja fue en promedio de 3 Mg ha⁻¹ y no presentó diferencias significativas entre secuencias en los tres años (Figura 1). Estos valores son acordes a los reportados en el SEB bajo condiciones de secano (Calviño & Monzón et al., 2009).

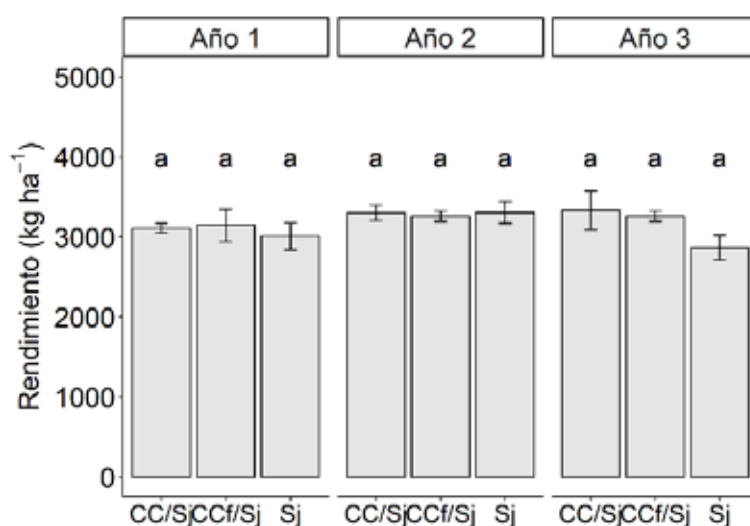


Figura 1. Rendimiento en grano de soja en las secuencias: soja continua (Sj), cultivo de cobertura (CC)/soja (CC/Sj) y cultivo de cobertura fertilizando con N (CCf)/soja (CCf/Sj) en los años: 2012/13 (Año 1); 2013/14 (Año 2); 2014/15 (Año 3). Letras iguales indican diferencias no significativas entre tratamientos, según test LSD ($p < 0,05$).

El CC previo a la soja, no afectó negativamente la implantación del cultivo de grano y las precipitaciones



no limitaron el crecimiento y desarrollo del cultivo. Esto coincide con lo reportado por Álvarez et. al. (2017) quienes no observaron disminuciones en el rendimiento del cultivo de soja en la secuencia CC/soja respecto de barbecho/soja. Esto indica que las fechas de supresión del CC avena en este estudio permitieron una adecuada siembra y emergencia de la soja.

Productividad del Agua y de la Radiación

La PA y PR fueron significativamente superiores en las secuencias que incluyeron CC respecto de Sj (Tabla 3). Se determinaron diferencias significativas entre las secuencias CC vs CCf solamente en el Año 1 en donde la PA y PR de CCf fueron significativamente superiores respecto de CC (Tabla 3). Los valores de PA y PR reportados en este trabajo estuvieron dentro del rango descripto por Caviglia et al. (2013) en ensayos desarrollados en el SEB. Asimismo, estos resultados coinciden con los informados por Caviglia & Andrade (2010) donde evidenciaron una mayor productividad de los recursos al intensificar el sistema de producción aumentando el número de cultivos por año.

Tabla 3. Productividad del agua (PA), Productividad de la radiación (PR), Materia seca del cultivo de cobertura (MS CC), Materia seca de la soja (MS Sj), Materia seca total (MST), Precipitaciones (Pp), Radiación fotosintéticamente activa (RFA) en las secuencias: soja continua (Sj), cultivo de cobertura (CC) /soja (CC/Sj) y cultivo de cobertura fertilizando con N (CCf)/soja (CCf/Sj) en los años: 2012/13 (Año 1); 2013/14 (Año 2); 2014/15 (Año 3). Letras iguales indican diferencias no significativas entre tratamientos, según test LSD ($p < 0,05$).

		MS CC	MS Sj	MST	Pp	RFA	PA	PR
	Secuencia	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(mm)	(MJ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ MJ ⁻¹)
Año 1	Sj	0	7525	7525 d	1109,8	2520,1	6,78 f	2,99 d
	CC/Sj	2800	7770	10570 c	1109,8	2520,1	9,52 d	4,19 c
	CCf/Sj	5954	7858	13812 b	1109,8	2520,1	12,45 c	5,48 b
Año 2	Sj	0	8255	8255 d	902,2	2432,7	9,15 de	3,39 d
	CC/Sj	5106	8248	13354 b	902,2	2432,7	14,80 b	5,49 b
	CCf/Sj	6100	8305	14405 ab	902,2	2432,7	15,97 ab	5,92 ab
Año 3	Sj	0	7158	7158 d	956,2	2454,3	7,49 ef	2,92 d
	CC/Sj	6143	8325	14468 ab	956,2	2454,3	15,13 ab	5,90 ab
	CCf/Sj	7762	8143	15905 a	956,2	2454,3	16,63 a	6,48 a
Promedio Año								
Año 1				10635			9,58	4,22
Año 2				11949			13,08	4,91
Año 3				10635			13,24	5,10
Promedio Secuencia								
Sj				7645			7,81	3,10
CC/Sj				12797			13,15	5,19
CCf/Sj				14652			14,96	5,94
Valor p								
Año				0,016			<0,001	0,008
Secuencia				<0,001			<0,001	<0,001
Año x Secuencia				0,024			0,018	0,022

La Prel % fue mayor en los tratamientos que incluyeron CC y CC fertilizado con N, como se observa en la Figura 2a. Al relacionar el ISI con la Prel %, se evidencia que la Prel % tendió a aumentar con el aumento del ISI. Además, se puede observar el efecto del manejo de los cultivos y el ambiente sobre la misma, como es el caso de la fertilización y el año (Figura 2b). Esto se observa al comparar la Prel % en las secuencias CC/Sj y CCf/Sj (igual ISI).



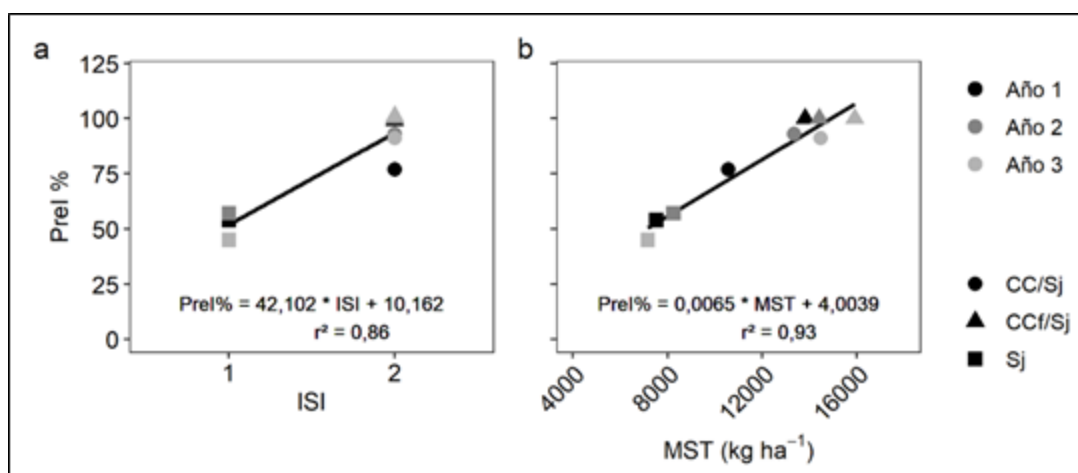


Figura 2. Relación entre la Productividad Relativa Porcentual (Prel %) y el Índice de Intensificación de Secuencias (ISI) (número de cultivos intervinientes en la secuencia / largo de la secuencia en años) (a) y Relación entre la Prel% y la Materia Seca Total (MST) (b) para las secuencias: soja continua (Sj); cultivo de cobertura (CC)/ soja (CC/Sj); CC fertilizado con N / soja (CCf/Sj) en el Año 1: 2012/13; Año 2: 2013/14 y Año 3: 2014/15.

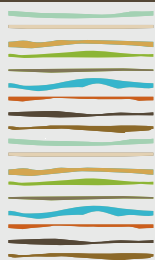
CONCLUSIONES

La inclusión de CC y/o secuencias de alto ISI incrementaron la PA y PR, respecto al monocultivo de soja, sin disminuir el rendimiento del cultivo de soja posterior. Esto refuerza el concepto de diversificar las rotaciones, aumentar el número de cultivos por secuencia y realizar prácticas agronómicas que mejoren la captura de los recursos.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, R.; H.S. Steinbach & J.L. De Paepe. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: meta-analysis. *Soil and Tillage Research*. 170: 53-65.
- Bonvecchi, V.E. & A.E. Cabrera. 2012. Cultivos de cobertura y duración del barbecho en sistemas agrícolas pampeanos. *Actas 19° CLACS y 23° CACS*, Mar del Plata, abril de 2012.
- Calviño, P. & J.P. Monzon. 2009. Farming systems of Argentina: Yield constraints and risk management. In: Sadras, V.O. & D.F. Calderini. *Crop physiology*. Elsevier. Oxford, UK. p. 55-70.
- Caviglia, O.P. & F.H. Andrade. 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.
- Caviglia, O.P.; V.O. Sadras & F.H. Andrade. 2013. Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the South-eastern Pampas. *Field Crops Res*. 149:300-311.
- Fernández, R.; A. Quiroga; E. Noellemeyer; D. Funaro; J. Montoya; B. Hitzman & N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agr. Water Manag.* 95: 1028-1040.
- Restovich, S.B.; A.E. Andriulo & S.I. 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.
- Studdert, G.A. & H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1496-1503.





RENDIMIENTO, MATERIA SECA EN TUBÉRCULO Y EFICIENCIA DE USO DEL CALCIO DEL FERTILIZANTE EN PAPA

Rodriguez, S.^{1*}, M. Kloster Erreguerena¹, S.E. Silva¹, M.N. Cassino¹, N. Reussi Calvo^{1,2}; C.M. Giletto¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce.

Ruta Nac. 226 km 73,5. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. *srodriguez@mdp.edu.ar

²CONICET

RESUMEN

La exportación de nutrientes sin la adecuada reposición por fertilización y la intensificación de los sistemas agrícolas han provocado la disminución en la disponibilidad de calcio (Ca) en los suelos. Esta deficiencia afecta el rendimiento del cultivo de papa y la calidad de los tubérculos. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización con Ca sobre el rendimiento, la concentración de materia seca de los tubérculos (MS) y la eficiencia de uso del Ca del fertilizante (EUF_{Ca}). Se realizaron diez ensayos de fertilización con Ca (0 y 80 kg ha⁻¹) en lotes de producción de papa, variedad Innovator y Spunta, en el sudeste bonaerense, durante 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2019/20. Se realizaron muestreos de suelo preplantación. La concentración de Ca intercambiable (Ca_i) osciló entre 8,8 y 13,2 cmol_c kg⁻¹. A la cosecha se determinó rendimiento, MS y EUF_{Ca} . Se calculó la relación de precios insumo-producto. En Innovator, el rendimiento varió de 29,5 a 68,8 Mg ha⁻¹ y la MS de 16,0 a 20,4 g 100 g⁻¹, ambos afectados por el sitio y la fertilización con Ca. En Spunta el rendimiento varió de 60,4 a 87,2 Mg ha⁻¹, siendo el efecto de la fertilización sobre el rendimiento diferente según el sitio. La MS no se vio afectada ni por el sitio ni por la fertilización (promedio 16,9 g 100 g⁻¹). Para ambas variedades, la EUF_{Ca} varió de 4,8 a 41,0 kg kg⁻¹ y disminuyó con el incremento del Ca_i ; la cual fue económicamente viable cuando la Ca_i fue menor de 12,5 cmol_c kg⁻¹ y la relación de precios insumo-producto fue mayor de 11,5 kg tubérculo kg Ca⁻¹. Estos resultados plantean la necesidad de seguir investigando la respuesta del cultivo y otros parámetros de calidad a la fertilización con Ca, especialmente en suelos con niveles más bajos de Ca_i .

Palabras clave: relación de precios insumo-producto, Innovator, Spunta.

INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*) es el principal cultivo hortícola a nivel mundial y a nivel país. En Argentina se cultivan aproximadamente 75.000 ha por año, obteniéndose un rendimiento promedio de alrededor de 32 Mg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2022). Los rendimientos más altos se alcanzan en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires (SEB), donde se produce papa tanto para consumo fresco como para procesamiento industrial (chips, puré o bastones pre-fritos congelados) y con diferentes variedades (Caldiz et al., 2018). La papa posee un sistema radicular superficial, por lo que es muy sensible a sequías y requiere una elevada concentración de nutrientes en las capas superiores del suelo (Echeverría & Giletto, 2015). El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que más frecuentemente limitan el rendimiento del cultivo. No obstante, la exportación de nutrientes por los cultivos sin la adecuada reposición por fertilización y la intensificación de los sistemas agrícolas han provocado la disminución en



la disponibilidad de otros nutrientes en los suelos como es el caso del calcio (Ca) (Sainz Rosas et al., 2019). En el SEB se han observado deficiencias de Ca en el follaje en las variedades Russet Burbank e Innovator (Caldiz, 2007). La deficiencia de este nutriente no solo afecta el rendimiento del cultivo, sino que además afecta la calidad de los tubérculos, ya que disminuye la firmeza de los tejidos, la MS y almidón (Kloster Erreguerena, 2022). En la actualidad, es escasa la información relacionada al efecto de la fertilización con Ca sobre el cultivo de papa en el SEB. Es por ello que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con Ca sobre el rendimiento del cultivo de papa, la concentración de MS de los tubérculos (MS) y la eficiencia de uso del Ca del fertilizante (EUF_{Ca}) por parte del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron diez ensayos de fertilización con Ca en lotes de producción de papa para industria (Innovator) y consumo fresco (Spunta) en el SEB, durante las campañas 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2019/20, sobre suelos clasificados como Argiudol Típico (Soil Survey Staff, 1999), sin limitaciones en su capacidad de uso. La textura del suelo fue franco (arcilla: 240 g kg⁻¹, limo: 330 g kg⁻¹ y arena: 430 g kg⁻¹) y franco arcillo arenoso (arcilla: 207 g kg⁻¹, limo: 238 g kg⁻¹, y arena: 555 g kg⁻¹). Se evaluó una dosis de Ca (80 kg ha⁻¹) aplicada como nitrato de Ca (19% Ca) a los 60 días después de la plantación (sobre el camellón e incorporado) y un testigo sin fertilizar con Ca. En todos los ensayos se utilizó un diseño en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones (cada unidad experimental fue de 34 m²). Se fertilizó con macro y micronutrientes para asegurar que no limitaran el crecimiento del cultivo, excepto el nutriente a investigar. El riego y la conducción del cultivo se realizaron de acuerdo a las prácticas recomendadas para la zona. Previo a la plantación se extrajeron muestras de suelo (compuestas por 20 submuestras) a 0-20 cm de profundidad, con un muestreador tubular. Cada muestra se secó en estufa (30°C) y se molió hasta pasar por un tamiz de 2 mm. En dichas muestras se determinó materia orgánica (MO) (Walkley & Black, 1934), pH (relación suelo/agua 1:2,5) (Dewis & Freitas, 1970), y concentración de Ca intercambiable (Ca_i). Esta última se determinó mediante extracción con acetato de amonio (solución 1 N, pH=7) (Rhoades, 1982) y posterior cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica (EAA 6200, Shimadzu). A la madurez del cultivo se cosecharon manualmente 2 m de los dos surcos centrales de cada unidad experimental y se estimó el rendimiento total. En una submuestra de tubérculos se determinó la MS (g 100 g⁻¹) por el método gravimétrico. Se determinó la EUF_{Ca} (kg de tubérculo kg⁻¹ de Ca del fertilizante) como la relación entre el rendimiento de tubérculos de las unidades experimentales fertilizadas con Ca menos el rendimiento de los testigos, ambos expresados en peso seco, y la dosis de Ca aplicada (kg Ca ha⁻¹). Se calculó la relación de precios insumo-producto como la división entre el precio del Ca proveniente del fertilizante (U\$S Mg⁻¹ Ca) y el precio de los tubérculos (u\$S Mg⁻¹), en base a datos obtenidos de empresas proveedoras de insumos para la producción agropecuaria y de productores de papa. El precio promedio del fertilizante (considerando que tiene un 19% de Ca) fue de U\$S 1950 Mg⁻¹ Ca. Mientras que, el precio promedio de la papa fue de U\$S170 Mg⁻¹ tubérculos. De esta manera, la relación de precios fue de 11,5 kg tubérculo kg Ca⁻¹. Para evaluar el efecto de la fertilización con Ca sobre las variables estudiadas se realizó un análisis de varianza utilizando el programa R (R Core Team, 2020), para cada sitio experimental. Cuando el ANOVA fue significativo, las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante el test de diferencia mínima significativa (DMS). El nivel de significación utilizado fue de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se presenta la caracterización del suelo previa a la plantación del cultivo. En los diez sitios experimentales, el pH varió entre 5,4 y 6,9; rango óptimo para el crecimiento de los cultivos y para la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Barbieri et al., 2015). La Ca_i osciló entre 8,8 y 13,2 cmol_c kg⁻¹; dentro del rango establecido para la Región Pampeana (Sainz Rozas et al., 2019). La MO osciló entre 4,3 y 6,7 g 100 g⁻¹ coincidiendo con los valores reportados para la zona (Sainz Rozas et al., 2019).



Tabla 1: Características edáficas previas a la plantación a 0-2 cm de profundidad (pH, materia orgánica: MO, concentración de calcio intercambiable: Ca_i) y manejo del cultivo (variedad, fecha de plantación y fecha de cosecha) de cada sitio experimental.

Sitio	Variedad	pH	MO	Ca_i	Fecha	Fecha
					Plantación	Cosecha
			(g 100 g ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)		
1	Innovator	5,8	6,4	10,6	8/10/2015	24/2/2016
2	Innovator	5,8	6,7	11,3	10/10/2015	24/2/2016
3	Innovator	5,4	6,3	10,0	9/10/2016	7/3/2017
4	Innovator	6,2	4,3	8,8	27/10/2016	2/3/2017
5	Innovator	6,2	5,6	10,5	7/10/2017	22/2/2018
6	Innovator	6,9	5,1	13,2	22/11/2017	24/4/2018
7	Innovator	6,2	5,4	10,2	21/10/2019	21/2/2020
8	Spunta	6,0	5,4	12,5	26/10/2019	12/2/2020
9	Spunta	6,1	5,5	10,7	8/10/2019	11/2/2020
10	Spunta	5,6	6,4	9,2	24/10/2019	3/3/2020

En los lotes de producción de papa para industria (Innovator), el rendimiento de los tubérculos se vio afectado significativamente por las condiciones del sitio (por el manejo del cultivo y la Ca_i) y la fertilización con Ca (Tabla 2). El rendimiento de tubérculos varió de 29,5 a 68,8 Mg ha⁻¹ (Tabla 2). El menor rendimiento se registró en los testigos (promedio 49,7 Mg ha⁻¹) y el máximo en las parcelas fertilizadas con Ca (promedio 59,4 Mg ha⁻¹), siendo la respuesta del 19,5%. El rendimiento fue similar al reportado para la variedad en el SEB (Giletto et al., 2019). En los lotes de producción de papa para consumo fresco (Spunta), la interacción sitio x dCa (dosis de Ca) fue significativa (Tabla 2, Figura 1). El rendimiento de tubérculos varió de 60,4 a 87,2 Mg ha⁻¹ (Figura 1), siendo superior al reportado en la zona para Spunta (Argenpapa, 2020). Si bien, para los tres sitios se produjo un incremento del rendimiento al fertilizar con Ca, sólo en dos de ellos el efecto fue significativo (sitios 9 y 10, Figura 1). La respuesta a la aplicación de Ca fue en promedio de 8 y 22% para el sitio 9 y 10, respectivamente.

La MS en Innovator, al igual que el rendimiento, se vio afectada significativamente por las condiciones del sitio y la fertilización con Ca (Tabla 2). Dicha variable varió de 16,0 a 20,4 g 100 g⁻¹ (Tabla 2). La menor MS se determinó en los testigos (promedio 18,3 g 100 g⁻¹) y la máxima se registró en los tratamientos fertilizados con Ca (promedio 19,1 g 100 g⁻¹), superando al umbral del 18% utilizado como referencia por la industria para la variedad estudiada (Caldiz, 2007). En contraposición, en los lotes de producción con Spunta, la MS no se vio afectada ni por las condiciones del sitio experimental ni por la fertilización con Ca (Tabla 2), y fue menor (promedio 16,9 g 100 g⁻¹) que la informada para Innovator, coincidiendo con lo reportado por Carlón Guerra (2022). Respecto a la EUF_{Ca} para papa para industria, no se vio afectada por las condiciones del sitio, mientras que en los lotes con papa para consumo fresco estuvo significativamente afectada por el manejo del cultivo y la Ca_i del suelo (Tabla 2).

En la Figura 2 se muestra la relación entre la EUF_{Ca} y la Ca_i del suelo. Se puede observar que, coincidiendo con lo reportado por otro autor para otros nutrientes (Mateos Inchauspe, 2021), la EUF_{Ca} disminuyó a medida que aumentó la Ca_i . La EUF_{Ca} podría utilizarse para realizar la evaluación económica de la fertilización al compararla con la relación de precios de insumo y producto, al igual que se utiliza la eficiencia agronómica de uso de N del fertilizante para dicho fin (Giletto, 2017). De esta manera, cuando la EUF_{Ca} sea mayor a la relación de precios, en este caso 11,5 kg tubérculo kg Ca⁻¹, estará indicando que la práctica de fertilización con Ca resultó económicamente viable (Barbazán & García, 2015), lo cual se logró con valores de Ca_i menores de 12,5 cmol_c kg⁻¹ (Figura 2).



Tabla 2: Rendimiento, concentración de materia seca de los tubérculos (MS) y eficiencia de uso del fertilizante (EUF_{Ca}) expresada en base seca, en los diez sitios experimentales.

		Rendimiento		MS		EUF _{Ca}
		(Mg ha ⁻¹)		(g 100 g ⁻¹)		(kg kg ⁻¹)
Innovator	Sitio 1	51,3	cd	19,9	ab	33,5
	Sitio 2	58,6	bc	18,5	d	22,3
	Sitio 3	68,8	a	17,7	e	33,1
	Sitio 4	61,9	ab	16,0	f	41,0
	Sitio 5	62,7	ab	20,4	a	29,6
	Sitio 6	49,2	d	19,1	c	13,3
	Sitio 7	29,5	e	19,4	bc	23,9
	dCa 0	49,7		18,3		
	dCa 80	59,4		19,1		
	Sitio	**		**		ns
	dCa	**		**		
	Sitio x dCa	ns		ns		
Spunta	Sitio 8	61,1		16,9		4,8 b
	Sitio 9	70,5		17,3		9,1 b
	Sitio 10	79,5		16,5		32,6 a
	dCa 0	66,8		16,8		
	dCa 80	74,0		16,9		
	Sitio	**		ns		**
	dCa	**		ns		
	Sitio x dCa	**		ns		

En cada sitio o dCa, letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas según test de diferencias mínimas significativas ($p < 0,05$). ** Significativo a $p < 0,01$; ns = no significativo.

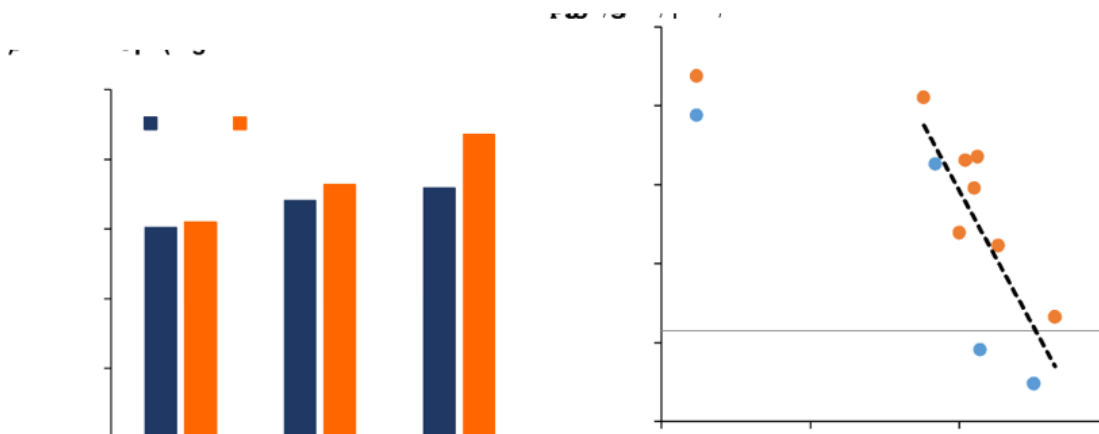


Figura 1. Rendimiento de los tubérculos de la variedad Spunta, en las unidades experimentales testigos (sin fertilizar con calcio) (Ca-0) y en las fertilizadas (80 kg ha⁻¹) (Ca-80). Para cada sitio experimental, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 2. Eficiencia de uso del fertilizante utilizado como fuente de calcio (EUF_{Ca}) para las dos variedades estudiadas (Innovator y Spunta), en función de la concentración de calcio intercambiable (Cai) para cada sitio experimental. La línea gris continua indica la relación de precios de 11,5 kg tubérculo kg Ca⁻¹.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo permitieron concluir que, el rendimiento y la MS variaron con la variedad y el manejo del cultivo en cada sitio. La $EU\text{F}_{\text{Ca}}$ para ambas variedades disminuyó a medida que aumentó la Ca_e , estableciéndose que la práctica de fertilización con Ca resultó económicamente viable cuando la concentración de calcio intercambiable fue menor de $12,5 \text{ cmol}_\text{c} \text{ kg}^{-1}$ y la relación de precios mayor de $11,5 \text{ kg}$ tubérculo kg Ca^{-1} . Por lo tanto, sería necesario seguir investigando la respuesta del cultivo y otros parámetros de calidad posiblemente afectados por la fertilización con Ca, especialmente en suelos con menor Ca_e .

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos *¿La disponibilidad de bases y micronutrientes limitan el rendimiento y la calidad de los tubérculos de papa?* (15/A646; AGR642/21) y *Métodos de diagnóstico de cationes básicos y micronutrientes para el cultivo de papa* (Res. 03 2022. PICT.2020-SERIE A 01330, FONCyT).

BIBLIOGRAFIA

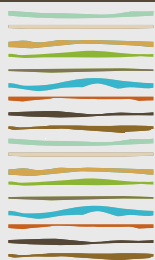
- Argenpapa. 2020. Argentina: La cosecha de papa llega entre buenos rindes y altos costos de producción en el sudeste bonaerense. <https://www.argenpapa.com.ar/noticia/8369-argentina-la-cosecha-de-papa-llega-entre-buenos-rindes-y-altos-costos-de-produccion-en-el-sudeste-bonaerense> (Se accedió el 23/01/2020).
- Barbazán M & FO García. 2015. Evaluación de la fertilidad y recomendación de fertilización. En: Echeverría HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp: 379-399.
- Barbieri PA, HE Echeverría, HR Sainz Rozas, & JP Martínez. 2015. Soybean and wheat response to lime in no-till Argentinean mollisols. Soil Tillage Res. 152:29-38.
- Caldiz, D.O. 2007. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. McCain Argentina SA, Balcarce-Basf Argentina SA. Capital Federal. Argentina. 226 p.
- Caldiz DO; PG Viani, CM Giletto, EC Zamuner & HE Echeverría. 2018. Improving yield and quality of processing potato crops grown in the Argentinian Pampas: the role of N, P and S and their impact on CO_2 emissions. Potato Research 61:147-168.
- Carlón Guerra G. 2022. Comparación de métodos de monitoreo de zinc en tejido vegetal de papa. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 27 p.
- Dewis J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. FAO soils Bulletin 10:36-57.
- Echeverría, HE & CM Giletto. 2015. Papa. En: HE Echeverría & FO García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. EEA Balcarce, Buenos Aires. pp. 585-608.
- FAOSTAT. 2022. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV> (Se accedió el 02/08/2022).
- Giletto CM, NI Reussi Calvo & HE Echeverría. 2019. Predicting nitrogen losses in potato crop with soil nitrogen and plant tests. Agronomy Journal 111:2493-2503.
- Giletto CM. 2017. Diagnóstico del estatus nitrogenado en variedades de papa para industria. Tesis Doctora en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 231 p.
- Kloster Erregerena M. 2022. Fertilización con calcio: diagnóstico de deficiencias y calidad de tubérculos en papa para industria. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 44 p.
- Mateos Inchauspe, F. 2021. Diagnóstico de nitrógeno en papa para industria en el sudeste bonaerense. Tesis Magister en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 73 p.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Rhoades J. 1982. Cation Exchange Capacity. In: AL Page (ed.). Methods of Soil Analysis. Parte 2. Agronomy Monograph N° 9. ASA & SSSA. Madison, WI. pp. 178-190.
- Sainz Rozas, H, 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 del Simposio Fertilidad. Rosario. 141-158.



Soil Survey Staff. 1999. Mollisols In: Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd. ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. Agriculture Handbook N°436. pp.555-654.

Walkley A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-37.





ALTERNATIVAS DE MANEJO DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN CAÑAVERALES DE EDAD AVANZADA EN TUCUMÁN, ARGENTINA

Romero, J.I.¹; E. Arroyo¹; A. Peña Malavera²; H. Rojas Quinteros¹; A. Sanzano¹

¹Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC);

²ITANOA (EEAOC-Conicet) Tucumán, Argentina. jiromero@eeaoc.org.ar

RESUMEN

En caña de azúcar, mantener niveles adecuados de fósforo (P) disponible en el suelo resulta esencial para obtener altos rendimientos. Un cañaveral deficiente en P presenta un retraso en el crecimiento, con tallos y entrenudos delgados y cortos y un macollaje pobre. En Tucumán, los valores críticos de P (Bray Kurtz II) establecidos son 25 ppm (respuesta probable) y 13 ppm (respuesta segura). En estas situaciones de bajo P, tradicionalmente se fertiliza en el fondo del surco de plantación con una dosis suficiente para cuatro a cinco cosechas. Los balances de P estimados localmente en cañaverales de buena producción fueron negativos luego de cinco cosechas a pesar de haber sido fertilizadas según la recomendación vigente. Así, las últimas "socas" (rebrotos o cosechas de la misma cepa) de un cañaveral podrían verse limitadas en su crecimiento por falta de P. En la Argentina no se dispone de información sobre el efecto de la reaplicación de P en cañaverales en edad de socas. En este ensayo en caña de azúcar a campo, en un suelo con niveles deficitarios de P, la refertilización con P (incorporada y superficial) en socas avanzadas, fertilizadas con N, generó respuestas positivas en los rendimientos culturales y permitió prolongar la vida útil del cañaveral. Los resultados permitirían diseñar nuevas alternativas de manejo de la fertilización fosfatada en caña de azúcar en Tucumán, Argentina.

Palabras clave: nutrición, residualidad, longevidad.

INTRODUCCION

El fósforo (P), es el segundo nutriente limitante de la productividad agrícola a nivel mundial. Su ciclo en los agrosistemas es relativamente cerrado, siendo las principales salidas la exportación por cosecha y la erosión; la única vía importante de reposición es la fertilización o la aplicación de enmiendas orgánicas.

Para obtener altos rendimientos de caña de azúcar, resulta esencial mantener niveles adecuados de P disponible. Un cañaveral deficiente en P presenta un retraso general en el crecimiento, tallos y entrenudos delgados y cortos y macollaje pobre (Kingston 2013).

La deficiencia de P suele observarse con mayor frecuencia en cañas socas (rebrotos posteriores a la primera cosecha). Los síntomas tienden a incrementar con la edad.

En Tucumán, se establecieron tres situaciones diferenciales respecto a la disponibilidad de fósforo (BrayKurtz II) para el cultivo de caña de azúcar (Pérez Zamora *et al.*, 1999; 2002). Suelos con contenido de P menores a 13 ppm se asociaron con una respuesta "segura" a la fertilización fosfatada; los que presentaban contenidos medios (13-25 ppm), con una respuesta "probable" y con respuesta "nula" en suelos con más de 25 ppm en el suelo.



En lotes con bajos niveles de P, tradicionalmente en Tucumán la fertilización consiste en aplicar en el fondo del surco de plantación una sola dosis de P, en una cantidad suficiente para cuatro a cinco cosechas, según la vida económica del cañaveral. Esta práctica aprovecha el comportamiento residual del P (Fontanetto 2003) y permite simplificar la logística de fertilización, facilitando que en las socas sucesivas solo se aplique N.

Las dosis de P recomendadas actualmente para Tucumán varían entre 20 kg y 35 kg de P_2O_5 /ha*año⁻¹, en función del nivel de P en suelo y del rendimiento esperado. Estas dosis fueron establecidas siguiendo el criterio de suficiencia (Pérez Zamora *et al.*, 2000 y 2002).

En experiencias locales establecidas en un suelo con bajos niveles de P, se estimaron balances negativos de P luego de cinco cosechas, a pesar de haber sido fertilizadas según la recomendación vigente. Las pérdidas de P incrementan considerablemente si se elimina el residuo agrícola de cosecha (RAC) (Romero *et al.*, 2022). De este modo, cañaverales de alta productividad en suelos con bajos niveles de P y en situaciones de quema, pueden mostrar balances de P negativos, aun habiendo sido fertilizados con P en la plantación; y así, las últimas socas o rebrotes, podrían verse limitadas por este elemento. Surge así la disyuntiva sobre la conveniencia de refertilizar con P cañaverales de edad avanzada en suelos con bajo P, o de hacerlo directamente en la renovación del cañaveral.

Uno de los mayores desafíos en la producción de caña de azúcar es incrementar la longevidad del cañaveral, es decir, prolongar su vida útil. Esto permitiría obtener beneficios económicos, operativos, logísticos y ambientales. En Tucumán, es frecuente la renovación de los cañaverales aproximadamente a los cinco años de su implantación, para que la producción sea económicamente rentable. Se considera como umbral para determinar la renovación, un rendimiento cultural entre 55-60 t/ha, valor que varía en función del rendimiento potencial, la relación de precios, entre otros.

Entre las prácticas claves para lograr cañaverales longevos resulta necesaria una fertilización adecuada para cada lote. Un correcto manejo de la fertilización fosfatada en lotes deficitarios, adoptando estrategias que mejoren la eficiencia de uso de P, mejoraría la productividad de las cañas socas y la longevidad del cañaveral. Zambrosi (2020) destacó que una sola aplicación de altas dosis de P en la plantación podría no ser suficiente para mantener un adecuado status nutricional y elevadas producciones en las socas viejas.

En Argentina no se cuenta con información sobre el efecto de la reaplicación de P en cañas socas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dicha práctica en los rendimientos de socas de edad avanzada, planteando una estrategia de fertilización bianual (una dosis de P suficiente para dos campañas) y con aplicación incorporada y superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la campaña 2018-19, en un lote de la variedad LCP 85-384, edad soca 4, ubicado en la localidad de Taco Palta, Burruyacu, Tucumán (26°47'00" S; 65°02'00" O). En ese lote la cosecha se efectúa mecánicamente y el RAC se mantiene en superficie. El suelo presenta textura franca, pH 6,2; 0,4 dS/m de conductividad eléctrica (CE) y no presenta concentraciones significativas de carbonatos; el contenido de materia orgánica 1,8% y el de P extractable (Bray-Kurtz II) de 10,8 ppm, dentro del rango de "respuesta segura" (deficiencia) al agregado de P (Pérez Zamora 2002; 2015).

El diseño del ensayo fue en bloques completos aleatorizados (DBCA), con cuatro repeticiones, con micro-parcelas de 5 surcos por 10 m de largo. Considerando el comportamiento residual del P como una ventaja operativa, los tratamientos fueron planteados para dos campañas consecutivas, aplicando una dosis de P suficiente para cubrir la necesidad de dos ciclos de cultivo, siguiendo la recomendación vigente. Se emplearon dos fuentes de P: superfosfato triple (SFT) y un fertilizante compuesto, que contiene principalmente N (en forma de nitrato de amonio calcáreo, CAN) y P y además aporta potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). En la edad de soca 5 sólo se fertilizó con nitrógeno (CAN o Urea), sin aporte de P. Los tratamientos se detallan en la Tabla 1.



Tabla 1. Tratamientos de fertilización empleados durante dos edades sucesivas de caña de azúcar. Burruyacu, Tucumán, Argentina.

Soca 4 – Campaña 2018-19				Soca 5 – Campaña 2019-20			
	Trata- miento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)		Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)
T1	0	----	0	→	0	----	0
T2	N	Urea (3kg/surco)	85 N	→	N		85 N
T3	P	SFT (2,1 kg/surco)	60 P ₂ O ₅	→	P residual	----	0 P ₂ O ₅
T4	N+P	Urea+ SFT (3+2,1 kg/surco)	85 N+60 P ₂ O ₅	→	N+P residual	Urea (3kg/surco)	85 N
T5	N+P (K+S+Mg)	fertilizante compuesto (5,7 kg/surco)	75 N + 60 P ₂ O ₅ (10K,14S,3Mg)	→	N+P residual	CAN (3kg/surco)	50 N

El SFT y la urea se incorporaron en la costilla del surco. El fertilizante compuesto y el CAN se aplicaron sobre la línea del surco sobre el rastrojo, según recomendaciones comerciales.

En la edad de soca 4, los fertilizantes se aplicaron el 23 de noviembre de 2018 y la cosecha se realizó el 28 de mayo de 2019. En la edad de soca 5, los tratamientos se aplicaron el 31 de octubre de 2019 y se cosechó el ensayo el 2 de junio del 2020.

En la campaña 2018-19 se registraron precipitaciones de 1400 mm. En 2019-20 alcanzaron 1050 mm, con registros inferiores a las medias registradas en la primavera y el verano (Fuente: <https://agromet.eeaoc.gob.ar/>). Además, en enero 2020 granizó en el ensayo.

En ambas campañas, en febrero se realizó un muestreo y análisis foliar del contenido de N y P. Se tomaron treinta hojas +1 en cada parcela y se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la EEAOC. Además, entre mayo y junio de ambas campañas, se realizó la estimación del rendimiento cultural. Para ello se determinó la población de tallos (conteo de 10 m lineales en los tres surcos centrales de cada parcela) y el peso de tallos (tres sub-muestras de 15 tallos consecutivos por parcela) de los diferentes tratamientos. En dichas muestras de tallos también se analizaron los parámetros de calidad de jugo.

Respecto al análisis estadístico, para las variables medidas se ajustaron modelos lineales, con efectos fijos de tratamiento y bloque. Las medias de los tratamientos se compararon mediante el test LSD de Fisher. Cada campaña fue analizada de manera independiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis foliares

Los resultados de los análisis de tejido foliar (Tabla 2) mostraron una clara respuesta al agregado de P en la soca 4 y al fósforo residual en la soca 5 (T3, T4 y T5). El valor de P foliar reportado como crítico para caña de azúcar en Tucumán y otras zonas cañeras del mundo es de 0,16%-0,17% (Pérez Zamora, 1997; 1999; 2001); por lo tanto, sólo los tratamientos que recibieron P pudieron alcanzar ese valor. Los tratamientos T1 y T2 presentaron valores de deficiencia de P. En este sentido, Zambrosi (2020) observó que la fertilización con P incrementó la concentración de este elemento en hojas y su absorción por el cultivo, mostrando esta última una relación positiva con los rendimientos alcanzados.

Cabe destacar que no se observaron diferencias en el contenido de P foliar entre T4 y T5, lo que indicaría que no hubo diferencias en la disponibilidad del P aplicado tanto en superficie sobre el surco (fertilizante compuesto) como incorporado en la costilla del surco (SFT). Este resultado resulta de interés, ya que por la baja movilidad y fuerte interacción que presenta el P en el suelo, podría esperarse que su aplicación en superficie limitara la eficiencia de uso del fertilizante por la caña soca (Zambrosi, 2017). Sin embargo, el buen régimen de lluvias de la campaña 2018-19, sumado al mantenimiento de la humedad superficial gracias al RAC y la superficialidad del sistema radicular de las socas (Singh, 2013) pueden haber favorecido la incorporación y



absorción del P en los centímetros superficiales del suelo.

En la edad soca 5 (Tabla 2), el P foliar reflejó el efecto residual de este elemento en T4 y T5. Sin embargo, los contenidos de P fueron menores a los determinados en la soca 4.

Tabla 2: Análisis foliares. Contenido de N y P en caña de azúcar. Burruyacu, Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Soca 4 (2018-19)		Soca 5 (2019-20)	
	N foliar (%)	P foliar (%)	N foliar (%)	P foliar (%)
T1 (0 / 0)	1,83	0,14 (A)	1,45 (A)	0,14 (A)
T2 (N / N)	1,88	0,14 (A)	1,58 (AB)	0,14 (A)
T3 (P / 0)	1,76	0,16 (B)	1,48 (A)	0,15 (A)
T4 (N+P / N)	2,01	0,19 (C)	1,75 (C)	0,16 (B)
T5 (N+P / N)	1,94	0,19 (C)	1,73 (BC)	0,16 (B)
	p=0,6	p<0.05	p<0.05	p<0.05

Las medias que no comparten la misma letra en la columna, son significativamente diferente según LSD Fisher al 5% del nivel de significancia.

Los resultados indican que el nivel de respuesta al agregado de P fue de mayor magnitud en la soca 4, campaña en que se agregó el nutriente, que en la soca 5, donde se observó un efecto residual del P (T4 y T5) pero con menores diferencias respecto al tratamiento nitrogenado (T2). Esto podría explicarse por la mejor condición ambiental y/o disponibilidad de N que contribuyó a una mayor eficiencia agronómica del P del fertilizante en el año de aplicación (Syers *et al.*, 2008), y/o por una menor cantidad de P disponible (remanente luego de la absorción y extracción de la caña en edad de soca 4 y la interacción con el suelo) que no haya sido suficiente para cubrir los requerimientos de P en edad de soca 5.

Componentes del rendimiento y estimación del rendimiento cultural

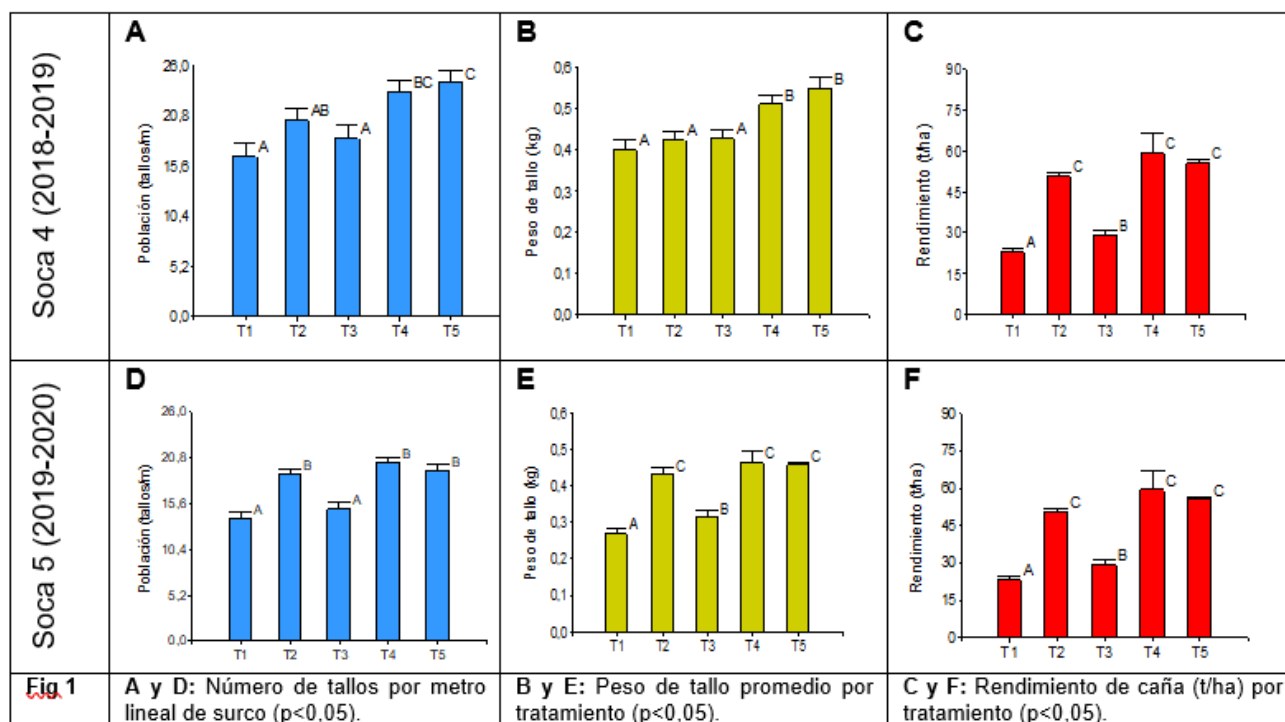
Respecto a los componentes de rendimiento cultural, la mejora en el estatus nutricional de P del cultivo (Tabla 2) generó incrementos significativos en población (Fig. 1A) y peso de tallos (Fig. 1B) en los tratamientos T4 y T5 (N+P) en la soca 4, manifestando la deficiencia de P en el sitio. Los tratamientos T4 y T5 mostraron aumentos de producción de 37% y 52% respecto a T2 (N), respectivamente, y de alrededor del 100% respecto a T1 (sin fertilizar) (Fig. 1C). Los rendimientos en dicha campaña fueron de 42 t/ha, 54 t/ha, 50 t/ha, 74 t/ha y 82 t/ha para los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente (Fig. 1 C).

La diferencia entre los tratamientos T2 y T4 se debe exclusivamente al agregado de P (SFT), ya que la fuente y dosis de N aplicada fue la misma en ambos. En el caso de T5, además de la sinergia entre N y P, otros posibles aportes a la respuesta obtenida en soca 4 podrían ser la combinación de fuente y dosis de N utilizada, la fuente de P y la presencia de otros nutrientes como azufre (S).

La respuesta al N (T2 vs T1) fue de 29%, y la respuesta al agregado de P solo (T3 vs T1) fue de 19%. Agregando N+P juntos (T4 y T5 vs T1) generó respuestas de 76% y 95%, evidenciando el efecto sinérgico del agregado de N y P en dicha campaña (Fig 1 A y B).

En la soca 5, las diferencias observadas entre T4 y T5 (N+P residual) respecto a T2 (N), no fueron estadísticamente significativas (Fig. 1D, E y F) a pesar de las diferencias en P foliar. Sin embargo, la respuesta promedio en rendimiento al P residual (T4 y T5) fue de 18% y 10% respecto a T2 (Fig1 F). Los tratamientos con N (T2, T4 y T5) se diferenciaron estadísticamente de los tratamientos sin N en todas la variables analizadas (Fig. 1D, E y F).





Las medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes según LSD Fisher al 5% del nivel de significancia.

Los componentes del rendimiento de todos los tratamientos en la campaña 2019-20 fueron menores que en la campaña 2018-19. Esto se explicaría por el efecto del envejecimiento de la cepa (edad); además del menor aporte de lluvias y el granizo ocurridos en 2019-2020. Zambrosi (2020) evaluó la reaplicación de P en socas 3 y 4, destacando que los efectos del P no dependen de la edad del cañaveral y determinó una respuesta promedio del 21%.

Se observa que la caída de producción de T2 (N) de soca 4 a soca 5 fue solo del 5%, mientras que la caída en T4 (N+P) fue de 20%, habiendo recibido ambos el mismo aporte de N en las dos campañas. Según Blake *et al.* (2003), el efecto residual de la fertilización con P depende principalmente del balance de P y de la capacidad de adsorción del suelo.

El requerimiento de P de la variedad LCP 85-384 es 0,22 kg P/t de caña (Romero *et al.*, 2020). Así, con rendimientos de 82 y 74 t/ha para T5 y T4, el P en la biomasa aérea de la soca 4 fue de 41 kg y 37 kg de P_2O_5 /ha, respectivamente. Una fracción de ese P retorna con el RAC, pero no será de disponibilidad inmediata. La absorción de P en el ciclo 2018-19, superó la dosis anual de 30 kg P_2O_5 /ha aplicada. Syers *et al.* (2008) estableció que el P residual contribuye a la reserva fácilmente disponible para la planta, pero que su tasa de liberación puede no ser suficiente para cubrir los requisitos de cultivares de alto rendimiento. Se podría inferir que el P disponible para la soca 5 fue menor que en soca 4, resultando limitante para los rendimientos en un suelo con niveles de P extractable inferiores al crítico.

En el tratamiento T5, la menor respuesta en soca 5 (10% en lugar de 52%) puede deberse, además de lo anteriormente citado para el P, a una menor disponibilidad de N, ya que se fertilizó con isodosis de productos comerciales (3kg CAN/surco vs 3kg urea /surco).

Respecto a la calidad del jugo, no se observó diferencias significativas entre tratamientos.

Al incrementar los rendimientos, el P permitió prolongar la vida del cañaveral por dos cosechas más, generando beneficios económicos, logísticos y ambientales.

Los elevados niveles de respuesta al P observados en este ensayo tanto en aplicación incorporada como en superficie, resultan muy interesantes dada la edad avanzada del cañaveral e invitan a reanalizar posibles

estrategias de manejo de este nutriente.

Además, la posibilidad de hacer un aporte de P a las cañas socas y sin la necesidad de incorporarlo al suelo, sino haciéndolo sobre el RAC, resulta en una importante herramienta técnica y operativa para el productor que puede facilitar la adopción de estas estrategias.

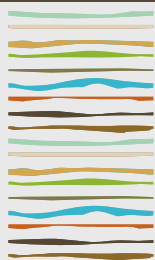
CONCLUSIONES

- La refertilización con P en socas de edad avanzada, fertilizadas con N, generó respuestas significativas en los contenidos foliares de este elemento y en los rendimientos culturales de caña de azúcar.
- El P manifestó efecto residual en las socas posteriores a la de su aplicación.
- La aplicación superficial de P generó respuestas similares a la aplicación incorporada. La posibilidad de aplicar P en superficie, implica una importante mejora operativa, pero debe evaluarse su eficiencia en las diferentes condiciones edafoclimáticas.
- Podrían plantearse mejoras en el manejo de la fertilización fosfatada orientadas a incrementar la productividad y longevidad del cañaveral, de forma eficiente y sustentable.

BIBLIOGRAFIA

- Blake L., A.E. Johnston, P.R. Poulton y K.W.T. Goulding. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil* 254: 245-261.
- Fontanetto, H., Vivas, H., Albrecht, R., & Hotian, J. L. (2003). La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. I- efecto sobre el rendimiento de granos. *Inta*.
- Kingston, G. 2013. Mineral Nutrition of Sugarcane. *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*, 85–120.
- Pérez Zamora. 1997. Consideraciones sobre fertilizantes para la caña de azúcar. Guía práctica para su uso en Tucumán. Publicación Especial N° 13 – EEAOC.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas, A. Menéndez y M. Morandini. 1999. Criterios modernos para la fertilización de caña de azúcar en Tucumán. Publicación especial N°14. EEAOC.
- Pérez Zamora, Federico; Jorge Scandaliaris, Rafael Villegas y Guillermo Fadda. 2000. "Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. XVII Congreso de Ciencia del Suelo, Mar del Plata 2000, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris, R. Villegas y G. Fadda. 2002. Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. *Informaciones Agronómicas* N°46. IPNI. p 11-13.
- Romero, Juan I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; A. Sanzano; E. R. Romero. 2020. Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de caña de azúcar bajo riego por goteo y en secano en Tucumán-Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 97 (1).
- Romero, Juan I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; G. Juárez**, R. Dellmans**, A. Sanzano* y E. R. Romero. 2022. Balance aparente de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y secano en Tucumán-Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*. Tomo 99(1): 53-60.
- Singh, P. et al. (2013) 'Ratooning Induced Rhizospheric Changes Impede Nutrient Acquisition and Growth in Sugarcane Ratoon Crop During Grand Growth Stage in Sub-tropics', *Sugar Tech*, 15(1), pp. 52–64. doi: 10.1007/s12355-012-0189-2.
- Stewart, W. M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 2007, vol. 67, no 7.
- Syers, J. K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 18. FAO-UN. 107pp.
- Zambrosi, F. C. B.; Vasconcelos Ribeiro R., Caruso Machado, E., y Garcia J. C.. 2017. 'Phosphorus deficiency impair shoot regrowth of sugarcane varieties', *Experimental Agriculture*, 53(1), pp. 1–11. doi: 10.1017/S0014479715000290.
- Zambrosi, B. F. C. (2020) 'Phosphorus Fertilizer Reapplication on Sugarcane Ratoon: Opportunities and Challenges for Improvements in Nutrient Efficiency', *Sugar Tech*. Springer India, 23(3), pp. 704–708. doi: 10.1007/s12355-020-00925-9.





DIFERENCIAS EDÁFICAS Y FLORÍSTICAS EN DOS SITIOS CON DIFERENTE MANEJO EN UN SUELO HIDROHALOMÓRFICO

Rosa, M.J.¹, V.S. Marro¹, L.C. Bustos¹, T. Grosso¹

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC;
Ruta Nacional 36, km 601, (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba,
mrosa@ayv.unrc.edu.ar.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del hidro- halomorfismo sobre la composición florística en dos sitios contiguos: Reserva Natural La Felipa (R) y un pastizal natural con uso ganadero (SP). Para ello se realizó un muestreo en ambos sitios que tienen características edáficas similares, durante 2016-2019, en cada sitio, mensualmente y con un diseño de muestreo al azar simple, se relevaron 15 muestras de 0.25 m², registrándose lista florística, cobertura vegetal (CV) y suelo desnudo (CSD), *sensu* Braun Blanquet. Además se tomó una muestra compuesta de 0-20 y 20-40 cm de profundidad, con un barreno, donde se determinó conductividad eléctrica (CE), pH y materia orgánica (MO). Con un penetrómetro se determinó resistencia mecánica (RM) hasta los 40 cm de profundidad. Los datos de vegetación y de RM fueron sometidos a ANOVA y prueba de comparación de medias LSD ($p \leq 0,05$). Solo se observaron diferencias significativas en la riqueza de especies entre ambos sitios, SP: 38 y R: 22. La RM en ambos sitios fue alrededor de 4 MPa, estando a menor profundidad en el SP. La CV fue 84.8% (31.6% fueron halófitas y 68.4% halófitas facultativas) en SP y 92,6% en R (halófitas 48.1% y halófitas facultativas 51.9%) y el CSD fue 15.19% y 7.4%, respectivamente. La CE fue 2.21 dS/m para SP y 1,44 dS/m para R y la MO, es de 0.47 en SP y 0.7 en R, mientras que el PH no tuvo diferencias notables en los dos sitios. Se concluye que las diferencias observadas en las diferentes variables del suelo analizadas se deben a las actividades antrópicas del pastoreo y a la composición de la CV, las cuales habrían modificado la dinámica de sales en el suelo en los sitios de estudio

Palabras clave: hidro-halomórficas, composición florística, resistencia mecánica.

INTRODUCCIÓN

Argentina es el tercer país del mundo con mayor superficie afectada por el halo-hidromorfismo (Taboada y Lavado, 2009), sumando en la región pampeana aproximadamente 20 millones de hectáreas presentan esta problemática (Gorgas y Bustos, 2008). Muchos de estos ambientes se asocian a planicies y napas freáticas cercanas a la superficie (Jobbagy et al., 2008), que transitan, durante periodos cortos, situaciones hídricas extremas (ej.: inundaciones y sequías). Estos ambientes, en su mayoría se destinan a usos ganaderos con producciones limitadas de forraje o permanecen improductivos (Marino y Agnusdei, 2002-2011?). El centro-sur de la provincia de Córdoba cuenta con aproximadamente 1.700.000 ha de suelos hidro-halomórficos (25%) del total de su superficie (Weir, 2000), ocupadas en su gran mayoría por pastos naturales degradados. Las comunidades vegetales son pastizales de *Distichlis spicata* y *Poa spp.* Existe preocupación en gran parte de la región por la cercanía de la napa freática a la superficie y los anegamientos temporarios que ésta suele ocasionar. Los efectos positivos de la presencia de la misma para el desarrollo de los cultivos y los rangos para que estos se den están bien documentados, así como también los efectos negativos generados a partir de procesos de anoxia por napas demasiado cercanas a la superficie (con pérdida de plantas o reducción de rendimientos), a los que se le adicionan problemas físicos de suelo (la falta de piso para sembrar, realizar la-

bores intermedias y/o cosechar) y de ascenso de sales por capilaridad. Las características físico-químicas y los excesos hídricos casi permanentes condicionan el uso de estos suelos a pasturas naturales exclusivamente.

La salinidad reduce la capacidad de las plantas para absorber agua, y esto provoca rápidamente reducciones en la tasa de crecimiento, junto con una serie de cambios metabólicos idénticos a los causados por el estrés hídrico (Munns, 2002). En base a la resistencia de las plantas hacia la salinidad podemos clasificarlas en halófitas obligadas y facultativas. Las primeras poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, pero su tolerancia depende de cada especie en particular. Las facultativas en cambio, pueden tolerar la salinidad pero no logran alcanzar su desarrollo completo. Para estimar la salinidad que poseen los suelos el parámetro más utilizado es la conductividad eléctrica (CE), donde se mide la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Se expresa en dS m⁻¹ equivalentes a 1 mmhos cm⁻¹. La CE refleja la concentración de sales solubles en la disolución (Bonadeo., *et al* 2017),

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar las variables estructurales y funcionales del suelo y la variación de la riqueza florística en condiciones edáficas hidro-halomórficas bajo dos manejos diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio (Figura 1) está ubicada al sureste de la provincia de Córdoba, en el dpto Juárez Celman, Pedanía Reducción, a 15 km al SSE de la localidad de Ucacha, en el área de influencia de la Reserva Natural Laguna La Felipa, entre la ruta provincial N°158 y la Ruta Provincial N°11, geográficamente limitada por los paralelos 33°00-33°20 S y meridianos 63°30-64°00 W. La misma está situada en una llanura subhúmeda mal drenada. El paisaje presenta terrenos planos, con una serie de zonas concéntricas inundables con una frecuencia, duración y profundidad decreciente hacia la periferia de la laguna. Las comunidades vegetales son pastizales de *Distichlis spicata* y *Poa* spp.



Figura 1: Imagen de localización del Área de estudio.

Caracterización edáfica

En el área hay aproximadamente 12000 has con relieve deprimido, caracterizados por cuerpos de agua permanentes y temporarios, de los cuales, alrededor de 7000 has presentan una génesis compleja. Se caracterizan por la escasa evolución donde se combinan procesos geomorfológicos fluviales y eólicos. Los materiales parentales son de textura franco arenosa de origen eólico en el cual predominan suelos del orden Molisol. Estos suelos son hidrohalomórficos afectados por salinidad y alcalinidad sódica, con drenaje impedido y la napa freática fluctuando próxima a la superficie, entre los 0,60 y 1,20 mts de profundidad, (Montani *et al*, 2003). Según las cartas de suelo de la República Argentina: Hoja 3363-20, Ucacha. Córdoba: INTA, es un complejo Indeterminado "LA FELIPA" de suelos hidromórficos salino-alcalinos. Corresponde a un sector muy deprimido, relacionado directamente con la laguna La Felipa, ubicada al Sur de la localidad de Ucacha. Presenta inundaciones de muy larga duración, y el resto del tiempo, la capa freática se encuentra muy cercana a la superficie. Los suelos, formados a partir de sedimentos franco arenosos, se manifiestan en capas sin edafización, mal drenadas y con evidentes signos de gleyzación por los colores grisáceos, con salinidad y alcalinidad sódica desde superficie. (Fantino, *et al* 2010). Las características físico-químicas y los excesos hídricos casi permanentes condicionan el uso de estos suelos a pasturas naturales exclusivamente.

Caracterización climática

Según la clasificación de Thornthwaite y Matter (1948), la zona se encuentra dentro de un tipo climático subhúmedo-seco. En cuanto a las precipitaciones posee un promedio anual de 817.61 mm, concentradas entre los meses de noviembre y marzo. La temperatura media es de 16°C con una marcada estacionalidad y las principales adversidades climáticas son: caída de piedra, sequías, intensidad de las precipitaciones y heladas extemporáneas.

Caracterización de la vegetación

Cabrera (1979) incluye la vegetación de la Reserva La Felipa en un área de transición entre la estepa pampeana y el espinal. Debido a esto algunos autores lo ubican dentro de la región fitogeográfica del espinal mientras que otros lo ubican dentro de la provincia fitogeográfica pampeana con una fuerte influencia del espinal. Originalmente la vegetación estaba cubierta por una estepa de Pasto Salado característico del borde de las lagunas saladas, sobre suelos salobres. Predominan *Distichlis scoparia* y *D. spicata*, de poca altura y acompañadas por *Sporobolus pyramidatus*, *Diplachne uninervia* y otras.

Diseño de muestreo

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con dos tratamientos: Pastoreo (P) y Clausura (C), se asume que inicialmente ambas áreas eran iguales; durante los últimos 30 años, en (P) el uso ganadero se efectúa por pocos meses (a la salida del invierno: desde septiembre a principios de diciembre) y con carga intermedia a baja. En (R) se mantuvo en condiciones de ambiente no disturbado. Este trabajo se realizó durante 4 años consecutivos desde 2016 a 2019. Para ello se realizó un muestreo en ambos sitios donde se evaluaron sus características edáficas, observándose que presentan diferente altura sobre el nivel del mar (Sp: 193 msn y R: 194 msn). En los muestreos de vegetación aérea en cada tratamiento se hicieron censos de superficie en 15 muestras de 0.25 m², mensualmente, realizando relevamiento florístico *sensu* Braun Blanquet (1979). En los muestreos de suelo, en cada sitio se tomó 1 muestra de 0-20 y de 20-40 cm de profundidad, formada por la homogeneización de 10 piques, uniformemente distribuidos, tomados con un barreno de 5 cm de diámetro para generar una mezcla compuesta, donde se determinó conductividad eléctrica (CE), pH y porcentaje de materia orgánica (% de MO) En cada pique, con un penetrómetro de impacto de punta cónica marcado a distancias regulares de 5 cm, se determinó la resistencia mecánica (RM) hasta los 40 cm de profundidad. En el análisis de los resultados, se utilizó el paquete estadístico (Infostat, 2015). Para determinar el grado de variabilidad entre tratamientos, se realizó un análisis de varianza y cuando se encontró diferencias entre tratamientos se aplicó la prueba de comparación de medias LSD ($p \leq 0,05$). Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias (Test LSD, a nivel $p \leq 0,05$), con el fin de establecer si las diferencias entre las variables de ambos sitios fueron estadísticamente significativas, utilizando el programa estadístico INFOSAT (Di Renzo et al., 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo es una condición que influye sobre la distribución y abundancia de los organismos, por lo tanto es importante conocer los parámetros estructurales y funcionales que lo caracterizan. La CE fue 2.21 dS/m para SP y 1,44 dS/m para R y la MO, fue de 0.47 % en SP y de 0.7 % en R, mientras que el PH no tuvo diferencias notables en los dos sitios. La mayor cantidad de MO en R podría deberse al mayor aporte de residuo dado por la caída, muerte y posterior descomposición de las especies vegetales que no son consumidas por los animales en este sitio. La diferencia en la CE entre ambos sitios (Tabla 1) indica un deterioro de las condiciones físicas que podría deberse a las condiciones de manejo del lote. Investigaciones anteriores (Cantero *et al* 1996) relacionados a la salinidad, determinaron que el mayor nivel de salinización dado por la CE en SP, surge por el deterioro de las condiciones físicas de ese sitio como consecuencia del pisoteo propiciado por los animales, desencadenando ciclos de retroalimentación positiva en el sentido de una salinización superficial ya que existe un aumento de la capilaridad, mayor compactación superficial y un cambio en el régimen de transpiración a evaporación directa. Por otra parte, en R, el mantenimiento de la vegetación genera una mejora en la velocidad de infiltración, promueve el lavado de sales superficial realimentando el sistema hacia la desalinización, dado por la CE.



Tabla 1: Conductividad eléctrica dS/m (CE), pH y MO (%) según profundidad y sitios de estudio. Agosto 2022, para SP y R.

Sitios	Prof. (cm)	C.E. (1:1) (dS/m)	pH	M.O. %
PASTOREADO	0-20	2.21	10.73	0.47
	20-40	2.1	10.4	
RESERVA	0-20	1.44	10.31	0.7
	20-40	1.5	10.15	

Respecto a RM para ambos sitios (Figura 2) el valor máximo que se estuvo en el SP fue de 3.44 MPa a los 15 cm de profundidad y en R de 4.37 MPa a los 25 cm de profundidad. El uso de estos suelos con fines ganaderos en SP ha generado una compactación más cercana a la superficie que en R, dado por el origen del suelo de carácter fragipan, y al tipo de manejo al que se lo somete.

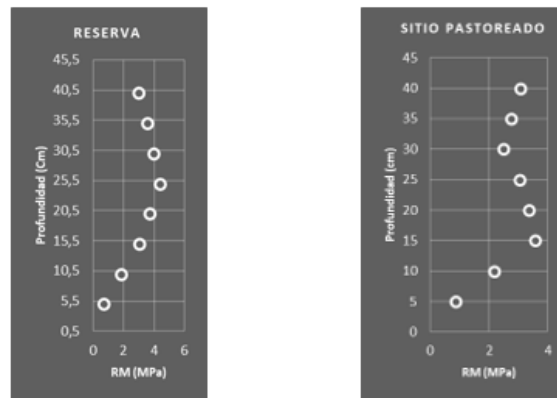


Figura 2: Gráfico de la Resistencia mecánica (RM) en ambos sitios, para SP y R.

Los censos realizados en el lugar de estudio permitieron caracterizar la vegetación asociada a los parámetros de suelo y su variabilidad espacial. En el relevamiento de los dos tratamientos, se detectaron un total de 38 especies en SP y 27 en R, teniendo 22 especies en común, de las cuales 20 son perennes y 2 son anuales. Para la caracterización y clasificación de estas especies, se consultaron estudios anteriores: Cantero *et al* 1996; Toledo y Mengui, 2015. Estos resultados fueron similares a investigaciones realizadas sobre la misma área de estudio (Montani, *et al* 2003; Rosa, *et al* 2006, Rosa 2009; Fantino *et al* 2010). El aporte de la clasificación realizada permite obtener un ordenamiento para comprender mejor las relaciones entre las variables del suelo analizadas y los grupos florísticos encontrados. A los resultados de ese relevamiento se les realizaron análisis estadísticos que se detallan a continuación en la Tabla 2, donde se visualizan variables florísticas para ambos sitios de estudio.

Tabla 2: Promedio (Prom.), Coeficiente de regresión (r^2), coeficiente de variación (cv), valor de significancia según test LSD (0,05%) entre R y SP, para las variables cobertura vegetal (CV), cobertura de suelo desnudo (CSD), Halófitas obligadas (HO), halófitas facultativas (HF) y riqueza. Ciclo 2016-2019. Reserva la Felipa. Cba.

Variables	Prom. SP	Prom. R	r^2	cv	p-valor	lsd fisher
CV	84,8	92,6	0.13	17.03	0.09	n/s
CSD	15,19	7,4	0.38	60	0.0023	**
HO	31,6	48,1	0.11	27.81	0.14	n/s
HF	68,4	51,9	0.11	18.93	0.136	n/s
RIQUEZA	14	8	0.48	24.69	0.0004	**
** diferencias significativas ($p \leq 0.05$)					n/s: no significativos	

En el análisis estadístico se observó que de todos los parámetros evaluados, solo la riqueza y la CSD presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$). En la riqueza de ambos sitios, se observó un promedio de 14 especies en SP y 8 especies para R. al igual que un mayor porcentaje de CSD en SP. En las observaciones de relevamiento se pudo distinguir que en el área donde predominaba *Disticlis spicata*, se observaba un mayor porcentaje de suelo descubierto. Esto podría estar asociado a una diferencia en el relieve del terreno.

En relación a la composición florística de los dos sitios, estas coinciden con lo descrito para la zona, como Praderas de Halófitas o Pastos Salados, por: Cabrera 1979, Ragonese and Covas 1947; Burkart *et al.* 2005; Oyarzabal, *et al* 2018. La diferencia de riqueza en ambos sitios, dado por el manejo del ganado sobre el sitio pastoreado determina un cambio en la comunidad vegetal original. Este cambio produce un mayor porcentaje de Halófitas facultativas en comparación con R donde esa distribución es más homogénea, (Tabla 2).

CONCLUSIONES

El análisis de las variables edáficas y su relación con los patrones de vegetación nos permiten identificar los recursos que disponemos y el uso que podemos realizar de los mismos. Podemos concluir que las diferencias observadas en ambos sitios tanto de suelo como de vegetación podrían deberse al uso ganadero al que se le somete a uno de los sitios. Resultaría interesante seguir futuras líneas de investigación que consideren otras variables edáficas como la fluctuación temporal de la napa freática; la composición y dinámica de la salinidad del lugar (valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}), valores de PSI y CIC y altura sobre el nivel del mar de ambos sitios, para identificar si alguna de estas variables puede generar un cambio en las comunidades vegetales. Por otro lado, la presencia del animal en SP genera mayor riqueza de especies anuales que por su condición de halofilia y por ser generalistas y de ciclo corto no contribuirían a la sucesión vegetal como si lo hacen en R.

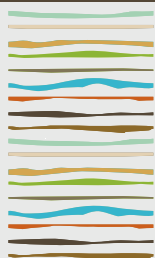
BIBLIOGRAFÍA

- Bertram, N & S Chiacchiera. 2011. Los ambientes no agrícolas de la región centro y la potencialidad forrajera. Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez. N° 22 AR. p. 18-27.
- Bonadeo, E; I Moreno; M Bongiovanni; R Marzari & MJ Ganum. 2017. *Sistema suelo-planta*. UniRío Editora ISBN 9789876882040. 323 pp.
- Burkart, SE; MF Garbulsky; CM Ghersa; JP Guerschman; RJC León; M Oesterheld; JM Paruelo & SB Perelman. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. En Oesterheld M; MR Aguiar; CM Ghersa & JM Paruelo (eds.). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León: pp. (379-399). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.
- Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Ed. Blume. España. 820 p.
- Cantero JJ; A Cantero & JM Cisneros. 1996. La vegetación de los paisajes hidrohalomorfo del centro de Argentina. Río Cuarto, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto. 298 p.
- Cabrera A. 1979. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia General de Agricultura y Jardinería. Fas 1. 2ª edición. Ed Acme. Bs. As, Argentina. 89 p.
- Di Renzo JA; F Casanove; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Rabledo. 2015. Infostat, versión 2015, grupo Infostat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fantino E; N Montani; N Monaco; O Bocco; MJ Rosa & A Heguiabehere. 2010. Efectos del pastoreo con diferentes tiempos de ocupación sobre los parámetros productivos de un pastizal (sureste de Córdoba, Argentina Central). ISSN 0210-1270. Pastos XL (1): 47-63.
- Gorgas J & M Bustos. 2008. Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad. En: Taleisnik E; K Grunberg & G. Santa María (eds.). La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria. Pp. 47-62. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. ISBN 978-987- 626-013-8.
- Jobbagy E; M Nasetto; C Santoni & G Balbi. 2008. El desafío ec hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Ecología Austral, 18:305-322.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba (MAGyRR). Plan Mapa de Suelos. 1993. Carta de suelos de la República Argentina: Hoja 3363-20, Ucaha. Córdoba: INTA
- Marino M & M Agnusdei. 2007. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de festuca alta: Crecimiento y eficiencia de uso de recursos. XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal, Cuzco, Perú.
- Montani N; MJ Rosa; N Monaco & M Mengui. 2003. Distribución de la fitomasa aérea y subterránea en una comunidad de pastizal



- inundable del sur de Córdoba en condiciones de clausura y pastoreo. *Revista UNRC* (23), 37-47. ISSN 0325-9587.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 28, 239-250.
- Oyarzabal M; J Clavijo; L Oakley; F Biganzoli; P Tognetti; I Barberis & RJ León 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología austral*, 28(1), 40-63.
- Ragonese AE & G Covas. 1947. La Flora Halófila del Sur de la Provincia de Santa Fe (República Argentina). *Darwiniana* 7(3):401-496.
- Rosa MJ; N Montani & N Mónaco. 2006. Análisis de la estructura y dinámica de dos comunidades de pastizales en La Reserva Natural "Laguna La Felipa" (Dpto J. Celman, Cba.). *Revista UNRC* (26), 55-67. ISSN 0325-9587.
- Rosa MJ; N Mónaco & N Montani. 2009. Rosa, M.J., Mónaco, N. y Montani, N. Análisis de dos comunidades de pastizales naturales del Sur-Este de Córdoba sometidas a diferente manejo. *Revista UNRC* (29)1-2, 3-18. ISSN 0325-9587.
- Toledo J & M Menghi. 2015. Contribución al conocimiento de flora y recursos de la Reserva Natural de Fauna Laguna La Felipa (Córdoba, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2(1), 99-124.
- Lavado RS & MA Taboada. 2009. Los procesos de salinización globales y específicos, de la pampa húmeda. Pp. 11. Resúmenes I Congreso de la Red Argentina de Salinidad.
- Thorntwaite C & JR Mather. 1948. Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico. Instituto de tecnología de Drexel. Public. de Climatología, 10 (3).
- Weir E. 2000. Mapas de suelos: inventario de la superficie ocupada por suelos halomórficos. En: Manual de técnicas de manejo de campos afectados por inundaciones, pp 7-8.





ANÁLISIS ACUMULADO DE APLICAR ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN DE LARGO PLAZO EN CULTIVOS EXTENSIVOS

Rouillet, N¹; A. Grasso¹; M. Díaz-Zorita²

¹Fertilizar Asociación Civil,

²F. Agronomía UNLPam.

Correo electrónico: nrouillet@fertilizar.org.ar

RESUMEN

Las variadas condiciones de manejo de cultivos y en particular de su nutrición conducen a resultados productivos dispersos que limitan la valorización de los aportes de la aplicación de fertilizantes. El uso de diferentes estrategias, o aproximaciones para el manejo de la nutrición, tiene efectos tanto de corto como de largo plazo sobre la producción de cultivos, independientes o en secuencias, y sobre el suelo. La implementación de modelos de recomendación regionales o de nutrición balanceada incorporando indicadores de caracterización del sitio y diferentes expectativas productivas permitiría mejorar los rendimientos y la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados con respecto a prácticas frecuentes de fertilización. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativas de la región pampeana. Luego de 6 campañas de estudio, en 10 sitios representativos de la región se validaron mejoras en los rendimientos de los cultivos al implementar estrategias de fertilización recomendadas o de nutrición balanceada con respecto a la aplicación actual de esta práctica. Los rangos de mejora varían según cultivos y planteos de nutrición. Gran parte de la mejora en la producción de los cultivos e indicadores de fertilidad de suelos depende de la elección de la estrategia de manejo de nutrientes en secuencias agrícolas. En la región pampeana, bajo condiciones no limitadas en nutrición los rendimientos de los cultivos superan en aproximadamente el 20% a los alcanzados con las prácticas frecuentes de fertilización. Al aumentar la duración de la secuencia de cultivos con aplicación de planteos de nutrición para medios y altos rendimientos alcanzables los niveles de fósforo extractable en la capa superior de los suelos aumenta.

Palabras clave: intensificación, nutrición balanceada, rotación

INTRODUCCIÓN

En la región pampeana la implementación de diferentes estrategias o aproximaciones para el manejo de la fertilización tiene efectos tanto de corto como de largo plazo sobre la producción de cultivos independientes o en secuencias y sobre el suelo. Se espera que la nutrición no limitante a partir de los aportes por fertilización explique entre el 29 y 39 % de los rendimientos máximos alcanzables de soja y de trigo, respectivamente. Sin embargo, a pesar de estas expectativas de brechas en los rendimientos, el área fertilizada en cultivos de cereales supera al 80% del área cultivada mientras que en el caso de cultivos de soja es inferior al 57% (Díaz-Zorita y Grasso, 2016). Además, las dosis medias de fertilizantes aplicados también muestran diferencias entre cultivos y en todos los casos con aportes de nutrientes en cantidades inferiores a las extraídas en la producción de granos.

El desafío para la fertilización es cubrir los requerimientos de nutrientes que el suelo no puede aportar para maximizar los rendimientos. Este manejo de la nutrición de los cultivos reiterado en el sistema afecta no sólo

los niveles de fertilidad de los suelos sino que acentúa en los rendimientos rendimientos entre los diferentes planteos. Son abundantes los estudios de suelos que muestran la reducción en niveles extractables de diversos nutrientes en comparación con su estado original (Sainz Rozas et al., 2011).

Son limitados en la bibliografía los estudios locales que comparan entre planteos de manejo de diferentes estrategias de nutrición. Algunos describen los efectos acumulados en el tiempo de la aplicación de prácticas individuales validando la implementación de estrategias de manejo bajo criterios de reposición y enriquecimiento (Barraco et al. 2014; Correndo et al. 2015).

El objetivo de este trabajo es cuantificar las diferencias en producción agrícola según planteos contrastantes de manejo de la nutrición en condiciones agrícolas representativos de la región y sus efectos sobre la dinámica de fósforo en los suelos productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron módulos de evaluación de larga duración en condiciones de producción representativas de sistemas agrícolas pampeanos. En todos los casos el manejo de los cultivos es bajo prácticas de labranza cero con control químico de malezas y con la aplicación de prácticas de manejo frecuentes en cultivos de alta producción adaptadas regionalmente (i.e. genotipos, control de plagas y enfermedades, etc.). En cada sitio, los cultivos y secuencias evaluados fueron seleccionados por los productores y fueron representativos de decisiones frecuentes en las regiones en estudio. En cada uno se establecieron cuatro tratamientos de manejo de la nutrición de los cultivos: i) sin fertilización, ii) fertilización promedio aplicada en la región, iii) fertilización promedio recomendada y iv) fertilización balanceada. La dosis promedio de uso en cada región se estimó a partir de la información de encuestas a 1200 productores y técnicos en la región pampeana coordinada por Fertilizar AC durante la campaña 2015/2016 (Fertilizar AC, 2017). El tratamiento de fertilización recomendada promedio se estableció para cada sitio considerando resultados de análisis de suelos y expectativas de productividad media regional según información local provista por referentes locales responsables de la conducción de los estudios. La fertilización para la nutrición balanceada de altos rendimientos se estimó según los mayores rendimientos alcanzables en cada región y considerando las demandas de NPS y Zn para tal propósito (Tabla 1). En todos los casos, las semillas sembradas de soja fueron inoculados en el momento de la siembra con productos comerciales para evitar limitaciones nitrogenadas en su normal crecimiento y producción. Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, se extrajo una muestra compuesta, y sobre ella se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P extractable (Bray I), N total, N-nitrato y S-sulfato. Se utilizó el P extractable como estimador de la disponibilidad y dinámica de este nutriente en suelo.

Tabla 1: Rangos de nutrientes aplicados según cuatro estrategias para la fertilización cultivos en la región pampeana en 14 sitios de experimentación. En el caso de fertilización con N se muestran los rangos aplicados en cultivos de cereales.

Tratamiento	Nutriente (kg ha ⁻¹)			
	N	P	S	Zn
Control sin fertilizar	0	0	0	0
Fertilización promedio aplicada regionalmente	38 a 60	7 a 14	0	0
Fertilización recomendada promedio	65 a 70	12 a 18	8 a 18	0
Fertilización para nutrición balanceada de alta producción	150 a 170	27 a 34	15 a 25	1,5

En cada sitio, los tratamientos se dispusieron en franjas de al menos 20 m de ancho y 100 m de longitud empleando equipos convencionales de siembra y conducción de los cultivos con cosecha mecánica en estadios de madurez comercial de los cultivos. Los resultados se analizaron considerando cada sitio como una repetición y comparación entre los promedios de los rendimientos, respuestas relativas sobre el tratamiento de fertilización frecuente y la eficiencia de uso del N aplicado en cereales y del P según parámetros estadísticos descriptivos. Se emplearon pruebas de diferencias de medias significativas de T en comparaciones apareadas entre los tratamientos.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aportes de cada estrategia de nutrición integrando las diversas secuencias de cultivos estudiadas se analizaron en términos de los aportes relativos a la máxima producción de cada cultivo y sitio experimental (Fig.1). Los rendimientos relativos se calcularon como el cociente entre el rendimiento medio de cada tratamiento, con el máximo rendimiento registrado, para cada cultivo por sitio y por campaña. La aplicación de fertilizantes, en comparación con los tratamientos control sin fertilización, contribuyó al rendimiento en un 39 % en promedio para toda la secuencia de cultivos con máximos de 64 % en trigo y 23 % en soja de segunda. Para la secuencia se cultivos, la mejora en la nutrición incorporando estrategias de recomendación media y alta producción, mejoró la productividad de los sistemas hasta en un 13 % respecto del manejo actual. El manejo actual más frecuente de fertilizante mostró resultados en producción próximos a los observados al aplicar recomendaciones medias, con una brecha de mejora de 10 % para alcanzar el máximo rendimiento. En cultivos de soja se describieron diferencias de casi el 18 % con la aplicación de estrategias de recomendación media.

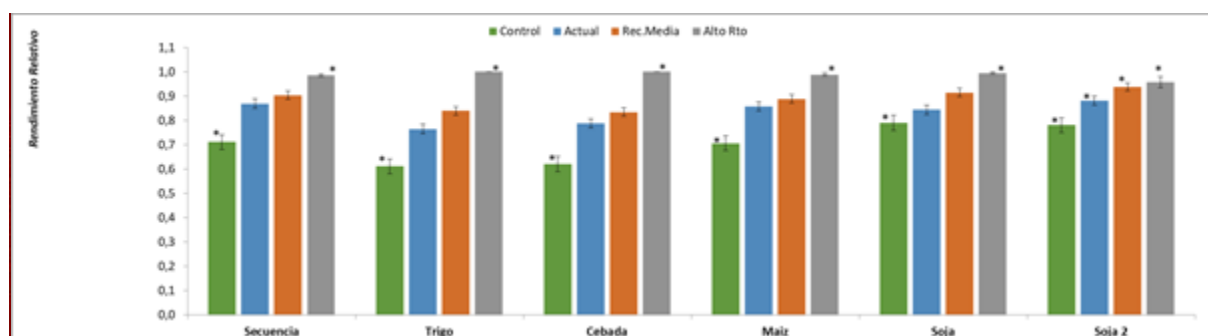


Figura 1. Efecto acumulado de rendimientos relativos de secuencias de cultivos en 6 campañas consecutivas en la región pampeana. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Los asteriscos (*) sobre las columnas muestran diferencias significativas con respecto a la estrategia actual de manejo de nutrientes (DMS, prueba de T $p < 0,05$).

La eficiencia en el uso del N (EUN) aplicado para la producción de cereales, mostró diferencias significativas en los cultivos considerados. En el caso de trigo al intensificarse la aplicación de fertilizantes con aumentos en las dosis de nitrógeno las mejoras en producción fueron menos que proporcionales reduciendo la EUN. En cambio, en el caso de maíz y cebada esta tendencia se mantiene frente al cambio de estrategia de fertilización. Situación similar se describió en la eficiencia de uso del P (EUP), para toda la secuencia de cultivos donde la intensificación productiva recomendada para cada región parecería no disminuir la eficiencia. Incluso para maíz y soja de segunda donde se pueden ver mejoras en el uso del fósforo frente a situaciones actuales. El comportamiento de trigo y de cebada fue similar para el uso del fósforo, que lo descripto para el uso del nitrógeno.

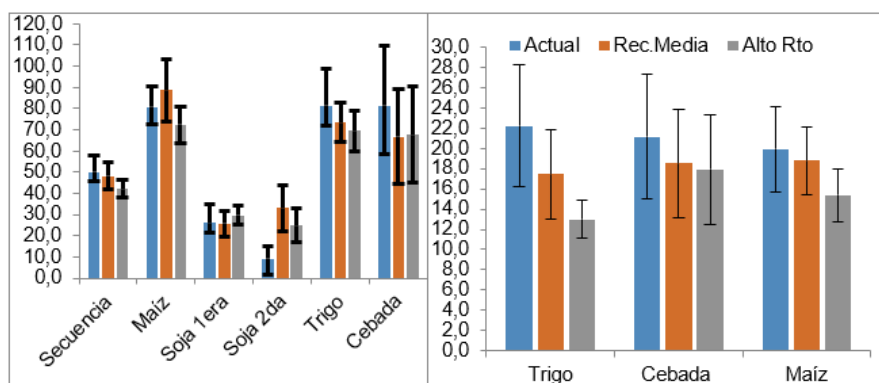


Figura 2. Eficiencia del uso del fósforo (EUP) y nitrógeno (EUN) según estrategias de fertilización de cultivos en la región pampeana. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Los asteriscos (*) sobre las columnas muestran diferencias significativas con respecto a la estrategia actual de manejo de nutrientes (DMS, prueba de T $p < 0,05$).

La evolución en el tiempo de la concentración de P Bray-1 en suelo (Fig 3) reflejó las tendencias observadas. Los sistemas actuales de producción están viendo deteriorado su contenido de fósforo en suelo como consecuencia de un balance negativo. El tratamiento recomendación frecuente parecería tener un comportamiento a penas superior al manejo actual. Mientras que el tratamiento de alto rendimiento, con reposición de P es a la fecha la única estrategia que permite mantener e incluso mejorar los niveles este nutriente disponible en el suelo.

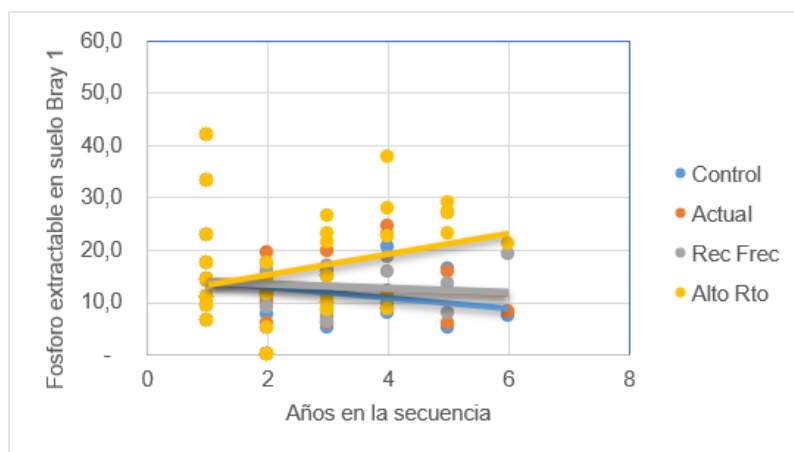


Figura 3: Evolución del P extractable en suelo (Bray-1) según estrategia de nutrición luego de 6 campañas.

CONCLUSIONES

En condiciones de producción representativas de la región pampeana se validaron mejoras en los rendimientos de los cultivos al implementar estrategias de fertilización recomendadas o de nutrición balanceada con respecto a la aplicación actual de esta práctica. Los rangos de mejora varían según cultivos y planteos de nutrición.

En condiciones no limitadas en nutrición los rendimientos de los cultivos son de hasta casi 20% superiores a los que se alcanzan con las practica actuales de fertilización. En la mayoría de los cultivos y condiciones de producción la implementación de recomendaciones medias de fertilización (fertilización con ajustes con NPS acordes a resultados de análisis de suelos y a expectativas frecuentes de rendimientos) reducen la diferencia de producción asociada al manejo de la nutrición en casi el 50%.

Se validó que cuando las estrategias de nutrición se intensifican, la práctica de la fertilización muestra resultados positivos en los niveles de nutrientes del suelo. Aspecto de importancia a considerar para mantener la sostenibilidad de los sistemas productivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraco, M; M. Díaz-Zorita;C. Justo & A. Lardone. 2014. ¿Fertilización fosfatada por suficiencia o mantenimiento en secuencias agrícolas de la pampa arenosa? En: Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. AACS (ed.), Bahía Blanca, Bs. As., 5-9 mayo. 2014. AACS. Argentina.
- Correndo A.A., M. Boxler & F.O. García, 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. Cienc. Suelo (Argentina) 33:197-212.
- Díaz-Zorita M. & A. Grasso. 2016. Fertilización intensificada de planteos agrícolas. XXIV Congreso Anual AAPRESID. Del 3 a 5 Agosto de 2016, Rosario, Santa Fe.
- García F.O. & I. Ciampitti. 2010. Enfoques alternativos para el diagnóstico de fertilidad de suelos: El enfoque "tradicional". Actas CD XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. Rosario (Santa Fe, Argentina), en CD.
- Grasso, A. & M. Díaz-Zorita. 2018. Valorización de estrategias de fertilización en la región pampeana. XXVI Congreso Anual AAPRESID.

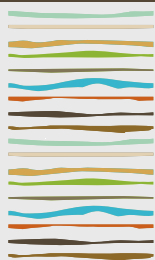


Del 8 al 10 de Agosto de 2018, Ciudad de Córdoba, Córdoba.

Perticari, A. & C. F. Piccinetti. 2019. Inoculantes Microbianos en la Agricultura Argentina y aportes de la Fijación Biológica de Nitrógeno en leguminosas cultivadas. RELAR, Pto. Varas (Chile)

Sainz Rozas H;H. Echeverria & H. Angelini. 2011. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y extrapampeana de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 4:14-18.





EFFECTO DEL PH DEL SUSTRATO SOBRE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE CUATRO VARIEDADES ORNAMENTALES DE *CALIBRACHOA*

Rubio, E.^{1*}, A. Bernardez¹, P.E. Leva¹, M.A. Karlanian¹, M. Di Filippo¹

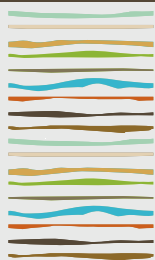
¹ Instituto de Floricultura, INTA;

*De Los Reseros y Repetto s/n, (1712) Hurlingham, Prov. De Buenos Aires,
rubio.esteban@inta.gob.ar

RESUMEN

Calibrachoa, género ineficiente en la absorción del hierro, es susceptible a sufrir deficiencias al crecer en sustratos con pH mayores a 6,2, que disminuyen la disponibilidad del hierro. La deficiencia de este elemento generalmente se manifiesta como una clorosis internerval en las hojas jóvenes y una disminución del crecimiento. Los genotipos de *Calibrachoa* difieren en su sensibilidad a la deficiencia de hierro. Cuantificar estas diferencias es de importancia tanto para los programas de mejoramiento como para dar recomendaciones a productores sobre el manejo de las variedades disponibles en el mercado. El objetivo de este trabajo fue comparar el crecimiento de cuatro variedades de *Calibrachoa* (Overá Fucsia-INTA, Pampa Salmón-INTA, Garden Rose y 17210#14-INTA) cultivadas bajo dos niveles de pH del sustrato (bajo y óptimo 5,5, y alto, 6,8). Se trasplantaron esquejes enraizados de *Calibrachoa* a macetas de 670 ml con sustrato a base de turba y compost de corteza de pino con los correspondientes valores de pH. El pH de 6,8 fue logrado mediante el agregado de dolomita al sustrato, previo al trasplante. Durante su crecimiento, las plantas fueron fertilizadas con 200 ppm de N de fertilizante soluble durante todo el ciclo. A los 63 días del trasplante, se evaluaron: la biomasa total, aérea y radical y el índice de clorofila medido con un clorofilómetro SPAD Minolta®. Todas las variedades evaluadas en este estudio redujeron la biomasa total y aérea cuando se desarrollaron en un medio de cultivo con pH alto. La menos afectada fue Overá Fucsia-INTA, que redujo su biomasa total, aérea y radical en un 25%; 24% y 16%, respectivamente; mientras que en el resto de las variedades la reducción fue entre el 30 y 40% dependiendo de la variedad y el parámetro considerado. Todas las variedades disminuyeron su índice de clorofila al desarrollarse en un medio de cultivo con pH alto. Se observó que Pampa Salmón-INTA fue la menos afectada (28%), seguida por Overá Fucsia-INTA (38%) y Garden Rose-INTA (36,5%); mientras que 17210#14-INTA sufrió el mayor porcentaje de reducción del índice de clorofila (50,8%). En futuros experimentos se ampliará el rango de genotipos de *Calibrachoa* evaluados y se correlacionarán los parámetros morfológicos con la concentración tisular de hierro y manganeso.

Palabras clave: *Calibrachoa*, deficiencia de hierro, pH



FERTILIZACIÓN DE PETUNIA (*PETUNIA HYBRIDA*) Y CORAL (*SALVIA SPLENDENS*) CON DIGERIDO ANAERÓBICO PORCINO

Rubio, E.^{1*}, M. E. Beily², P. E. Leva¹, M. A. Karlanian¹, P. Bres², N. Riera²

¹ Instituto de Floricultura. INTA Castelar;

² Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. INTA Castelar;

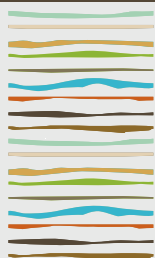
* De Los Reseros y Repetto s/n, (1686) Hurlingham, Prov. De Buenos Aires,
rubio.esteban@inta.gob.ar

RESUMEN

La digestión anaeróbica de efluentes de origen animal genera energía renovable y un efluente semilíquido denominado digerido que, por su composición rica en nutrientes, puede ser utilizado como fertilizante para los cultivos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de digerido anaeróbico de efluente porcino (DP) como principal fuente de nutrientes para el cultivo de petunia y coral en macetas. Se realizó un ensayo con cinco tratamientos que consistieron en la aplicación del DP diluido con agua para lograr las siguientes concentraciones de N inorgánico: 250 ppm (dosis alta), 200 ppm (dosis media) y 100 ppm (dosis baja); la aplicación de fertilizante inorgánico (FI) soluble (18-18-18 NPK) a razón de 200 ppm de N y por último agua de pozo sin agregado de fertilizante ni DP (NF). Los tratamientos se aplicaron mediante el riego tres veces por semana en plantines trasplantados a macetas de 670 ml conteniendo sustrato comercial a base de compost de corteza de pino y turba (pH: 5,4, CE: 0,65 dS.m⁻¹, N-NO₃: 71 ppm, P: 76 ppm, K: 242 ppm). El DP presentaba la siguiente composición: 3 % de sólidos totales, CE: 31 dS.m⁻¹, pH: 8 y en ppm: Nt: 5150, N-NH₄: 3720, P: 30, K: 2413, y Na: 1064, (N-NH₄, P, K y Na solubles). Al cabo de 32 y 42 días para petunia y coral respectivamente, se evaluaron parámetros de crecimiento: peso seco aéreo (PSA), y radical (PSR), índice de crecimiento (IC), calculado como promedio entre el largo, ancho y altura de la planta, el número de brotes y el índice SPAD. El PSA no difirió entre los tratamientos fertilizados con las tres dosis de DP y FI, pero fue mayor que en el tratamiento NF. El PSR en petunia fue menor con las dosis alta y media de DP, mientras que en coral no hubo diferencias entre tratamientos. Tanto en petunia como en coral, el IC fue superior en todos los tratamientos respecto al no fertilizado. En coral, el mayor IC se logró con la menor dosis de DP, sin diferencias entre la dosis alta, media y el FI. El número de brotes por planta en coral fue similar en los tratamientos con FI y la dosis media y baja de DP y mayor que en los tratamientos con la dosis alta de DP y sin fertilizar (NF), mientras que en petunia no hubo diferencias entre tratamientos en este parámetro. En petunia, el índice SPAD fue superior con la dosis alta y media de DP, seguido de la dosis baja y el FI y por último NF. En coral la tendencia fue similar. Los resultados preliminares obtenidos indican que el digerido anaeróbico porcino estudiado podría ser utilizado como principal fuente de nutrientes para la producción de plantas de petunia y coral en un sustrato comercial en contenedor con dosis de N inorgánico similares o inferiores a las del fertilizante inorgánico.

Palabras clave: digeridos anaeróbicos, fertilización, floricultura





MODELO DE RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

Parra, G.^{1*}, M. Saks^{2*}, H. Ramirez², D. Gómez¹, J. Urrutia², D. Regnicoli¹; E. Cieri¹, J. Costanzi¹, G. Di Mauro¹

¹ GDM. Desarrollo LAS. Ruta 7 Km 208, B6740 Chacabuco, Prov. de Buenos.

* gparra@gdmseeds.com.

² Bunge Argentina S.A. 25 de mayo 501. C1002 ABK. CABA.

* matias.saks@bunge.com

RESUMEN

Las brechas de rendimiento del cultivo de trigo en Argentina ascienden a cerca del 40% el rendimiento potencial en secano. La dosis recomendada de N varía según el tipo de ambiente productivo, así como también del genotipo. Nuestro objetivo fue modelar la interacción genotipo x disponibilidad de N x índice ambiental, de manera de generar recomendaciones de dosis de N específicas para maximizar el rendimiento y la calidad comercial del grano de trigo. Se evaluaron 27 ambientes, dada la combinación localidad y año. En cada ensayo se evaluaron 3 genotipos comerciales de trigo y distintos modelos de nitrógeno (N_{s+f} = 30 a 230 kg ha⁻¹), mediante fertilización. La red de ensayos exploró ambientes que variaron en su productividad media entre 2100 (percentil 5) a 6000 kg ha⁻¹ (percentil 95), con una media de 4900 kg ha⁻¹. Se encontró interacción significativa entre genotipo y modelo de N, entre modelo de N e índice ambiental, y entre genotipo e índice ambiental para rendimiento y el % de proteína. Este tipo de estudios son necesarios para generar recomendaciones de manejo sitio-específico de los niveles de N para cada genotipo y ambiente de manera de maximizar el rendimiento, la calidad del producto cosechado, y la eficiencia en el uso de los insumos en los sistemas de producción.

Palabras clave: rendimiento, proteína, curva de respuesta.

INTRODUCCIÓN

Las brechas de rendimiento del cultivo de trigo en Argentina ascienden a cerca del 40% el rendimiento potencial en secano (Aramburu Merlos et al., 2015). La contribución de los factores no relacionados con el agua, pueden ser tan determinantes del rendimiento como el suministro de agua per se en el cultivo de trigo (Rattalino Edreira et al., 2018) soil, and agronomic data, and crop modeling in a spatial framework to determine WPw and WPa at local and regional levels for rainfed cropping systems in 17 (maize). El factor agua adquiere mayor relevancia en las regiones semiáridas y subhúmedas, donde el manejo del agua previo a la siembra del cultivo resulta clave para compensar los requerimientos no cubiertos por las precipitaciones (Quiroga et al. 2010, Saks et al. 2018). Aspectos genéticos de los suelos determinantes de la capacidad de retención de agua (CRA), del cultivo (ciclo, índice de cosecha), profundidad efectiva de raíces (PER)) y del manejo (sistema de labranza, cultivo antecesor, barbecho, cobertura, fertilización) impactan en la productividad de los cultivos (Quiroga et al. 2014). Optimizar las prácticas de manejo para cada ambiente productivo es necesario para lograr mejores rendimiento de trigo (Lollato et al., 2019). En este sentido, la fertilización nitrogenada tiene impacto tanto en el rendimiento como en la calidad en trigo (Saint Pierre et al., 2008) and to identify genotypes and traits that minimize grain quality variability. Plots were irrigated during grain fill to replace from 100 to <30% of estimated evapotranspiration (ET. A su vez, la dosis recomendada de N varía según el tipo de am-

biente productivo, así como también del genotipo (Cui et al., 2010) optimal N rate (ONR. Generar información acerca de modelos diferenciales de respuesta a N es necesario para guiar a los agricultores en la búsqueda de la maximización de los rendimientos minimizando el impacto ambiental. Nuestro objetivo fue modelar la interacción genotipo x disponibilidad de N x índice ambiental, de manera de generar recomendaciones de dosis de N específicas para maximizar el rendimiento y la calidad comercial del grano de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo ensayos en campos de producción durante 4 campañas agrícolas (2016/17 a 2019/20) en las zonas trigueras 1, 2, 3, 4, 6 y 7 de Argentina (Abbate et al. 2021). Se evaluaron 27 ambientes, dada la combinación localidad y año. En cada ensayo se evaluaron 3 genotipos comerciales de trigo y distintos modelos de nitrógeno ($N_{s+f} = 30$ a 230 kg ha^{-1}), mediante fertilización. En cada ambiente se tomaron muestras de suelo hasta 0,6 m para la determinación de N-nitratos. El modelo de N fue la suma del N disponible en el suelo al momento de la siembra y el aplicado mediante fertilización a la siembra con urea. El rendimiento (kg ha^{-1}) se determinó cosechando la totalidad de la parcela, mientras la concentración de proteína (%) se estimó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano en una muestra de granos representativa. Los ensayos se realizaron con la tecnología disponible por el productor, en condiciones de secano y siembra directa. En todos los ambientes en evaluación, se estimó el índice ambiental (IA, kg ha^{-1}), como el promedio de todas las parcelas en evaluación.

Se ajustó un modelo lineal mixto para rendimiento y proteína utilizando el paquete *lme4* en el entorno R (Bates et al., 2010). El modelo incluyó a los genotipos, modelo de N, y al IA, y a sus interacciones como efectos fijos; mientras que la región y el año fueron considerados como efectos aleatorios. El modelo se generó con 80% de la totalidad de los datos, mientras que con el 20% restante se validó el modelo ajustado. La precisión del modelo ajustado fue evaluada mediante parámetros como el error medio cuadrático residual (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2 ; Kobayashi and Salam, 2000). Las curvas ajustadas de respuesta a N por genotipo e IA fueron graficadas mediante el paquete *lattice*, también dentro del entorno R.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La red de ensayos exploró ambientes que variaron en su productividad media entre 2100 (percentil 5) a 6000 kg ha^{-1} (percentil 95), con una media de 4900 kg ha^{-1} . Los rendimientos explorados variaron entre 2000 y 7000 kg ha^{-1} , siendo los percentiles 5 y 95 de todas observaciones, respectivamente. La concentración de proteína media fue 10,3%, variando entre 8,2 y 12,1%, asociado de manera directa a la oferta de N y el nivel de rendimiento.

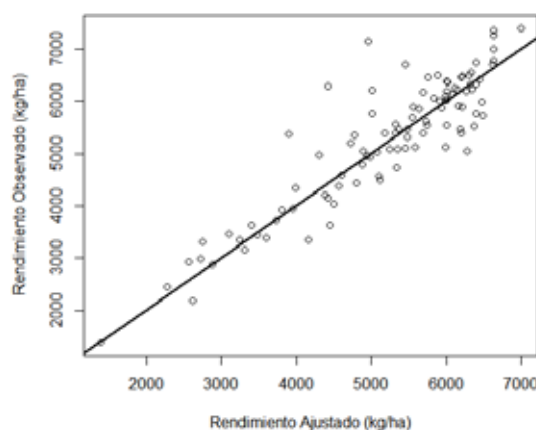


Figura 1. Rendimiento observado en la base de datos de validación (kg/ha ; 20% de la base total de datos) en función del Rendimiento ajustado (kg/ha) utilizando la base de datos de entrenamiento (80% de los datos).

El modelo ajustado con el set de entrenamiento mostró un RMSE cercano 450 kg ha^{-1} y un R^2 de 0,82 al ser contrastado con valores independientes en el set de validación (Figura 1).

Se encontró interacción significativa entre genotipo y modelo de N ($p<0,05$), entre modelo de N e índice ambiental ($p<0,01$), y entre genotipo e índice ambiental ($p<0,001$) para rendimiento. Similares resultados fueron reportados por Saks et al., 2018 indicando que la productividad de trigo estuvo influenciada principalmente por el ambiente variando entre un 34% y 89% respectivamente. El modelo fue representado mediante una salida gráfica en 3 dimensiones para cada genotipo (Figura 2). Se encontró interacción significativa entre genotipo y modelo de N ($p<0,001$), entre modelo de N e índice ambiental ($p<0,001$), y entre genotipo e índice ambiental ($p<0,001$) para el % de proteína. El modelo fue representado mediante una salida gráfica en 3 dimensiones para cada genotipo (Figura 3). Estos resultados coinciden por los obtenidos por Alvarez et al., 2018 y Saks et al 2018 indicando que la productividad y el contenido de proteínas del cultivo fue afectada por el uso de tecnología (fertilización) y por el potencial ambiental del sitio.

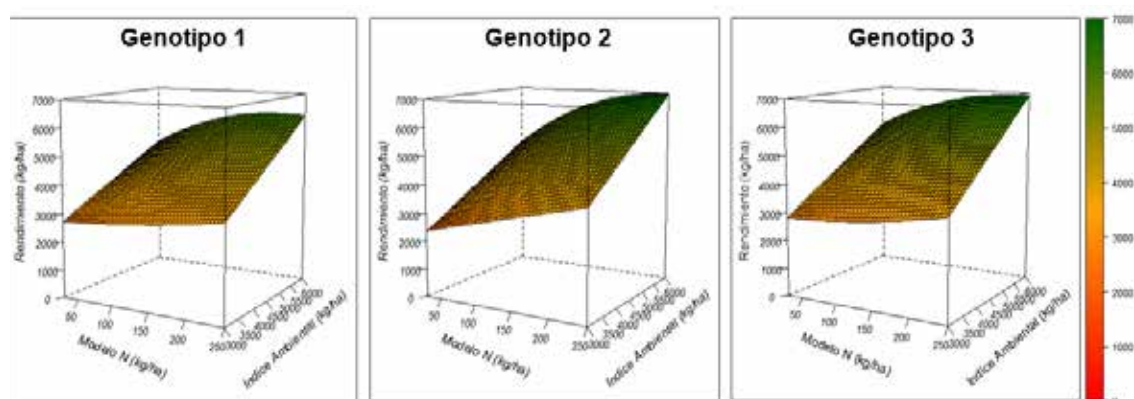


Figura 2. Comportamiento diferencial en rendimiento (kg/ha) de genotipos de trigo frente a variaciones en el Modelo de N (kg/ha) e índice ambiental (kg/ha). Los distintos colores representan valores de rendimiento ajustado (kg/ha) por el modelo estadístico.

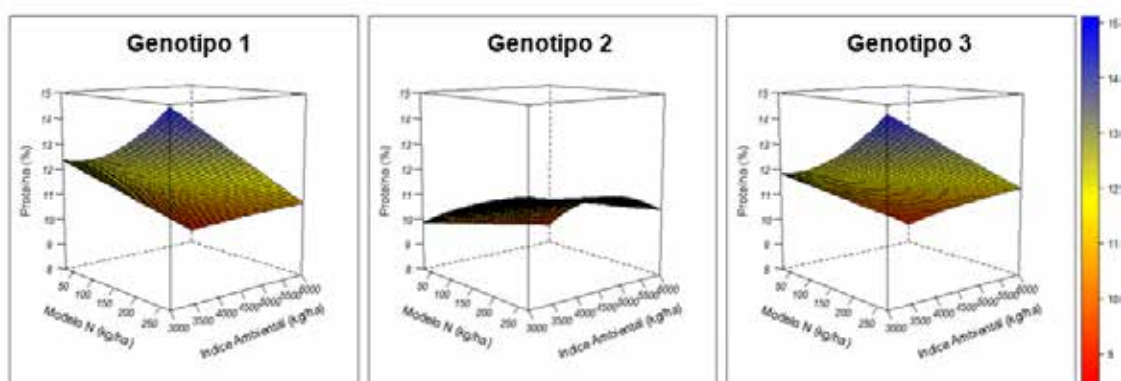


Figura 3. Comportamiento diferencial en Proteína (%) de genotipos de trigo frente a variaciones en el Modelo de N (kg/ha) e índice ambiental (kg/ha). Los distintos colores representan valores de Proteína ajustada por el modelo estadístico.

CONCLUSIONES

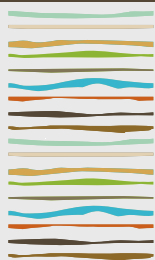
Se encontró una interacción significativa entre genotipo y modelo de N, entre modelo de N e índice ambiental, y entre genotipo e índice ambiental. Este tipo de aproximaciones son necesarias para generar recomendaciones de manejo sitio-específico de los niveles de N para cada genotipo y ambiente de manera de maximizar rendimiento, la calidad del producto cosechado, y la eficiencia en el uso de los insumos en los sistemas de producción.



BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P., Miralles, D. J., Ballesteros, A., 2021. Nuevo mapa de subregiones trigueras Argentina: y otros cereales invernales. Documento PDF. INASE.
- Álvarez, L., Pugliese, G., Saks, M., Noellemeyer, E. 2018. Respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo del sureste y centro de la Provincia de Buenos Aires. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, 15 al 18 de mayo de 2018. ISBN 978-987-46870-0-5
- 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. *F. Crop. Res.* 184, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.001>
- Bates, D.M., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., 2010. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J. Stat. Softw.* 67, 1–48. <https://doi.org/10.1177/009286150103500418>
- Cui, Z., Zhang, F., Chen, X., Dou, Z., Li, J., 2010. In-season nitrogen management strategy for winter wheat: Maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. *F. Crop. Res.* 116, 140–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.004>
- Kobayashi, K., Salam, M.U., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron. J.* 92, 345–352. <https://doi.org/10.1007/s100870050043>
- Lollato, R.P., Diaz, D.A.R., Dewolf, E., Knapp, M., Peterson, D.E., Fritz, A.K., 2019. Agronomic practices for reducing wheat yield gaps: A quantitative appraisal of progressive producers. *Crop Sci.* 59, 333–350. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0249>
- Quiroga, A., Fernández, R., Ormeño, O., Frasier, I., 2010. Consideraciones sobre el manejo del agua y la nutrición en trigo. En *Publicación Técnica N° 79, EEA INTA Anguil*, pp 41-46.
- Quiroga, A., Gaggioli, C., Fernández, R., Louise, M., Saks, M., Frasier, I., Alvarez, C., Noellemeyer, E., 2014. Gestión del agua en producciones vegetales de secano. 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.
- Rattalino Edreira, J.I., Guilpart, N., Sadras, V., Cassman, K.G., van Ittersum, M.K., Schils, R.L.M., Grassini, P., 2018. Water productivity of rainfed maize and wheat: A local to global perspective. *Agric. For. Meteorol.* 259, 364–373. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFOR-MET.2018.05.019>
- Saks, M., Alvarez, C., Scherger, E., Peinetti, N., 2018. Productividad y calidad del cultivo de trigo. Efecto del ambiente y la fertilización nitrogenada y azufrada. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, 15 al 18 de mayo de 2018. ISBN 978-987-46870-0-5
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., Ohm, J.B., Verhoeven, M.C., Larson, M., Hoefer, B., 2008. White Wheat Grain Quality Changes With Genotype, Nitrogen Fertilization, and Water Stress. *Agron. J.* 100, 414–420. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0166>





EL FÓSFORO COMO EVALUADOR DE SISTEMAS AGRONÓMICOS INTENSIVOS DE LARGO PLAZO PARA DIFERENTES ROTACIONES Y CULTIVOS DE SERVICIOS

Sagardoy L.¹, Boni Plaza, L.^{1,*}, Herrera Tobón A.¹, Semmartín M.^{1,2}, Benedit B.³, Peper A.³ y Cosentino D.^{1,2}

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires;

² CONICET,

³ Bayer Argentina. Av. San Martín 4453, Ciudad de Buenos Aires,

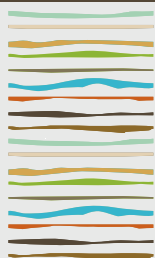
3 cosenti@agro.uba.ar

RESUMEN

El cambio climático y la sostenibilidad de los sistemas plantean el desafío de utilizar prácticas agronómicas más eficientes en el uso de los nutrientes. El fósforo (P) es un elemento clave que se caracteriza por ser poco móvil y por no tener una vía de reposición natural, observándose en los suelos de la región pampeana una continua disminución en su disponibilidad. El objetivo del trabajo fue evaluar si un sistema agronómico intensificado a largo plazo incluyendo tratamientos de rotaciones y cultivos de servicios, es capaz de recuperar la fertilidad del suelo respecto del fósforo disponible. Se evaluó el contenido de fósforo en un experimento de 5 años 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: 0-20 y 20-40 cm. La intensificación consistió en el uso de genotipos superiores y mayor densidad de siembra para maíz y trigo, con el fin de obtener un balance nutricional positivo mediante la fertilización y el uso de cultivos de cobertura que permitan a su vez proteger las propiedades fisicoquímicas del suelo. Evolución en el tiempo del sistema intensivo vs sistema del productor medio a dos profundidades. Se realizó un análisis comparativo del P en profundidad de 0-20 y 20-40 en los distintos sistemas por campaña. Los resultados indicaron diferencias significativas ($p=0,0001$) donde el sistema intensivo muestra un incremento a lo largo de los años, presentando en la última campaña un promedio de 22 mg/kg en superficie y de 10 mg/kg en profundidad respecto al convencional del productor con valores de 15 mg/kg y 5 mg/kg respectivamente. Comparación entre secuencias de cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p=0,0263$) en el contenido de P de profundidad 0-20 cm con cultivo de servicio. El sistema convencional presentó una media de 17,17 mg/kg y el intensivo una media de 14,61 mg/kg. Se realizó el análisis del uso de barbecho en ambos sistemas y se encontraron diferencias significativas ($p=0,0005$), siendo el intensivo aquel con media mayor de 20,28 mg/kg respecto del convencional 14,83 mg/kg. Se evaluó el contenido de fósforo en ambos sistemas en profundidad de 20-40 cm con diferencias significativas ($p=0,0223$), El sistema convencional presentó una media menor de 2,54 mg/kg con respecto al intensivo de 4,23 mg/kg. Se concluye que en el sistema convencional el contenido de P de 0-20 cm es mayor con el uso de cultivo de cobertura, mientras que para el sistema intensivo los valores más altos se observan con el uso de barbecho, esto puede deberse a la mayor densidad de siembra de maíz y trigo. Por último, el contenido de P en profundidad 20-40 es superior en el manejo del sistema intensivo que en el convencional. Trabajo financiado por convenio de cooperación BAYER-FAUBA

Palabras clave: Fósforo soluble, prácticas de manejo, fertilidad.





EVALUACIÓN DE UN ÍNDICE SATELITAL PARA ESTIMAR EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO A NIVEL REGIONAL

Schwint, E.^{1*}, Dieguez, H.D.^{2,3}, Staiano, L.^{2,3}, Berhongaray, G.⁴, Baldassini, P.^{2,3,5}, Paruelo, J.^{2,3,5}

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, eschwint@agro.uba.ar;

²Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART), IFEVA, CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina;

³Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina;

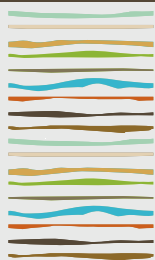
⁴Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Kreder 8503, Esperanza, Prov. de Santa Fe, Argentina;

⁵Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Estación Experimental La Estanzuela, Ruta 50 km 11, Colonia, Uruguay.

RESUMEN

Los cambios en el uso del suelo constituyen uno de los problemas ambientales de mayor relevancia en la actualidad. Particularmente, los bosques del Chaco Seco (CHS) y los Pastizales del Río de la Plata (PRP) son biomas altamente modificados por la actividad humana. El reemplazo de la vegetación natural provoca la pérdida de biodiversidad, la alteración del clima y de la regulación hídrica, impactando sobre la oferta de Servicios Ecosistémicos. Por eso, es importante contar con indicadores sinópticos para cuantificar estos impactos y planificar adecuadamente el uso del territorio. Trabajos previos muestran que el Índice de Oferta de Servicios Ecosistémicos (IOSE), calculado a partir de datos satelitales, estima satisfactoriamente la oferta de algunos SE asociados con la dinámica del C y el agua. La relación entre el IOSE y el COS fue analizada en estudios locales con distintas metodologías. En este trabajo el objetivo general fue analizar la relación entre el IOSE y el COS en las regiones del CHS y PRP y cómo algunas covariables afectan esta relación. Se utilizó una base de datos georreferenciados de investigaciones previas en ambas regiones. El COS acumulado a 30 cm fue corregido por masa equivalente para considerar la compactación, utilizando una densidad aparente de referencia de 1,25 g cm⁻³. Se consideraron el IOSE, la precipitación y temperatura media anual (PMA y TMA), y el contenido de arena del suelo (%) como variables explicativas. El modelo de mejor ajuste incluyó el IOSE, el % de arena y la TMA: $COS (tn\ ha^{-1}) = 84,71 (tn\ ha^{-1}) * IOSE - 0,49 (tn\ ha^{-1}) * \% Arena - 3,00 (tn\ ha^{-1} \ ^\circ C^{-1}) * TMA + 80,71 (tn\ ha^{-1})$ ($n=141$, $R^2=0,49$, $valor-p<0,0001$). De la variabilidad explicada por el modelo, estas variables explicaron el 71,4%, 18,3% y 10,2%, respectivamente. Al particionar por uso/cobertura del suelo (A=agricultura, B=bosque y RF=recurso forrajero) el modelo resultó significativo para A ($n=58$, $R^2=0,40$, $valor-p<0,0001$), donde las variables explicaron el 55%, 20% y 25% de la variabilidad total. En los modelos que incluyeron al IOSE y al % de arena resultaron significativos para A y B ($n_A=58$, $R^2_A=0,30$, $valor-p_A=0,0001$; $n_B=34$, $R^2_B=0,46$, $valor-p_B=0,0001$), explicando el IOSE un 55%(A) y 65%(B), y el % de arena 20% (A) y 35% (B). El modelo que incluyó el IOSE fue significativo en todos los usos del suelo ($n_A=58$, $R^2_A=0,22$, $valor-p_A=0,0002$; $n_B=34$, $R^2_B=0,30$, $valor-p_B=0,0008$; $n_{RF}=49$, $R^2_{RF}=0,33$, $valor-p_{RF}<0,0001$). El incremento unitario del IOSE aumentó 87,67 tn ha⁻¹ (A), 175,32 tn ha⁻¹ (B) y 128,74 tn ha⁻¹ (RF) el COS. El modelo general presentó un R² inferior al reportado en trabajos previos ($R^2=0,679$). Incluir otras variables aumentó el R². La variabilidad no explicada podría adjudicarse a variables como el espesor del suelo y los años utilizados para caracterizar el IOSE de cada sitio. Además, sería interesante generar calibraciones locales y desarrollar una herramienta de estimación de COS accesible y operativa.

Palabras clave: Índice de oferta de servicios ecosistémicos, pastizales del Río de la Plata, Chaco Seco.



CAPACIDAD FERTILIZANTE DE UN COMPOST PROVENIENTE DE CÁMARAS DE POLLO SOBRE UN CULTIVO DE FRUTILLA

Seimandi, G.M.^{1,*}, V. Ruiz^{1,2}, J.G. Nicolier², S.C. Imhoff^{1,2}, M.G. Derita^{1,3}

¹ ICiAgro Litoral-CONICET-UNL;

² Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias;

³ Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas;

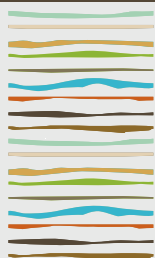
* Kreder 2505, (3080) Esperanza, Prov. de Santa Fe, giseimandi@gmail.com

RESUMEN

El aumento de las actividades agrícolas-pecuarias están asociadas a una mayor demanda de insumos para los cultivos, como también a una mayor producción de desechos pecuarios (como efluentes de tambo, cama de pollo, cama de feedlots, etc.). Esto provoca que, con el tiempo, los suelos sufran degradación química y física lo que impiden la correcta absorción de agua y nutrientes. Además, la deposición final de los desechos pecuarios constituye un grave problema ambiental debido a la falta de tratamiento. Por esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de fertilización de un abono orgánico líquido (Té de Compost) obtenido del compostaje de cama de pollo, y su respuesta sobre parámetros productivos en cultivos de frutilla. Se seleccionaron plantas cv 'Cabrillo' y se plantaron en macetas con un suelo clasificado como Hapludalf, serie Coronda. Se establecieron tres tratamientos: Cagua (100% suelo Coronda y riego con agua destilada); Cfert (100% suelo Coronda con fertilizante sintético y riego con agua destilada); Té (100% suelo Coronda y riego con una solución de Té de Compost, en una proporción de 40 mL/10 L de agua destilada). Se realizaron cuatro repeticiones por cada tratamiento. Se aplicaron 100 mL del respectivo tratamiento cada 10 días (con un total de 13 aplicaciones). Se realizaron análisis fisicoquímicos del Té de Compost. Una vez que maduró el primer fruto, se contabilizó el número de frutos y el peso acumulado (g) por maceta. Además, se midió la firmeza (%), los sólidos solubles totales (%SST) y el pH de los frutos sometidos a los tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron mediante un ANOVA y, posteriormente, se compararon las medias utilizando el test de Tukey. Los análisis fisicoquímicos del Té de Compost mostraron valores normales de pH y conductividad eléctrica, y ausencia de nitrógeno en forma de amonio. Respecto a los parámetros productivos de las plantas de frutilla, no se observaron diferencias significativas para el peso acumulado total de los frutos, pero sí se observó que en los primeros meses del cultivo (agosto, septiembre y octubre) el peso acumulado fue mayor para los tratamientos Cfert y Té; contrariamente, en los últimos meses este parámetro resultó mayor en el tratamiento Cagua. La firmeza fue significativamente mayor en los tratamientos Cfert y Té, mientras que el pH fue significativamente mayor en Cagua. En cuanto a los sólidos solubles totales, se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos, con un %SST mayor en los tratamientos Cfert y Té. En conclusión, el Té de Compost podría considerarse una alternativa sustentable para la fertilización del suelo en cultivos de frutilla por tres razones: presenta parámetros fisicoquímicos adecuados para el correcto desarrollo de la planta (pH, conductividad eléctrica y ausencia de amonio); reduciría el uso de fertilizantes sintéticos sin alterar las propiedades organolépticas del fruto (inclusive mejorando la firmeza y el %STT); y finalmente, se le daría un valor agregado a un desecho pecuario que, de no ser tratado, generaría problemas ambientales.

Palabras clave: desechos pecuarios, abono orgánico, frutilla.





XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

PRODUTIVIDADE DE MILHO COM USO DE FOSFATO NATURAL E CALCÁRIO APÓS DOIS ANOS DE IMPLANTAÇÃO DE PLANTIO DIRETO EM ARGISSOLO

Silva, J.J.^{1,*}, F.S. Carlos², F.C. Carmona³, R.J. Hammacher⁴, E.G.T. Souza⁵, A.P. Martins⁶

¹ Doutoranda da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Av. Bento Gonçalves 7712 (91540000), Porto Alegre - RS, janildesdejesus@hotmail.com

² Professor do Departamento de Solo da Universidade Federal de Pelotas; Campus Universitário S/N (96160000), Capão do Leão - RS, filipeselaucarlos@hotmail.com

³ Pesquisador da Integrar – Gestão e Inovação Agropecuária; Capivari do Sul – RS, felipecarmona@integrarcampo.com.br

⁴ Eng.º Agr. da Águia Fertilizantes; Av. Coronel Galvão 276 (97390000), Lavras do Sul - RS, rodrigo.hammacher@gmail.com

⁵ Acadêmico do Curso de Agronomia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Av. Bento Gonçalves 7712 (91540000), Porto Alegre - RS, ed14griesangt@gmail.com

⁶ Professora do Departamento de Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Av. Bento Gonçalves 7712 (91540000), Porto Alegre - RS, amanda.posselt@ufrgs.br

RESUMO

No Brasil, há um elevado consumo de fertilizantes fosfatados, provenientes principalmente de exportação, devido à baixa disponibilidade interna. Assim, o presente trabalho visa a avaliação de duas fontes de fosfato natural descobertas no município de Lavras do Sul em comparação a fonte de fósforo solúvel, em diferentes condições de acidez do solo e manejos de aplicação inicial das fontes de P, sobre os atributos produtivos da cultura do milho, após dois anos de implantação de plantio direto. O experimento vem sendo conduzido desde 2020 na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS. O solo é caracterizado como um Argissolo Vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo utilizado esquema fatorial 2 x 2 x 3 (calagem x incorporação da dose corretiva de P x fontes de P), além da testemunha (sem P). Os dados apresentaram interação significativa entre as condições de acidez do solo e as diferentes fontes de P, na média dos diferentes modos de aplicação das fontes de P ao solo. Ou seja, não houve diferença significativa para os diferentes modos de aplicação das fontes de P ao solo. De acordo com os resultados obtidos, na condição com adição de calcário, a maior produtividade de grãos de milho ocorreu no tratamento com aplicação do superfosfato triplo ao solo, não se diferenciando do anfibolito. Nos tratamentos sem adição de calcário, o superfosfato triplo apresentou a maior produtividade, não se diferenciando do anfibolito e do carbonatito, diferenciando-se apenas da testemunha sem P. Por sua vez, o uso de anfibolito e carbonatito não se diferiu da testemunha sem P. Após dois anos da implantação do plantio direto, os tratamentos sem adição de calcário ao solo e com a aplicação das diferentes fontes de P testadas (superfosfato triplo, anfibolito e carbonatito) propiciaram maiores produtividades de grãos de milho. Com adição do calcário ao solo, as fontes de P superfosfato triplo e o anfibolito apresentaram maiores rendimentos de grãos de milho.

Palavras chave: *Zea mays*, Fertilizantes fosfatados, Acidez do solo.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o consumo aparente de fertilizantes fosfatados em 2019 foi de 5,2 milhões de t de P e se estima um valor de 6,0 milhões em 2020. Nos últimos 5 anos, verificou-se um aumento de 16 % no consumo aparente, numa taxa de crescimento muito variável (em média de 3,2 % ao ano), maior que a taxa mundial (PNF, 2021). A busca por fontes nacionais de fertilizantes fosfatados é indispensável, para uma redução de incer-



tezas ao produtor rural e segurança alimentar do Brasil a longo prazo.

Algumas fontes minerais de P apresentam solubilidades relativamente elevadas em água (como os superfosfatos simples e triplo), razão por que têm alta eficiência agrônômica quando comparados aos fosfatos naturais. No entanto, os elevados custos econômicos e ambientais de fabricação dos fosfatos solúveis têm incentivado o uso de fontes alternativas de P (PROCHNOW et al., 2004). Atualmente, tem-se notado o interesse no uso de fontes alternativas de P, com destaque aos fosfatos naturais, que possuem menor custo por unidade de P, porém promove menor disponibilidade de P às plantas em curto prazo, em relação aos fosfatos solúveis (NYING & ROBINSON, 2006). Segundo Novais & Smyth (1999), a solubilização de fertilizantes fosfatados naturais depende principalmente das propriedades do solo como a acidez, adsorção e da planta cultivada. A calagem é uma prática utilizada para correção do pH do solo, elevação dos teores de cálcio (Ca) e saturação por bases e redução do alumínio (Al) e manganês (Mn) trocáveis no solo, a reação do calcário agrícola geralmente é limitada ao local de sua aplicação no solo (CAIRES et al., 2004).

O modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados em relação às raízes das plantas também é um fator determinante na absorção de P, assim, uma das opções para aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados é a aplicação de modo adequado no solo, que podem ser a lanço (na superfície) e incorporado ao solo (com revolvimento do solo). A forma de aplicação de fertilizantes fosfatados dependerá de fatores de solo e de planta (SANTOS, 2009). Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar fontes de fosfato natural descobertas no município de Lavras do Sul em comparação a fonte de P solúvel, em diferentes condições de acidez do solo e modos de aplicação inicial das fontes de P, sobre os atributos produtivos da cultura do milho, após dois anos de implantação de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento vem sendo conduzido desde 2020 na Estação Experimental Agrônômica (EEA) da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS (30°06'06"S, 51°40'37"O), altitude de 46 m. O solo é caracterizado como um Argissolo Vermelho, a área possui histórico de degradação e apresentava acidez elevada. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo utilizado esquema fatorial 2 x 2 x 3 (calagem x incorporação da dose corretiva de P x fontes de P). O primeiro fator foi composto por duas condições de acidez do solo na implantação do plantio direto: sem aplicação de calcário (pH ácido) e com calcário aplicação de agrícola (corrigido a pH 6,0). O segundo fator foi composto por dois manejos de aplicação das fontes de P: incorporado (com revolvimento do solo) e superficial (a lanço). O terceiro fator foram as fontes de P: superfosfato triplo (fosfato solúvel), anfibolito (fosfato natural) e carbonatito (fosfato natural), além do tratamento testemunha (sem P), com e sem aplicação de calcário, totalizando 56 parcelas.

Antes da implantação do experimento foi feita análise química do solo na camada de 0 a 20 cm, cujas características químicas foram: Argila 26 %; pH 5,3; MO 2,6 %; P 3,8 mg dm⁻³; K 118,0 mg dm⁻³; Ca 3,8 cmol_c dm⁻³; Mg 2,0 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} 8,31 cmol_c dm⁻³; Sat. Bases 73 % e Sat. Al 0 %. As doses de P aplicadas foram: Superfosfato triplo 445 kg ha⁻¹; Carbonatito 2000 kg ha⁻¹ e Anfibolito 4000 kg ha⁻¹ (Tabela 1). A dose de calcário aplicada foi de 2 t ha⁻¹, com calcário de PRNT 90-95 %. Logo após a aplicação das diferentes fontes de P e seus manejos incorporado ou em superfície, foi realizado a semeadura da primeira safra de soja em 2020/2021, e os resultados apresentados no presente estudo são da safra de milho em 2021/2022.

Tabela 1. Concentração de P₂O₅ em diferentes extratores (graus de solubilidade) das três fontes de fósforo utilizadas no experimento.

Fonte	Total	Ácido cítrico	Citrato neutro de amônio	Água
-----% P ₂ O ₅ -----				
Carbonatito	10,0	2,1	1,4	0,6
Anfibolito	5,0	2,4	1,1	0,2
Superfosfato triplo	45,0	40,0	44,0	38,0



A variedade do milho semeado foi a Pioneer P3016VYHR, semeadura em 25/10/2021. A adubação da lavoura consistiu na adição de 80 + 246 kg ha⁻¹ de ureia, no estágio V3 e V7 respectivamente e 233 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, no estágio V3. Ao final do ciclo do milho, foi avaliado o rendimento de grãos da cultura, em 22/03/2022, colhendo-se uma área de 2 m² em cada parcela. Os grãos foram debulhados, pesados e tiveram seu peso corrigido para uma umidade padrão de 13 %. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o Programa Estatístico R. O valor de p máximo admitido para a significância da interação por experimento (dois fatores ou mais) na ANOVA foi calculado de acordo com Perecin e Cargnelutti Filho (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentaram interação significativa entre as condições de acidez do solo (com calcário e sem calcário) e as diferentes fontes de P (Figura 1), na média dos diferentes modos de aplicação das fontes de P ao solo (incorporado e superficial). Ou seja, não houve diferença significativa para os diferentes modos de aplicação das fontes de P ao solo. De acordo com os resultados obtidos, na condição com adição de calcário, a maior produtividade de grãos de milho ocorreu no tratamento com aplicação do superfosfato triplo ao solo (6,7 Mg ha⁻¹), não se diferenciando do anfíbolito. O menor rendimento ocorreu nas parcelas com aplicação do carbonatito como fonte de P, atingindo uma produção de apenas 5,3 Mg t/ha⁻¹, sendo igual ao tratamento sem P (5,4 Mg ha⁻¹). Nos tratamentos sem adição de calcário, o superfosfato triplo apresentou a maior produtividade (7,3 Mg ha⁻¹), não se diferenciando do anfíbolito e do carbonatito, diferenciando-se apenas da testemunha sem P (6,0 Mg ha⁻¹). Por sua vez, o uso de anfíbolito e carbonatito não se diferiu da testemunha sem P.

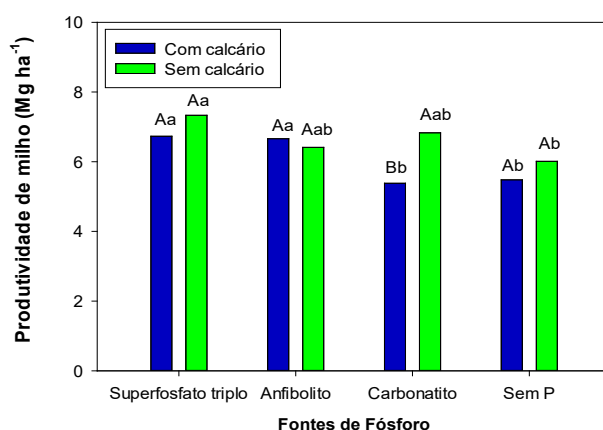


Figura 1. Produtividade de grãos de milho da safra 2021/2022 sob influência de fontes de fósforo (P) e da calagem. Fontes de P e calcário aplicados em outubro de 2020. Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Teste de Tukey ($p \leq 0,05$): letras maiúsculas comparam as condições de acidez do solo dentro das diferentes fontes de P; letras minúsculas comparam as diferentes fontes de P dentro das condições de acidez do solo.

Com o aumento da disponibilidade de P em solos conduzidos em sistemas conservacionistas como o plantio direto, esperam-se efeitos significativos da adubação de sistema na disponibilidade de P. Nesse cenário, a ciclagem de nutrientes favorece o aporte contínuo de nutrientes, o que pode melhorar a eficiência do P aplicado (Sousa et al., 2010; Fontoura et al., 2015). Em média, as maiores respostas à adubação foram observadas quando do uso da fonte solúvel, sendo a única que se diferenciou da testemunha independentemente da calagem. Dessa forma, a liberação imediata do superfosfato triplo permite o rápido abastecimento dos sítios de adsorção do fosfato e ao mesmo tempo fornece P às plantas.

Para verificar o comportamento ao longo das safras, os dados continuarão sendo coletados e avaliados, uma vez que esses resultados provêm da segunda safra (2021/2022) de culturas agrícolas anuais (grãos estivais).



CONCLUSÕES

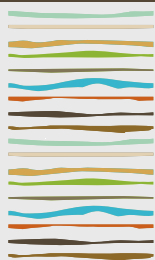
Após dois anos da implantação do plantio direto, os tratamentos sem adição de calcário ao solo e com a aplicação das diferentes fontes de P testadas: superfosfato triplo, anfibolito e carbonatito propiciaram maiores produtividades de grãos de milho.

Com adição do calcário ao solo, as fontes de P superfosfato triplo e o anfibolito apresentaram maiores rendimentos de grãos de milho.

BIBLIOGRAFIA

- CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28 (1), 2004.
- FONTOURA, S. M. V. et al. Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., eds. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba, Potafos, p.665-682, 2004.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. p399.
- NYING, C. S.; ROBINSON, S. J. Factors influencing the dissolution of phosphate rock in a range of high P-fixing soils from Cameroon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 37, n. 15-20, p. 2627- 2645, 2006.
- PEARSE, S. J. et al. Carboxylate composition of root exudates does not relate consistently to a crop species lability to use phosphorus from aluminum, iron or calcium phosphate sources. *New Phytologist*, Oxford, v. 173, p. 181–190, 2007.
- PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.
- PNF – Plano Nacional de Fertilizantes 2050. Uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Secretaria Nacional de Assuntos Estratégicos. Brasília, 2021.
- PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.) *Fósforo na Agricultura Brasileira*, Piracicaba: Potafos, p.605-663, 2004.
- SANTOS, D. B. M. Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto. 2009. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília, 2009.
- SOUSA, D. M. G. et al. *Fósforo*. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes*. Piracicaba: IPNI, 2010. 362 p.





DIAGNÓSTICO DE ZINC EN PAPA: COMPARACIÓN DE PECÍOLO Y HOJA COMO MÉTODOS DE MONITOREO

Silva, S.E.^{1*}, G. Carlón Guerra¹, C. Gugliotta¹, M.N. Cassino¹, S. Rodríguez¹, L. Esperón¹, S. Walter², J.C. Lupani³, C.M. Giletto¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.

*Ruta 226 km 73,5 Balcarce, provincia de Buenos Aires, ssilva@mdp.edu.ar

²INTA Villa Dolores, Córdoba

³Esperanza Sud SA

RESUMEN

Se evaluó la concentración de zinc (Zn) en el suelo extractable con ácido dietilentriaminopentaacético (Zn-DTPA), la concentración de Zn en hoja (Znhj) y la concentración de Zn en pecíolo (Znp) como métodos de diagnóstico en papa y se analizó si la Znp caracteriza de manera similar el nivel de Zn acumulado en planta (Znac) respecto a la Znhj. Se realizaron cuatro ensayos de fertilización foliar con Zn (0 y 500 g ha⁻¹) en lotes de producción de papa variedad Spunta, campaña 2018/19 en Balcarce, provincia de Buenos Aires. Se muestrearon hojas y pecíolos a los 70 días después de plantación y tubérculos a cosecha. Teniendo en cuenta que la Znp explicaría mejor el comportamiento del Znac que la Znhj, que estuvo relacionada con el Zn-DTPA, que tuvo una relación lineal y significativa con la respuesta en rendimiento, aceptable para utilizar en un programa de fertilización y que tuvo una alta asociación con la Znhj, se puede inferir que la Znp sería un buen indicador del estado nutricional de Zn en papa y que los pecíolos caracterizarían de manera similar el estatus de Zn que las hojas.

Palabras clave: micronutriente, nutrición vegetal, Spunta.

INTRODUCCIÓN

Mientras el análisis de suelo indica la disponibilidad relativa de los nutrientes para ser usados por las plantas, el análisis de planta señala cuáles son los nutrientes que han sido absorbidos por éstas y en qué cantidad (Aldana, 2011). El zinc (Zn) es inmóvil dentro de la planta, por lo cual los síntomas de deficiencias se pueden detectar en las hojas más nuevas, siendo los principales órganos de diagnóstico. En papa se han utilizado folíolos, pecíolos, hojas, tallos y tubérculos para determinar el estado nutricional. Los pecíolos son más sensibles a los cambios en la disponibilidad de macronutrientes en el suelo, mientras que las hojas son más sensibles a las diferencias en los niveles de micronutrientes (Walworth & Muniz, 1993). Si bien, los pecíolos son utilizados tradicionalmente para evaluar el nivel nutricional general en papa, existen pocas referencias que muestren los umbrales de suficiencia para Zn en hojas y pecíolos (Westermann, 1993). En la bibliografía internacional se recomienda muestrear la primera hoja totalmente expandida del tallo principal, siendo el umbral de suficiencia de Zn de 20 mg kg⁻¹ para llenado de tubérculos, el que coincide con el umbral de suficiencia para pecíolo (Westermann, 1993; Ulrich, 1996). Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la concentración de Zn en el suelo extractable con ácido dietilentriaminopentaacético (Zn-DTPA), la concentración de Zn en hoja (Znhj) y la concentración de Zn en pecíolo (Znp) como métodos de diagnóstico en papa y determinar si la Znp caracteriza de manera similar el nivel de Zn acumulado en planta (Znac) que la Znhj.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro ensayos de fertilización con Zn en lotes de papa Spunta (sitios 1, 2, 3 y 4), campaña 2018/19 en Balcarce, provincia de Buenos Aires. El suelo de todos los sitios (Tabla 1) fue clasificado como Argiudol típico (Soil Survey Staff, 1999), sin limitaciones en su capacidad de uso.

Tabla 1. Características edáficas previas a la plantación en los cuatro sitios experimentales, campaña 2018/2019

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
pH	7,0	6,2	5,6	5,4
Materia orgánica (%)	5,8	6,2	6,4	5,1
P-Bray (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)	85,6	86,2	38,9	17,0
N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) (0-60 cm)	108	94	99	118
Zn-DTPA (mg kg ⁻¹) (0-20 cm)	2,3	3,3	2,6	1,6

El pH del suelo se determinó por el método potenciométrico en agua destilada, relación 1:2,5 (Dewis & Freitas, 1970), el contenido de materia orgánica por el método de Walkley & Black (1934), el fósforo disponible (P-Bray) por el método de Bray & Kurtz (1945), la concentración de nitrato (N-NO₃⁻) por el método de Bremner (1965) y Keeney (1982) y la concentración de Zn mediante extracción con DTPA y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica (EAA 6200, Shimadzu; Lindsay & Norvell, 1978). Se evaluaron dos tratamientos, con y sin Zn (testigo) utilizando un diseño en bloques completos y aleatorizados con tres repeticiones. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 34 m². Los tratamientos con Zn se fertilizaron con 500 g Zn ha⁻¹ aplicado de manera foliar en una suspensión concentrada (70% Zn) a razón de 150 L de agua ha⁻¹ a los 60 días después de la plantación (ddp). Se fertilizó con nitrógeno y fósforo para asegurar que estos nutrientes no limitaran el crecimiento del cultivo. El riego y la conducción del cultivo se realizaron de acuerdo a las prácticas recomendadas para la zona. A los 7-10 días posteriores a la fertilización con Zn se tomaron al azar 40 pecíolos y 40 hojas de la primera hoja totalmente expandida del tallo principal de cada unidad experimental. A la madurez del cultivo se cosecharon 2 m del surco central de cada parcela para estimar el rendimiento (RTO). El material vegetal recolectado se secó, se molió y se cuantificó la concentración de Zn por espectrofotometría de absorción atómica (EAA 6200, Shimadzu). Se calculó la cantidad de Zn acumulado en planta entera (Znac) como el producto entre el Zn de la biomasa aérea y la biomasa aérea, más el producto entre el Zn de los tubérculos y la biomasa de materia seca en los tubérculos. Los resultados fueron analizados con el procedimiento PROC ANOVA del programa Statical Analysis Systems (SAS Institute, 2002). La comparación entre las medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) con un nivel de significancia ≤ 0,05 cuando el ANOVA fue significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El RTO varió de 64,7 a 68,2 Mg ha⁻¹ en el sitio 1, de 70,4 a 72,4 Mg ha⁻¹ en el sitio 2, de 79,5 a 83,1 Mg ha⁻¹ en el sitio 3 y de 40,8 a 45,2 Mg ha⁻¹ en el sitio 4, los que fueron similares y superiores al rendimiento promedio (45 Mg ha⁻¹) de la variedad Spunta (Argenpapa, 2020). No se determinó interacción sitio x Zn para el RTO. Se determinó efecto de sitio sobre el RTO. Si bien todos los sitios presentaron niveles de Zn-DTPA superiores a los umbrales de respuesta determinados para maíz de 0,9 y 0,94 mg kg⁻¹ en el sudeste bonaerense (SEB) (Barbieri, et al., 2017; Martínez Cuesta, 2022), los que tuvieron mayores rendimientos (sitios 1, 2 y 3) se asociaron con los mayores niveles de Zn-DTPA, mientras que el sitio 4 presentó un RTO más bajo, correspondiéndose con el menor contenido de Zn-DTPA (Tabla 1). Los tratamientos fertilizados tendieron a presentar mayor RTO que el testigo, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas. El RTO de los tratamientos testigo mostró una relación cuadrática y significativa con el Zn-DTPA (Figura 1a). Esto demuestra que el RTO aumentó a medida que aumentó el Zn en el suelo hasta aproximadamente un nivel de 3 mg kg⁻¹ de Zn-DTPA.



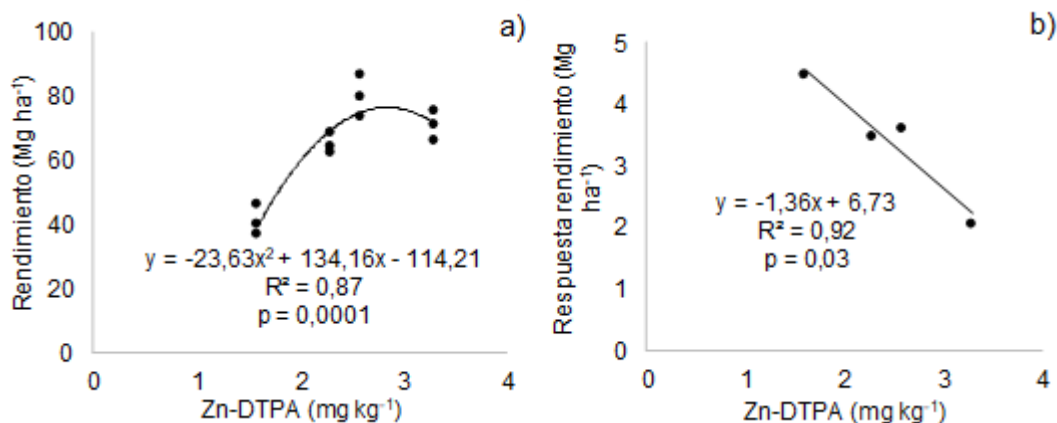


Figura 1. a) Rendimiento del testigo y b) Respuesta en rendimiento del cultivo de papa en función del nivel de Zn-DTPA en el suelo para los cuatros sitios, campaña 2018/2019

Se determinó una relación lineal y significativa entre la respuesta en rendimiento y el Zn-DTPA (Figura 1b). Esto sugiere que existe una posible respuesta a la fertilización con Zn, la cual aumenta al disminuir el Zn-DTPA y que el umbral de respuesta para el cultivo de papa es muy probable que sea mayor al umbral de respuesta de $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$ informado para cultivos de grano (Sims & Johnson, 1991) y superior a los umbrales de respuesta determinados para maíz de $0,9$ y $0,94 \text{ mg kg}^{-1}$ en el SEB (Barbieri, et al., 2017; Martínez Cuesta, 2022). Para confirmar lo antedicho, se necesitará de mayor información generada a partir de ensayos de investigación de fertilización con Zn en papa en suelos con mayor variación en Zn-DTPA. Se relacionó el Znac en función de la Znhj y la Znp (Figura 2). Ambas relaciones se describen como funciones lineales y significativas, en las que el Znac aumentó a medida que la Znhj (Figura 2a) y la Znp (Figura 2b) se incrementaron. Asimismo, se determinó que la relación entre el Znac y la Znp tuvo un mejor ajuste ($R^2 = 0,82$) que la Znhj ($R^2 = 0,54$). Esto indicaría que la Znp explicaría mejor el comportamiento del Znac que la Znhj. La relación entre la respuesta en rendimiento y la Znhj (Figura 2c) y la respuesta en rendimiento y la Znp (Figura 2d) fue lineal y significativa. Aunque el ajuste entre las variables fue mayor para la primera, la Znp explicó aproximadamente el 45 % de la respuesta en rendimiento del cultivo (Figura 2d). Tanto la hoja como el pecíolo podrían caracterizar de manera similar el estado nutricional de Zn en papa; y que Znhj es mejor para predecir la respuesta en rendimiento.

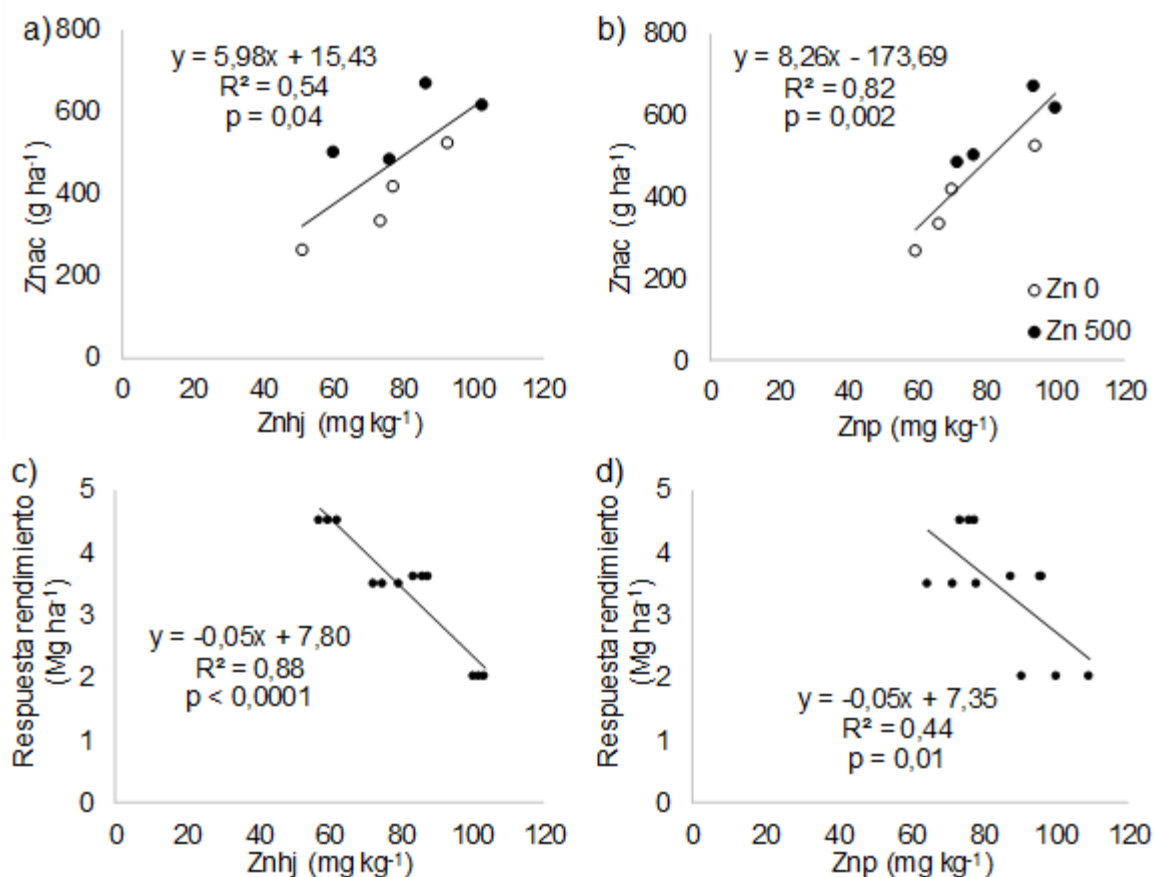


Figura 2. Relación entre el zinc acumulado en planta (Znac) y a) la concentración de zinc en hoja (Znhj), b) la concentración de zinc en peciolo (Znp); y relación entre la respuesta en rendimiento del cultivo de papa en función de c) la concentración de zinc en hoja (Znhj) y d) la concentración de zinc en peciolo (Znp); para los cuatro sitios, campaña 2018/2019.

Se determinó una relación lineal, positiva y significativa entre la Znhj y la Znp de los tratamientos testigo con el Zn-DTPA (Figura 3a y 3b). Como el ajuste de ambas regresiones fue similar, se podría inferir que la concentración de Zn en ambos órganos de diagnóstico explicaría de manera similar el contenido de Zn en el suelo. Se determinó una relación estrecha, positiva y significativa entre la Znhj y Znp a los 70 ddp ($R^2 = 0,67$) (Figura 4), lo que permitiría efectuar estimaciones de esta última en función de la primera. Esta relación podría sugerir que sería factible utilizar tanto la hoja como el peciolo como órganos de monitoreo para diagnosticar el estado nutricional de Zn en el cultivo de papa.

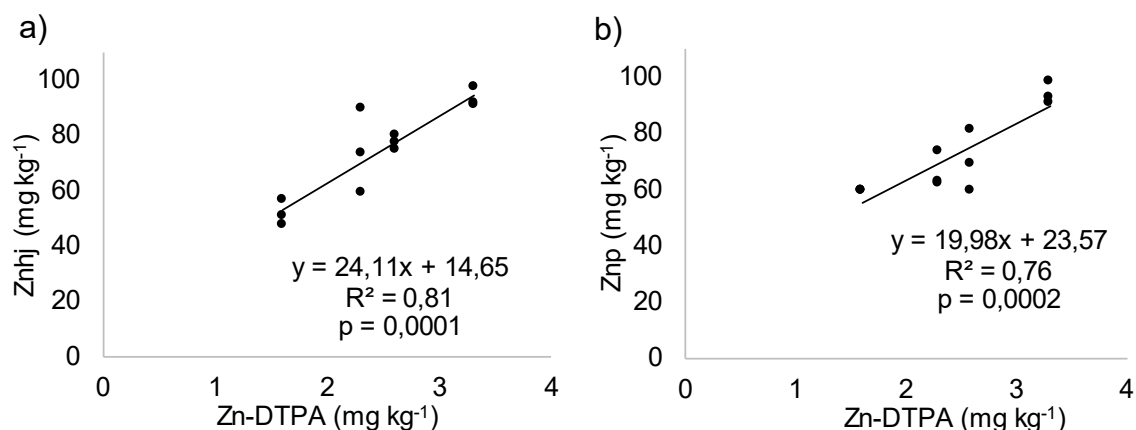


Figura 3. Relación entre a) la concentración de zinc en hoja (Znhj) y b) la concentración de zinc en peciolo (Znp) en función del contenido de Zn-DTPA de los tratamientos testigo, para los cuatro sitios, campaña 2018/19.

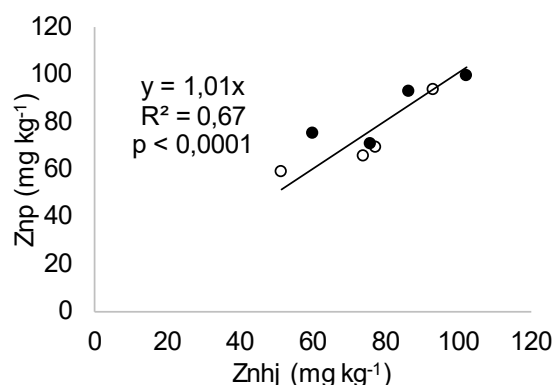


Figura 4. Relación entre la concentración de zinc en hoja (Znhj) y en peciolo (Znp) a los 70 días después de la plantación en función de los sitios y dosis de zinc (Zn), campaña 2018/2019.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la Znp explicaría mejor el comportamiento del Znac que la Znhj, que estuvo relacionada con el Zn-DTPA, que tuvo una relación lineal y significativa con la respuesta en rendimiento, aceptable para utilizar en un programa de fertilización y que tuvo una alta asociación con la Znhj, se puede inferir que la Znp sería un buen indicador del estado nutricional de Zn en papa y que los peciolo caracterizarían de manera similar el estatus de Zn que las hojas. De todas maneras, serían necesarios ensayos en otras variedades de papa y bajo distintas condiciones de crecimiento para establecer umbrales y poder catalogar a los peciolo como el órgano de monitoreo para diagnosticar el nivel nutricional de Zn en papa.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos *¿La disponibilidad de bases y micronutrientes limitan el rendimiento y la calidad de los tubérculos de papa?* (15/A646; AGR642/21) y *Métodos de diagnóstico de cationes básicos y micronutrientes para el cultivo de papa* (Res. 03 2022. PICT.2020-SERIE A 01330, FONCyT).

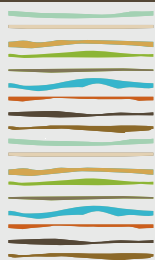
BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, JM. 2011. Análisis foliares. Laboratorio A-L. Guadalajara, México. <https://fuentesdeinformacioniapb.files.wordpress.com/2013/11/analisis-foliar.pdf> 23/08/2022.
- Argenpapa. 2020. Argentina: La cosecha de papa llega entre buenos rindes y altos costos de producción en el sudeste bonaerense. <https://www.argenpapa.com.ar/noticia/8369-argentina-la-cosecha-de-papa-llega-entre-buenos-rindes-y-altos-costos-de-produccion-en-el-sudeste-bonaerense> 23/01/2020.
- Barbieri PA, HR Sainz Rozas, N Wyndgaard, M Eyherabide, NI Reussi Calvo, F Salvaggiotti, (...) & HE Echeverría. 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? Soil Sci. Soc. Am. J.- Soil Fertility & Plant Nutrition 81(3):556-563.
- Bray RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 360-361.
- Bremner JM. 1965. Total nitrogen In: Methods of soil analysis pt. 2. Chemical and microbiological properties. ASA, SSSA, Madison, W.I. Agronomy Monograph 9. pp. 1149-1178.
- Dewis J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. FAO soils Bulletin 10:36-57.
- Keeney DR. 1982. Nitrogen-availability indexes. En: AL Page et al. (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. 2nd ed, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 711-733.
- Lindsay WL & WA Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal. 42:421-428.
- Martínez Cuesta, N. 2022. Comparación de métodos de análisis de suelo y planta para el diagnóstico de la disponibilidad de maíz. Tesis Doctor en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 104 p.
- SAS Institute. 2001. The SAS System for Windows. Release version 6.12. SAS Inst., Cary, NC.



- Sims JT & GV Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In: Mortvedt JJ, FR Cox, LM Shuman, & MR Welch (eds.). Micronutrients in agriculture. SSSA Madison, Winsconsin, USA. pp. 427-476.
- Soil Survey Staff. 1999. Mollisols. In: Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd. ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. Agriculture Handbook N°436, pp.555-654
- Ulrich, A. 1996. Potato. In: WF Bennett. Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. College of Agricultural Sciences and Natural Resources Texas Tech University, Lubbock. pp.149-156.
- Walkley, A & Y Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-37.
- Walworth JL & JE Muniz. 1993. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. American Journal Potato Research 70(8):579-597.
- Westermann DT. 1993. Fertility management. In: Rowe RC (ed.). Potato health management. APS Press. St Paul, Minnesota, USA. pp 77-86.





EVALUACIÓN DE NUEVO ABONO ORGÁNICO GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y EFLUENTE PORCINO

Simonutti, M.^{1,2}, J.G. Nicolier², M. Aguilar², M.E. Carrizo², M.J. Masola², M.G. Derita^{1,3}, G.M. Seimandi^{1,*}, S.C. Imhoff^{1,2}

¹ ICiAgro Litoral-CONICET-UNL;

² Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias;

³ Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas;

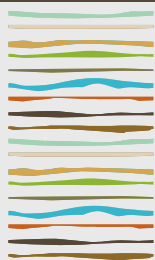
* Kreder 2505, (3080) Esperanza, Prov. de Santa Fe, giseimandi@gmail.com

RESUMEN

La producción agropecuaria intensiva va asociada a la mayor demanda de insumos y al aumento de producción de efluentes. Si la alta producción de granos no es acompañada del correcto manejo del suelo, inevitablemente se producirá una severa degradación físico-química de este recurso. Para evitar estos inconvenientes, la empresa Don Darío ha desarrollado un sistema de transformación de residuos agrícolas con efluentes porcinos que finaliza con la obtención de un abono orgánico. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad del producto resultante de dicho proceso para verificar la factibilidad de uso en producciones intensivas, empleando para ello el cultivo de frutilla (*Fragaria ananassa* D.). El ensayo se realizó en un invernadero situado en la FCA/UNL. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, totalizando 16 macetas. Los tratamientos fueron mezclas de abono orgánico + suelo en las siguientes proporciones: T0: 100 % abono; T1: 66 % abono + 33 % suelo; T2: 33 % abono + 66 % suelo; y T3: 100 % suelo. Al inicio del ensayo y luego de la postcosecha de las frutillas, se midió el % de materia orgánica, el contenido de macro y micronutrientes, las propiedades fisicoquímicas y el índice de germinación de malezas para cada tratamiento. Además, se contabilizó el número de flores y el número y peso de frutos. En T0 y T1 las plantas murieron al poco tiempo de iniciado el ensayo. Entre T2 y T3 no hubo diferencias significativas en el **número de flores, de frutos ni** en su peso. Sin embargo, la distribución mensual (% sobre el total) de producción mostró que en T2 las plantas empezaron a dar flores y frutos más tarde que en el tratamiento 100% suelo. Esta característica les permitiría a los productores regular la producción y reducir el uso de fertilizantes químicos. Este estudio permitió concluir que: 1) el proceso de producción del abono funciona correctamente; 2) que el nuevo producto es un abono muy rico en materia orgánica, nitrógeno y macro y micronutrientes, con adecuadas características físicas y ausencia de malezas. Sin embargo, en este estudio, el abono presentó una excesiva conductividad eléctrica y un alto contenido de Na. Esta característica negativa es causada por la mala calidad del agua que afecta la composición del efluente. Por ello, los resultados demuestran que, en todos los casos, es imprescindible determinar la calidad físico-química del abono y en función de esto establecer su uso como sustrato, en mezclas o en dosis reducidas para aporte de nutrientes. Su uso agronómico deberá ser establecido en función de criterios de fertilización y de los cambios que genere en el suelo. El cultivo de frutilla resultó un buen indicador, ya que permitió visualizar el efecto de su uso en dosis diferentes. A partir de este estudio se puede establecer la necesidad de profundizar las evaluaciones para determinar su efecto cuando se usa como fertilizante y verificar la respuesta de otros cultivos.

Palabras clave: abono orgánico, efluentes, compostaje.





CARACTERIZACIÓN DE TRES ENMIENDAS ORGÁNICAS GENERADAS A PARTIR DE MEZCLAS DE DESECHOS PECUARIOS Y VEGETALES

Simonutti, M.^{1,2,*}, J.G. Nicolier², G.M. Seimandi¹, S.C Imhoff^{1,2}

¹ ICiAgro Litoral-CONICET-UNL;

² Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias;

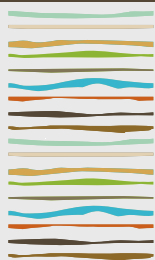
* Kreder 2505, (3080) Esperanza, Prov. de Santa Fe, simonuttim@gmail.com

RESUMEN

En las últimas décadas, los sistemas de producción animal y vegetal en Argentina se han intensificado, sumado al crecimiento de la industria láctea. Esto trae como consecuencia el incremento en la generación de efluentes y biosólidos que, en general, no son manejados adecuadamente. Dicha situación hace necesario ahondar en la búsqueda de alternativas para transformar estos desechos en insumos que puedan ser utilizados en otras actividades productivas. Un mecanismo muy utilizado para lograr esta transformación es el compostaje, mediante el cual se obtiene un incremento de carbono orgánico, nutrientes y actividad enzimática. Así, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición fisicoquímica y biológica de tres enmiendas orgánicas generadas a partir de desechos de industria láctea (DAF, biosólidos de flotación de aire disuelto), desechos pecuarios (BCVO, barrido de corrales de vaca ordeñe; PCT, paja de cama de terneros) y restos vegetales (RM, rastrojo de maíz), y evaluar los cambios de temperatura y humedad de las mezclas generadas a lo largo del tiempo. Para esto, se conformaron tres mezclas con diferentes proporciones: enmienda A (50% DAF, 42,9% BCVO, 3,6% PCT y 3,5% RM); enmienda B (61,9% DAF, 27,3% BCVO, 5,4% PCT y 5,4% RM); y enmienda C (59,8% DAF, 26,9% BCVO, 12,7% PCT y 0,6% RM). Se realizaron análisis fisicoquímicos de cada componente de las mezclas, y al inicio y final del proceso de compostaje (luego de 3 meses). Periódicamente se midió la temperatura y la humedad a una profundidad aproximada de 30 cm. Finalizados los 3 meses, se realizaron análisis bacteriológicos a cada enmienda. Los análisis fisicoquímicos al final del proceso mostraron un aumento en el porcentaje de materia seca, pH y en el contenido de nutrientes; contrariamente, el porcentaje de carbono oxidable y carbono total disminuyó. Respecto a los nutrientes, se observaron mayores diferencias entre el inicio y el final del proceso para las enmiendas A y C; en particular, la enmienda C mostró un elevado aporte de potasio y calcio respecto a las enmiendas A y B. El análisis bacteriológico mostró presencia de algunos coliformes y ausencia de *Salmonella* y *E. coli* en las mezclas. La temperatura se mantuvo entre los 50 y los 65°C en los primeros 10 días, y fue disminuyendo hacia el final. La humedad osciló entre el 20-40% a lo largo de todo el ciclo para las tres enmiendas. En conclusión, las enmiendas orgánicas obtenidas por compostaje a partir de mezclas de desechos pecuarios y de la industria láctea en mezcla con restos vegetales, podría considerarse un insumo importante para la producción vegetal, ya que mostraron ser ricas en materia seca y nutrientes. Además, en todas las mezclas no se observaron bacterias que podrían ser nocivas para la salud, como la *Salmonella* sp. y *E. coli*. Sin embargo, su uso agronómico requiere conocer la composición del suelo a utilizar y los requerimientos del cultivo, los cuales deben monitorearse constantemente para evitar excesos de nutrientes. Por tal motivo, es necesario realizar más estudios para evaluar la utilización de estas mezclas en diferentes cultivos.

Palabras clave: desechos pecuarios, abonos, DAF.





RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ TEMPRANO EN UN HAPLUDOL TÍPICO DEL CHACO

Stahringer, N.I.^{1*}, C.G. Ruggiero,² M. Goujon³, D.A. Petelko¹, D.N. Poliszczuk¹, C.F. Landriel¹, D.A. Gisbert¹, G.R. Vallejos¹, H.C. Dalurzo¹

¹ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131. Corrientes.

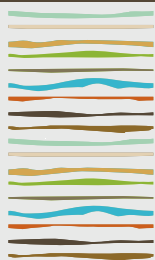
² Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias - Universidad de Morón;

³ Productor Agropecuario nicostahringer@hotmail.com;

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el nutriente que más frecuentemente limita el crecimiento y rendimiento del maíz. En Chaco, el rinde promedio de este cultivo en las campañas 15/16 a 17/18, fue 5,7 t.ha⁻¹ (inferior al promedio nacional). Este estudio se realizó en la localidad de Colonia Elisa – Chaco, en un suelo Hapludol típico (Serie Cabral) con aproximadamente 80 años de agricultura casi sin fertilización, lo que ha generado una reducción de la materia orgánica del suelo (MO). Los objetivos de este trabajo fueron: a) caracterizar el suelo donde se estableció el ensayo, b) cuantificar: rendimiento en grano y determinar la respuesta a la fertilización nitrogenada, c) evaluar el número de granos.m² y peso de 1000 granos, d) determinar: Eficiencia de Uso del Nitrógeno (EUN), Eficiencia Marginal de Uso del Nitrógeno (EMUN), Eficiencia del Uso del Agua (EUA) y Balance Parcial de N (BPN), e) evaluar el Retorno Neto de la Fertilización con N (RNFN) y el Retorno por Dólar Invertido (R.USD.I) y f) analizar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de N, S y proteína en grano. Se sembró el híbrido NS 7818 (Viptera 3) a 52 cm entre líneas, con 44230 plantas.ha⁻¹. Las dosis, en kg N.ha⁻¹, fueron: T1=40; T2=86, T3=109 y T4=132 (fertilizantes utilizados: SolMIX 90-10 y urea). A la siembra el suelo presentaba: MO=1,86% y N-NO_{3 0-60 cm} = 25,4 kg N.ha⁻¹. Se obtuvieron rendimientos de 4543, 6903, 7505 y 7895 kg.ha⁻¹ para T1, T2, T3 y T4, respectivamente. La máxima respuesta (3352 kg.ha⁻¹) fue alcanzada con 132 kg N.ha⁻¹. A medida que aumentó la disponibilidad de N (suelo+fertilizante), se vio un incremento en el peso de 1000 granos (221,7 a 279,5 g) y en número de granos.m² (1752 a 2446 granos.m²). La EUN y la EMUN disminuyeron a medida que se incrementaron las dosis de N. La EUA aumentó a medida que se incrementaron las dosis de N (14,4 a 25,0 kg grano.ha⁻¹.mm⁻¹). El BPN < 1 en todos los tratamientos evaluados, indica que siempre el N aplicado fue mayor al N removido del sistema. El RNFN fue positivo en todos los tratamientos, siendo que aumentó en la medida que incrementaron las dosis de N con un máximo de 263 USD.ha⁻¹ para 132 kg N.ha⁻¹. El mayor R.USD.I (1,27 USD.USD⁻¹) se alcanzó con 109 kg N.ha⁻¹. Con base en los análisis de grano se determinó que a partir de 86 kg N.ha⁻¹ en adelante, no habría deficiencia de N y que, en todas las dosis de N aplicadas, salvo 132 kg N.ha⁻¹, el cultivo estuvo limitado por la oferta de S. Se concluye que la fertilización nitrogenada permitió aumentar el rendimiento y la calidad (proteína del grano) del maíz temprano en las condiciones evaluadas en este estudio.

Palabras clave: eficiencia de uso del nitrógeno, retorno económico y proteína en grano.



EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA AL SUELO EN CONDICIONES CONTROLADAS Y CAMPO

Takata, V.^{1*}, G. Arrarte,¹ A. del Pino¹, L. Rogel¹

¹Universidad de la República - Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay

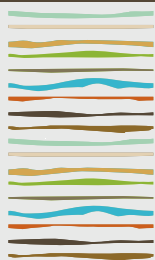
*virginiatakata@gmail.com

RESUMEN

Los grandes volúmenes de residuos que generan algunas industrias o rubros agrícolas constituyen un problema en relación con su destino y gestión final. Las prácticas adoptadas involucran la disposición en el terreno de las enmiendas como mejoradores de suelo. El uso de estos residuos tiene como finalidad, convertir un residuo ambientalmente peligroso por su alta carga de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P), en un producto con cierto valor económico, y así colaborar en mantener la sostenibilidad del recurso suelo y agua. Contar con datos nacionales de las características nutricionales de diferentes enmiendas contribuye a un manejo adecuado de los residuos y a garantizar la inocuidad de los alimentos producidos bajo estos sistemas. El objetivo del trabajo fue evaluar la disponibilidad de nutrientes de dos residuos de la industria cervecera: lodos y tierra de diatomeas y su efecto en las propiedades del suelo de manera de estimar su potencial como biofertilizante para un cultivo. Por su alto contenido de P los lodos podrían sustituir la fertilización fosfatada en cultivos y pasturas mientras que las tierras diatomeas que aportan mayoritariamente C podrían utilizarse como enmiendas orgánicas mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Se evaluó la mineralización de los materiales en diferentes dosis mezclados con el suelo en condiciones controladas de laboratorio y de campo. Los tratamientos fueron: lodo dosis baja y dosis alta, tierras diatomeas dosis baja y dosis alta, una mezcla de ambos subproductos (por tener propiedades complementarias), un testigo químico dosis baja y dosis alta y finalmente un testigo sin agregado de materiales. Además, en el experimento de campo se evaluó la biomasa área del sorgo cultivado. De la incubación puede concluirse que los diferentes materiales produjeron efectos diferentes sobre las propiedades del suelo, y la disponibilidad de nutrientes. La liberación de nutrientes, en especial N y P del lodo fue rápida, notándose incrementos desde el primer muestreo realizado dos semanas después de la instalación. Este hecho pone de manifiesto la potencialidad del mismo como aporte de nutrientes. En el caso de tierra de diatomeas, no se observó incremento en los nutrientes por su agregado. la combinación de lodos y tierras de diatomeas presentó una liberación de nutrientes similar a los liberados por el fertilizante químico por lo cual se presenta como una opción promisorio para la disposición final de estos residuos. En cuanto al experimento de campo, no se observaron efectos de las enmiendas sobre las propiedades del suelo, lo cual resulta auspicioso, ya que sugiere que si se implementa su aplicación en condiciones de producción no habría limitaciones en ese aspecto. Sin embargo, por haberse realizado el experimento sobre un suelo de alta fertilidad no se logró determinar el aporte de nutrientes de los materiales al cultivo de sorgo ya que los rendimientos de la biomasa fueron similares en todos los tratamientos incluso en el testigo. Esto indica la necesidad de seguir investigando, en especial para definir las dosis de aplicación para diferentes situaciones de producción.

Palabras clave: Lodo, Fertilizante orgánico, Fósforo





EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BALANCEADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE FIBRA EN EL CULTIVO DE ALGODÓN

Tcach, N^{1*}, L. Klein¹, L. Verbeek², M. Saks^{1*}

¹Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. Sáenz Peña, Prov. Chaco.

* tcach.Nydia@inta.gob.ar.

²Bunge Argentina S.A. 25 de mayo 501. C1002 ABK. CABA.

* matias.saks@bunge.com

RESUMEN

El ambiente como la genética son los factores que tienen mayor importancia en la determinación de la producción y de la calidad de la de fibra. Nuestro objetivo fue evaluar las respuestas a fertilización balanceada sobre el rendimiento y calidad de fibra en el cultivo de Algodón. El ensayo fue conducido en el campo experimental en la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Sáenz Peña, sobre un suelo Haplustol Oxico, serie independencia. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria dentro del bloque. Los rendimientos de fibra bruta se diferenciaron estadísticamente respecto del testigo (T0) variando entre 1785,4 y 3162,7 kg/ha respectivamente. Las respuestas en productividad variaron entre 481 y 1377 kg diferenciándose ampliamente aquellos tratamientos con mayor nivel de nutrición en respuestas superiores al 25%, respecto a los tratamientos con fertilización de base. Las mayores productividades se lograron con las dosis mayores de nutrientes y con inclusión de Azufre y Zinc en los tratamientos de fertilización.

Palabras clave: productividad, azufre, zinc

INTRODUCCIÓN

El cultivo del algodón se cultiva en varios países del mundo debido a la importancia del uso de la fibra (Sunilkumar et al., 2006). Además del impacto económico es importante ya que integra varios sectores del sistema productivo (Russo et al., 2000). La producción de fibra es el principal objetivo en la producción de algodón, aunque también los subproductos revisten gran importancia. Los productores tienen el desafío permanente de estabilizar e incrementar rendimientos, pero también -y más aún- mejorar la calidad de fibra (Scarpin et al., 2016), y de esta manera poder incentivar el consumo de algodón y sus derivados, en el país y el mundo. La calidad de fibra de algodón está influenciada por factores genéticos, nutricionales, ambientales, edáficos, prácticas culturales, plagas y enfermedades, entre otros (Scarpin et al., 2016). Tanto el ambiente como la genética utilizada en cada semilla, son los factores que tienen mayor importancia en la determinación de la producción y de la calidad de la de fibra. Así, la interacción del ambiente con la aplicación de técnicas de fertilización podría mejorar la producción y la calidad de la fibra del algodón, dado que la nutrición vegetal se considera uno de los factores de manejo más importantes asociado a la productividad de las plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar las respuestas a fertilización balanceada sobre el rendimiento y calidad de fibra en el cultivo de Algodón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue conducido en el campo experimental en la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Sáenz Peña, (Latitud Sur 26° 47' 27" y Longitud Oeste 60° 26' 29"; Altitud 90 msn), Colonia Bajo Hondo-Chaco, Ruta Nacional 95 km 1108 durante la campaña agrícola 2021-2022 sobre un suelo Haplustol Oxico, serie independencia. En 0-20 cm se determinaron los contenidos de Materia Orgánica total (% Walkley y Black 1934), Conductividad eléctrica (Ds/m), pH, Nitrógeno total (%) y Fósforo extractable (ppm, Bray and Kurtz, 1945). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria dentro del bloque. Cada bloque estará compuesto de 4 parcelas. Cada parcela tendrá un tamaño de 90 m² (15 m largo x 4 m ancho). La misma estuvo constituida de 8 líneas con distanciamiento de 0,48 m entre surcos por 10 m lineales.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización realizados en el cultivo de Algodón.

TRATAMIENTO	Producto	Dosis de fertilizante (Kg .ha ⁻¹)	Dosis de N-P-S-Zn (Kg.ha ⁻¹)	Forma de aplicación	Momento de aplicación
T ₀ (Testigo absoluto)	-	-	0	-	
T ₁	Urea	100	46-0-0 S-0 Zn	Voléo	Siembra
T ₂	MAP	50	5,5-11-0 S-0 Zn	Incorporado	Siembra
T ₃	MAP + Urea	50 Kg MAP + 100 Kg Urea	46-11-0 S-0 Zn	Incorporado MAP + Voléo Urea	Siembra + 2-4 nudos
T ₄	MAP + SolMIX (Solución de UAN +Tiosulfato de Amonio)	50 Kg MAP + 164 Kg SolMIX	46-11-8,5 S-0 Zn	Incorporado MAP + chorreado SolMIX	Siembra + 2-4 nudos
T ₅	MAP + SolMIX Zn (Solución de UAN +Tiosulfato de Amonio+Sulfato de Zinc)	50 Kg MAP + 170 Kg SolMIX Zn	46-11-8,5 S-0,7Zn	Incorporado MAP + chorreado Sol-MIX Zn	Siembra + 2-4 nudos
T ₆	MAP + Urea	50 Kg MAP + 200 Kg Urea	92-11-0 S-0 Zn	Incorporado MAP + Voléo Urea	Siembra + 2-4 nudos
T ₇	MAP + SolMIX (Solución de UAN +Tiosulfato de Amonio)	50 Kg MAP + 328 Kg SolMIX	92-11-17 S-0 Zn	Incorporado MAP + chorreado SolMIX	Siembra + 2-4 nudos
T ₈	MAP + SolMIX Zn SolMIX Zn (Solución de UAN +Tiosulfato de Amonio+-Sulfato de Zinc)	50 Kg MAP + 340 Kg SolMIX Zn	92-11-17 S-1,4 Zn	Incorporado MAP + chorreado Sol-MIX Zn	Siembra + 2-4 nudos

Los tratamientos se realizaron con cuatro repeticiones (Tabla 1). La densidad de plantas logradas por metro fue 11 plantas, utilizando la variedad NUOPAL (semilla ácido deslizada) Se realizó un análisis de la varianza y las diferencias en los valores promedios se analizaron mediante la prueba LSD de Fisher al 5% (p<0.05) a través del programa InfoStat versión 2017.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los rendimientos de fibra bruta y el número de semillas logradas por metro lineal. Los rendimientos de fibra bruta se diferenciaron estadísticamente respecto del testigo (T₀) variando entre 1785,4 y 3162,7 kg/ha respectivamente. Las respuestas en productividad variaron entre 481 y 1377 kg diferenciándose ampliamente aquellos tratamientos con mayor nivel de nutrición en respuestas superiores al 25%, respecto a los tratamientos con fertilización de base. Por otra parte, en los tratamientos con inclusión de Zinc (T₅ y T₈) se obtuvo el mayor nivel de productividad, 3010,1 y 3162 kg/ha respectivamente. El número de semillas también mostró diferencias respecto al testigo (T₀) en todos los tratamientos, pero dicha diferencia fue estadísticamente significativa en el tratamiento 8 mostrando (Tabla 2), incrementando entre 4 y 118 % respecto al testigo.



Tabla 2. Rendimiento de algodón en bruto (kg/ha) para los distintos tratamientos de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tratamientos	Rendimiento de algodón en Bruto (Kg/ha)	Respuesta algodón en Bruto (kg/ha)	Número de semilla/metro lineal
T0	1785,4 a	0	687 a
T1	2266,7 ab	481,3	1007 ab
T2	2541,8 bc	756,4	715 a
T3	2667,5 bc	882,1	788 a
T4	2563,6 bc	778,2	749 a
T5	3010,1 cd	1224,7	1220 ab
T6	2693,5 bcd	908,1	882 a
T7	2597,6 bc	812,2	795 a
T8	3162,7 d	1377,3	1496 b

Tabla 3. Parámetros de calidad industrial determinados en los distintos tratamientos de fertilización.

Tratamiento	Longitud (mm)	Uniformidad (%)	SFI (%)	Resistencia gr/tex	Elongación (mm)	Micronaire (g/pulg)
T0	26,5	81,2	7,5	27,5	6,1	3,5
T1	27,6	81	11,9	27,2	6,2	3,9
T2	28,9	82,3	11,2	33,5	6,5	3,7
T3	28,6	82,1	9,6	33,4	6,4	4,3
T4	29,9	83,4	7,7	32,4	6,7	3,8
T5	29,1	82,5	8,1	33,1	6,6	4,1
T6	30,3	83,8	7,7	32,8	6,7	3,5
T7	31,1	84,4	8,3	33,8	7,3	3,4
T8	29,7	83,1	7,2	32,4	6,6	3,7

El SFI indica el porcentaje de fibras dentro de una muestra que tienen una longitud inferior a 1/2 pulgada.

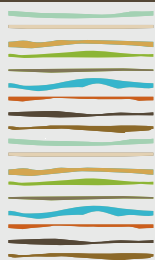
CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la fertilización en sistemas de producción de algodón mejoró tanto la productividad como la calidad de la fibra obtenida. Las mayores productividades se lograron con las dosis mayores de nutrientes y con inclusión de Azufre y Zinc en los tratamientos de fertilización. Nuevos estudios son necesarios para identificar y cuantificar respuestas a nuevos nutrientes que permitan mejorar tanto la productividad, la calidad de la fibra, como así también la eficiencia en el uso de los insumos utilizados en prácticas de manejo sitio-específico.

BIBLIOGRAFÍA

- Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci., 59: 360-361.
- Russo, J., Elena, G., Pasich, L., 2000. Estudio de la cadena nacional agroindustrial del algodón. INTA .44pp.
- Scarpin, G.; Venturini, L. M.; Paytas, M. Evaluación de la fertilización complementaria en dos variedades de algodón. Voces y Ecos, v. 26, n. 36, p. 8-11, 2016.
- Sunilkumar, G., Campebel, L., Puckhaber, L. 2006. Nutrición del cultivo de algodón. PNAS. 103:8054-18059.
- Walkley A., Black T.A. 1934. Soil Sci. 37:29-38





MANEJO DE VICIA COMO CULTIVO DE COBERTURA Y SU EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO Y EL RENDIMIENTO EN GIRASOL

Tordó, A.L.^{1,2,*}, C. Crespo^{1,2}, N. Wyngaard¹, H.R. Sainz Rozas^{1,2}, W.D. Carciochi^{1,2}, P.A. Barbieri^{1,2}

¹ Unidad Integrada Balcarce (FCA (UNMdP) – EEA INTA Balcarce);

² CONICET.

*Ruta Nacional 226 km 73,5 (Balcarce, Argentina),
mail: tordo.agustina@inta.gob.ar.

RESUMEN

El cultivo de cobertura vicia (*Vicia villosa* Roth) como antecesor de girasol (*Helianthus annuus*) podría aportar nitrógeno (N) desde sus residuos, reduciendo el requerimiento de fertilización nitrogenada. El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una secuencia vicia-girasol, distintas fechas de secado de vicia sobre: (i) producción de materia seca (MS) de vicia, (ii) N-NO_3^- en el suelo a la siembra del girasol, (iii) rendimiento de girasol y (iv) eficiencia de uso de N (kg kg^{-1} N disponible). Con tal fin, en las campañas 2019/20 y 2020/21 se realizaron ensayos en un Argiudol típico en Balcarce. Se evaluaron tres fechas de secado del CC: i) 7, ii) 15, y iii) 30 días previos a la fecha de siembra de girasol y iv) testigo sin CC; combinados con dos niveles de fertilización en el cultivo de cosecha: i) 0N (testigo sin fertilizar), ii) 150N (150 kg N ha^{-1}). En ambas campañas, se observó un aumento en la MS de vicia con el retraso del secado. El contenido de N-NO_3^- en el suelo a la siembra del girasol para ambas campañas no varió entre tratamientos. En la campaña 2019/20, la vicia aumento el rendimiento en grano del girasol para los secados de 15 y 30 días, mientras que el secado de 7 días produjo reducciones significativas del rendimiento probablemente por una menor disponibilidad hídrica. En la campaña 2020/21 no se obtuvieron diferencias con el testigo ya que la disponibilidad hídrica afectó el rendimiento de girasol. En ningún año hubo respuesta en rendimiento de girasol al agregado de N. La EUN fue mayor en ambas campañas en el tratamiento 0N independientemente del antecesor.

Palabras clave: intensificación agrícola, cultivos de cobertura, fertilización.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de girasol (*Helianthus annuus*.) posee altos requerimientos de nitrógeno (N) (Ciampitti y García, 2007) por lo que la fertilización con este nutriente es una práctica de manejo habitual. En la Región Pampeana, la actividad agrícola continua ha llevado a marcadas caídas en el potencial de mineralización de N de los suelos (Sainz Rozas et al., 2011, Rivero et al., 2020). De este modo, es necesario contar con alternativas de manejo que reviertan o reduzcan la caída de N en los suelos, mejorando la sustentabilidad de los agroecosistemas y minimizando la dependencia de fertilizantes. En este contexto la utilización de cultivos de cobertura (CC) surge como una opción económica y ecológicamente viable para incrementar la disponibilidad de N (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Los CC se desarrollan durante el tiempo de barbecho entre dos cultivos de cosecha, prolongando el tiempo con vegetación viva, aportando un mayor tiempo de cobertura y de colonización del suelo por raíces activas. Especies leguminosas como la vicia (*Vicia villosa* Roth.) son utilizadas como CC por (i) su capacidad de fijar N atmosférico, que en promedio representa el 60% del N total absorbido (Enrico et al., 2020) y, (ii) por la baja relación C/N de sus residuos ($<25/1$), sujetos a una rápida mineralización (Capurro et al., 2012). La producción de MS de los CC se encuentra acotada al crecimiento delimitado por la fecha de siembra y el secado. Por lo tanto, el momento de secado de vicia determina, en parte, la cantidad de N que

puede ser fijado por la leguminosa, cuánto residuo quedará en la superficie del suelo, y en qué momento ocurre la liberación de sus nutrientes al suelo (Clark et al. 1998). En la actualidad hay poca información sobre el impacto de diferentes manejos de vicia y el aporte de N de sus residuos como antecesor de girasol. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de vicia como CC sobre la disponibilidad de N en una rotación de vicia-girasol en el sudeste bonaerense (SEB).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante dos campañas (2019/20 y 2020/21) se realizó un ensayo en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Balcarce, Buenos Aires, (37° 45' S, 58° 18' O, 138 m sobre el nivel del mar), sobre una secuencia vicia-girasol. El suelo donde se desarrollaron los experimentos fue un Argiudol Típico con menos de 2 % de pendiente y textura superficial franca. En la Tabla 1 se presentan algunas características del suelo del sitio experimental al inicio de la experiencia.

Tabla 1: Resultado del análisis de suelo a la siembra de vicia para ambas campañas: en 0-20 cm fósforo extractable (P-Bray), pH, materia orgánica (MO); y en 0-60 cm nitrógeno como nitrato ($N-NO_3^-$) y azufre como sulfato ($S-SO_4^{2-}$).

Campaña	P-Bray (mg kg ⁻¹)	pH	MO (%)	N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	S-SO ₄ ⁻² (kg ha ⁻¹)
1	22.2	5.5	5.0	84.5	24.5
2	31.0	5.6	5.4	104.2	30.3

Se realizó un diseño en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas con 3 repeticiones. En las parcelas principales se evaluaron tres fechas de secado 30 (S30), 15 (S15) y 7 (S7) días previos a la siembra del cultivo de girasol y un testigo sin vicia (T). A su vez, cada parcela se dividió en dos sub-parcelas con diferentes tratamientos de fertilización en girasol (con N y sin N). Los cultivos se sembraron bajo siembra directa. El cultivo de vicia se sembró con una densidad de 30 kg ha⁻¹ y las semillas fueron inoculadas con *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, previo a la siembra. El secado se realizó con una aplicación de 4 L ha⁻¹ de glifosato (48% i.a.). La fertilización con N del cultivo de girasol se realizó luego de la siembra siendo la dosis de 150 kg N ha⁻¹ bajo la forma de urea. Las plagas, malezas y enfermedades en ambos cultivos se controlaron con métodos químicos para que éstas no afecten el desarrollo de los mismos.

Al momento de secado de vicia se determinó el contenido de materia seca (MS) del CC. Previo a la siembra de girasol se tomaron muestras de suelo de cada unidad experimental (0-60 cm) para determinar el contenido de N-NO₃⁻ (Keeney y Nelson, 1982). A la madurez fisiológica de girasol se determinó el rendimiento en grano y se expresó a una humedad de 14 g 100g⁻¹. Con los datos de la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce se realizó un balance hídrico decádico para ambas campañas. La eficiencia de uso de N en el cultivo de girasol se determinó como el cociente entre el rendimiento del cultivo y el N disponible (N a la siembra + N aportado por el fertilizante).

Para el análisis estadístico se utilizó el procedimiento PROC-MIXED (Littell et al., 2006) incluidos en el Programa estadístico SAS (SAS Institute, 1988). Las medias de tratamiento o su interacción fueron comparadas mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS) (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones registradas durante el periodo de crecimiento de vicia fueron mayores en la campaña 2, respecto a la campaña 1 (Figura 1). En el cultivo de girasol y en ambas campañas, se registraron deficiencias hídricas durante el periodo crítico. Esta situación fue más pronunciada en la campaña 2, por lo tanto, los rendimientos pudieron haberse afectado en mayor medida respecto a la campaña 1 (Figura1).



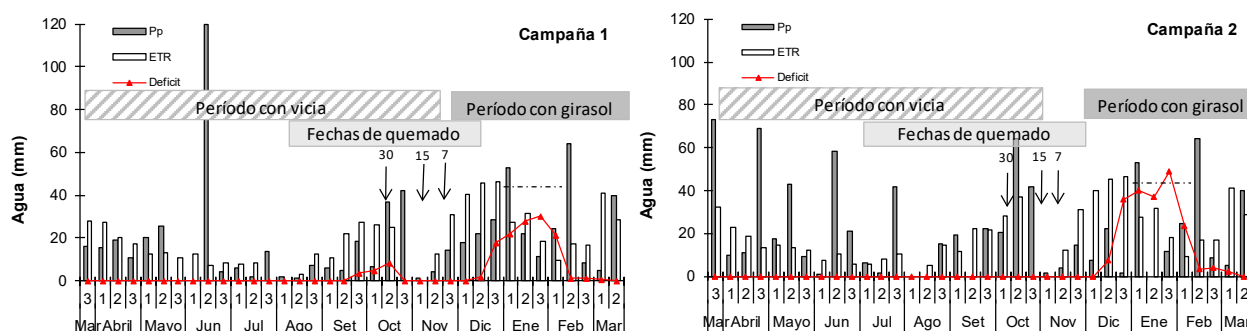


Figura 1: Balance hídrico decádico para la campaña 2019/20 (Campaña 1) y 2020/21 (Campaña 2). Las líneas punteadas indican el período crítico de determinación del rendimiento.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la acumulación de MS de vicia para las distintas fechas de secado en ambas campañas. En la campaña 1, fue menor la producción S30 (3250 kg MS ha⁻¹) con respecto a S15 y S7 (3910 y 4100 kg MS ha⁻¹, respectivamente) (Figura 2). En la campaña 2 debido a mayores precipitaciones (Figura 1) las tres fechas de secado acumularon mayor biomasa de vicia respecto a la campaña 1, aumentando a su vez con el retraso en el secado (Figura 2). Eliceche (2019) obtuvo resultados similares en el sudeste bonaerense.

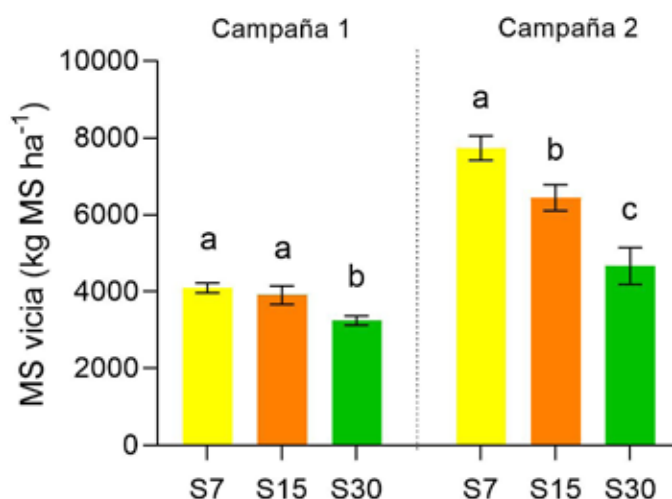


Figura 2: MS vicia (kg MS ha⁻¹) en las distintas fechas de secado de 30 (S30), 15 (S15) y 7 (S7) días previo a la siembra de girasol para ambas campañas. Barras verticales señalan el error estándar. Letras iguales indican diferencias no significativas entre fechas de secado ($p < 0,05$).

En relación al contenido de N-NO_3^- en el suelo a la siembra del girasol, no se detectó efecto significativo ($p > 0,05$) de las distintas fechas de secado de la vicia en ninguna campaña, aunque se observó una tendencia a mayores contenidos de N-NO_3^- en los tratamientos con vicia respecto al testigo (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los registrados por Crespo (2016). Sin embargo, se esperaba encontrar mayores contenidos de N-NO_3^- en la campaña 2 en los tratamientos en los que se quemó la vicia temprano (S30), asociados a un mayor tiempo de descomposición de los residuos y a mayor acumulación de MS de vicia respecto del año anterior (Figura 2). La ausencia de efecto del secado podría deberse a que llovieron 126 mm entre S30 y la siembra del girasol (Figura 1), sumado a que el suelo se encontraba a capacidad de campo, lo que podría originar un movimiento de N-NO_3^- hacia capas inferiores del suelo.

Tabla 2: Nitrógeno disponible en el suelo a la siembra del girasol ($N-NO_3^-$) en el estrato 0-60 cm en ambas campañas. Letras iguales indican diferencias no significativas entre tratamientos según test de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Tratamiento	$N-NO_3^-$ (kg ha ⁻¹)			
	Campaña 1		Campaña 2	
Testigo	68.99 (9.51)	a	77.83 (11.04)	a
S7	90.19 (10.78)	a	82.28 (14.33)	a
S15	91.13 (8.21)	a	68.23 (7.39)	a
S30	93.86 (13.37)	a	88.64 (11.93)	a

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el rendimiento en grano de girasol para las distintas fechas de secado en la campaña 1, donde fue menor el rendimiento de girasol en S7 con respecto a S15 y S30, mientras que no tuvo diferencias significativas con el T (Tabla 3). En menor rendimiento determinado en S7 podría estar asociado a una menor oferta hídrica respecto de las otras fechas de secado. En la campaña 2 no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en rendimiento en grano de girasol para las distintas fechas de secado. En este segundo año el rendimiento del cultivo de cosecha estuvo limitado por un déficit hídrico en el periodo crítico (Figura 1), siendo inferior al determinado en la primera campaña (Tabla 3).

En ninguna campaña se determinó incrementos en el rendimiento por efecto de la fertilización con N ($p > 0,05$). En la campaña 1, el alto contenido de $N-NO_3^-$ determinado a la siembra del girasol (Tabla 2) más el aporte de N orgánico proveniente de la mineralización durante el ciclo del cultivo habrían sido suficiente para cubrir los requerimientos de N (Tabla 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Diovisalvi et al. (2018) y Tovar-Hernandez et al. (2021) para similares disponibilidades de N a la siembra del girasol. En la campaña 2, la nula respuesta al agregado de N, se puede asociar al déficit hídrico en el periodo crítico del cultivo de girasol (Figura 1), lo que limitó los rendimientos y por ende disminuyó los requerimientos N (Tabla 3). Aunque la interacción entre fertilización con N y uso de vicia sobre el rendimiento en girasol no fue significativa, los tratamientos que tuvieron antecesor vicia sin fertilización tuvieron similar rendimiento que los tratamientos fertilizados con 150 kg ha⁻¹ (Tabla 3).

En ambos años, el tratamiento S7 presentó la menor EUN, posiblemente debido a la disminución de la oferta hídrica (Tabla 3). La fertilización con N disminuyó significativamente la EUN (Tabla 3). Similar a lo determinado para el rendimiento, si bien la interacción entre fertilización y uso de vicia sobre rendimiento en girasol no fue significativa, los tratamientos que tuvieron antecesor vicia sin fertilización tuvieron similar EUN que el tratamiento Testigo sin la aplicación de N (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento en grano del cultivo de girasol y eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) en las distintas fechas de secado de 30 (S30), 15 (S15) y 7 (S7) días previo a la siembra de girasol y testigo sin vicia (T) para ambas campañas y bajo distintos niveles de fertilización: 0 kg N ha⁻¹ (0N) y 150 kg N ha⁻¹ (150N). Letras iguales indican diferencias no significativas entre tratamientos según test de diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Tratamiento	Dosis	Campaña 1		Campaña 2	
		Rendimiento	EUN	Rendimiento	EUN
		kg ha ⁻¹	kg kg N ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg kg N ⁻¹
Testigo		3840,36 (248,16) ab	34,83 (6,38) a	1731,50 (85,02) a	15,27 (3,66) ab
S7		3421,96 (95,71) b	25,99 (4,49) b	1596,30 (75,19) a	13,27 (2,99) b
S15		4154,56 (169,70) a	31,78 (5,94) ab	1808,47 (139,97) a	16,70 (3,63) a
S30		4129,95 (171,55) a	31,13 (5,79) ab	1904,90 (92,13) a	15,08 (3,41) ab
	0N	3867,64 (167,79) a	45,25 (1,97) a	1743,42 (84,22) a	22,53 (0,84) a
	150 N	3905,78 (116,31) a	16,61 (0,60) b	1777,17 (66,94) a	7,63 (0,40) b
Testigo	0N	3481,90 (343,39) a	50,48 (4,98) a	1808,63 (123,45) a	23,27 (1,58) a
Testigo	150 N	4198,83 (289,49) a	19,18 (1,32) a	1654,37 (122,27) a	7,27 (0,54) a
S7	0N	3394,15 (178,77) a	37,60 (1,99) a	1631,20 (91,86) a	19,83 (1,12) a
S7	150 N	3449,78 (101,35) a	14,38 (0,41) a	1561,40 (136,43) a	6,70 (0,58) a
S15	0N	4262,35 (350,78) a	46,78 (3,86) a	1668,87 (140,75) a	24,47 (2,05) a
S15	150 N	4046,78 (59,98) a	16,78 (0,25) a	1948,07 (242,18) a	8,93 (1,10) a
S30	0N	4332,15 (204,80) a	46,15 (2,17) a	1999,97 (115,09) a	22,57 (1,30) a
S30	150 N	3927,75 (261,04) a	16,10 (1,08) a	1809,83 (141,97) a	7,60 (0,61) a
Análisis de varianza					
Tratamiento		0.02	0.04	0.10	0.11
Dosis		0.86	>0.01	0.59	>0.01
Tratamiento x Dosis		0.11	0.44	0.19	0.52

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo demostraron que el uso de vicia como CC resultó en un mejor aprovechamiento de los recursos, aumentando el rendimiento del cultivo de girasol para secados de 30 y 15 días previos a la siembra en años con suficiente disponibilidad hídrica. De este modo, la inclusión de vicia en rotación con girasol presentaría numerosas ventajas para el sistema, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos.

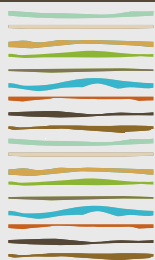
BIBLIOGRAFÍA

- Azcón-Bieto, J & M Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España: mcgraw Hill-Interamericana, pp. 287-305.
- Capurro, J.; Dickie, M.; Ninfi, D.; Zazzarini, A.; Tosi, E.; Gonzalez, M.C. 2012. Gramíneas y leguminosas como cultivos de cobertura para soja. XXIII Congreso Argentino y IXX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Carciochi, W.; Wyngaard, N.; Divito, G.; Cabrera, M.; Reussi Calvo, N.; Echeverría, H. 2018. A comparison of indexes to estimate corn s uptake and s mineralization in the field. Biol. Fert. Soils, 54: 349-362.
- Ciampitti I. & García F.. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundario.
- Crespo, c. 2016. Efecto de cultivos de cobertura/abonos verdes sobre la disponibilidad de nitrógeno, agua y rendimiento de maíz bajo dos sistemas de labranza. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Diovisalvi N., Reussi Calvo, N.; Izquierdo, N.; Echeverría, H.; Divito, G. & García, F. 2018. Effects of Genotype and Nitrogen Availability on Grain Yield and Quality in Sunflower. Soil fertility and crop nutrition.
- Eliceche, M. 2019. Efecto de cultivos de cobertura sobre la disponibilidad de nitrógeno y azufre en maíz. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Enrico, J.; Piccinetti, C.; Barraco, M.; Agosti, M.; Ecclesia, R.; Salvaggiotti, F. 2020. Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: response to inoculation and residual effect on maize in the pampean region. European journal of agronomy. 115: 126016.
- International Fertilizer Association. 2020. Informes de consumo. [en línea] <https://www.ifastat.org/databases/graph/1_1> [consulta: 14 septiembre 2022]



- Keeney, D.R.; Nelson, D.W. 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. ASA, SSSA: Madison, WI, USA. pp. 643-698.
- Rivero, C.; Wyngaard, N.; Crespo, C.; Bassi, L.; Angelini, H.; Larrea, G.; Sainz Rozas, H. 2020. Cambios en el potencial de mineralización de nitrógeno por la agricultura en la región pampeana. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13 al 16 de octubre. Corrientes, Argentina.
- Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; Angelini, H. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extra-pampeana argentina. *Ci suelo*. 29: 29-37.
- Sas institute, 1988. Sas/stat User's guide. Statics version. 6.0. 3rd ed. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Schneiter, A., and Miller J. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci*. 21:901–903.
- Tovar-Hernandez, S.; Diovisalvi, N.; Carciocchi, W.; Izquierdo, N.; Sainz-Rozas, H.; Garcia, F. & Reussi-Calvo, N. (2021). Assessment of nitrogen diagnosis methods in sunflower. *Agronomy Journal*, 2021(1), 1–14.





FACTORES DETERMINANTES DE LAS PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN EN MAÍZ

Toribio, M.^{1*}, A. Correndo⁴, N.I. Reussi Calvo^{2,3},

¹Profertil S.A.,

²Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata,

³CONICET.

⁴Kansas State University.

*Bahía Blanca. Prov. de Buenos Aires. mtoribio@profertil.com.ar

RESUMEN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Argentina. No obstante, la tasa de recuperación por parte de los cultivos durante la estación de crecimiento no supera el 50% del N aplicado. Este nutriente está sujeto a pérdidas como nitrato o en formas gaseosas que incluyen amoníaco y óxido nitroso, las cuales representan un detrimento económico para los productores y una baja eficiencia de uso de N. El objetivo del presente trabajo fue integrar la información existente sobre pérdidas de N-Urea por volatilización y jerarquizar los principales factores que la controlan en la Región Pampeana. Se realizó una revisión de experimentos (21 ensayos entre 1997 y 2021), tanto publicados como inéditos, seguida del armado y análisis de bases de metadatos. Se realizó el análisis Stepwise para identificar los principales factores que controlan las pérdidas de N por volatilización, un Path análisis para examinar la ruta causal de las variables seleccionadas y un meta-análisis para categorizar las diferentes variables. El análisis de caminos propuesto explicó el 77% de la variación de la pérdida de N por volatilización. Las variables más relevantes fueron: dosis de N ($r = 0,66$), porcentaje de materia orgánica (MO; $r = -0,59$), contenido de arcilla ($r = -0,01$) y temperatura media durante los 10 días desde la aplicación (Temp10; $r = 0,18$). El meta-análisis indicó que las mayores pérdidas de N por volatilización se dieron para dosis de N $\geq 100 \text{ kg ha}^{-1}$, suelos con contenido de MO $< 2\%$ y de arcilla $< 20\%$, Temp10 > 20 y menos de 10 días para precipitaciones mayores a 10 mm. Los resultados del presente estudio permitieron identificar y jerarquizar los principales factores que controlan las pérdidas de N por volatilización.

Palabras clave: N-amonio, revisión, volatilización, jerarquizar factores.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Argentina. Este nutriente está sujeto a pérdidas como nitrato o en formas gaseosas que incluyen amoníaco (NH_3) y Óxido nitroso, llevando a una baja eficiencia de uso de N del fertilizante (EUN) (Sainz Rozas *et al.*, 1997). Las pérdidas de N por volatilización dependen de diversos factores de suelo, clima y de manejo de cultivo como de las interacciones que ocurren entre ellos durante el proceso de transformación de fuentes amoniacales.

El pH es uno de los factores que afecta la pérdida de N por volatilización, siendo mayor cuando el mismo es superior a 8 (Havlin *et al.*, 1999). La capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica (MO) y la textura del suelo también pueden afectar la intensidad del proceso de volatilización (Ferguson *et al.*, 1984, Sainz Rozas *et al.*, 1997). Según Martens y Bremner (1989), las pérdidas de NH_3 se correlacionan



de manera negativa con el contenido de MO, limo y arcilla. En cuanto a los factores ambientales que afectan las pérdidas de NH_3 se destacan la temperatura y la humedad del suelo (Ernst *et al.*, 1960; Fenn *et al.*, 1974; Sainz Rozas *et al.*, 1997). Las pérdidas por volatilización son más elevadas cuando las temperaturas del suelo se incrementan en un rango de 10 a 50°C (Hargrove, 1988). Por ende, cuando el fertilizante es aplicado a la siembra o en 6 hojas del cultivo de maíz, es de esperar que las pérdidas de N varíen según los cambios en la temperatura del suelo (Sainz Rozas *et al.* 1997). Además, la pérdida de humedad del suelo es un prerrequisito para la liberación de NH_3 , dado que favorece la hidrólisis de la urea. Por último, la dosis y la fuente de N afectan las pérdidas por volatilización (Sainz Rosas *et al.*, 1997; Salvagiotti 2005; Ferraris *et al.*, 2015). En general, incrementos en las dosis de N aumentan las pérdidas de NH_3 (Silva *et al.*, 2017).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de variables de suelo (materia orgánica y textura), clima (precipitaciones, temperatura media) y de manejo (dosis) sobre las pérdidas de N-Urea por volatilización en maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió al armado de una base de datos correspondientes a ensayos de fertilización con distintas fuentes de N en maíz (1997-2021). La información incluía manejo de la fertilización, tratamientos, los rendimientos de cada experimento; y características de los experimentos a través de variables relacionadas a suelo, clima y prácticas de manejo del cultivo. Esta caracterización resultó variable en cuanto al grado de detalle brindado por los investigadores y/o reportado en las publicaciones. Por tanto, se utilizó un protocolo de revisión con el objeto de estandarizar los datos para su posterior análisis.

El proceso de búsqueda de información se apoyó en la utilización de internet a través del motor de búsqueda Scholar Google™ para hallar artículos científicos, técnicos y de divulgación sobre fertilización con N en maíz realizados en Argentina. Se utilizaron distintas combinaciones de las palabras: maíz, nitrógeno, fertilización, inhibidores, región pampeana, argentina y en algunos casos, nombres de investigadores referentes en la materia. También se exploraron sitios web de instituciones como el INTA, Instituto Internacional para la Nutrición de Plantas, Fertilizar Asociación Civil, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, y se sumó una base de datos del departamento Comercial - área de Planeamiento Comercial y Desarrollo de Profertil S.A. (ensayos se realizaron con rigurosidad científica junto al INTA). El número total de experimentos seleccionados fue de 21. Se utilizó un proceso de selección paso a paso para identificar los factores más influyentes que controlan las pérdidas por volatilización (Vol). Después de esto, se examinó la ruta causal de las variables seleccionadas. Los efectos directos de las variables seleccionadas se denominan “coeficientes de ruta” (Basta *et al.*, 1993) y los efectos indirectos coeficiente de trayectoria (coeficientes de regresión parcial que representan el efecto de una variable sobre otra, controlando el resto de las variables) (Williams *et al.*, 1990). Además, se calculó un residuo no correlacionado (U) para tener en cuenta la variación de la Vol no explicada por las variables en el modelo de ruta.

Además, se llevó a cabo un meta-análisis, el cual permite identificar patrones de respuesta combinando múltiples fuentes de información (Borenstein *et al.*, 2009; Philibert *et al.*, 2012). Cada variable de interés se clasificó en niveles arbitrarios dependiendo de la unidad de expresión. Aunque para el análisis se utilizaron respuestas en log-ratios por sus mejores propiedades estadísticas respecto de la variable original (Hedges, 1999), por razones de practicidad, los resultados se re-transformaron a unidades de pérdida de N por volatilización respecto del tratamiento testigo (kg ha^{-1}). Los resultados del meta-análisis se resumen utilizando *Forest Plots* que muestran los efectos de las variables de interés (Lewis y Clarke, 2001). La heterogeneidad entre los estudios se calculó mediante la estadística I^2 para detectar si todos evalúan el mismo efecto (Higgins *et al.*, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de camino propuesto (Path análisis) presento un U del 0,47 y un R^2 de 0,77, demostrando que el análisis explicó el 77% de la variación de la pérdida de N por volatilización del amoníaco. Los coeficientes del Path análisis indicaron que 4 de las 6 variables predictoras tuvieron efectos significativos sobre las pérdidas de N, siendo estas la dosis de N, el porcentaje de arcilla, contenido de MO y la temperatura media del aire



durante los diez días post-fertilización (**Tabla 1**).

El principal factor que influyó en la pérdida de N por volatilización del amoníaco fue la dosis de N (0,66), siendo el efecto directo y positivo, es decir a mayor dosis de N mayor volatilización del NH_3 . A su vez, se determinó un efecto indirecto (fuera de la diagonal) positivo de 0,34 a través del rendimiento (**Tabla 1**). Esto indicaría que ambientes con mayores rendimientos, debido a incrementos en la dosis de N, presentaron mayores pérdidas por volatilización. Varios autores han determinado incrementos en las pérdidas de N por volatilización frente a aumentos en la dosis de fertilizante aplicados en superficie (Barbieri *et al.*, 2003; Sainz Rosas *et al.*, 1997). Además, Sainz Rosas *et al.* (1997) concluyó que la magnitud de las pérdidas por volatilización depende de la cantidad de N aplicado y del momento de fertilización. Según estos autores, aplicaciones de N en seis hojas generaban pérdidas de hasta el 15%.

El efecto del contenido de arcilla como el de MO fueron directos y negativos con valores de -0,59 y -0,01, respectivamente (**Tabla 1**). Esto indicaría que suelos con mayores niveles de MO y arcilla presentaron menores pérdidas por volatilización. Si bien el efecto directo de la MO fue de baja magnitud, su efecto indirecto a través de la arcilla fue mayor (-0,39). Esto evidencia el rol de las fracciones finas del suelo sobre la acumulación de MO y, por ende, sobre la capacidad buffer del mismo. Martens y Bremner (1989) informaron que las pérdidas por volatilización presentan una correlación negativa con el contenido de arcilla y materia orgánica y positiva con el contenido de arena y pH. No obstante, otros autores han determinado un incremento de la actividad ureásica en suelos con mayor contenido de carbono (Vahed *et al.*, 2011).

Tabla 1. Efecto directo e indirecto (diagonal y fuera de la diagonal, respectivamente) de variables edafoclimáticas y productivas sobre las pérdidas de nitrógeno por volatilización (kg ha^{-1}). Los efectos directos ("coeficientes de trayectoria") son coeficientes de regresión parcial estandarizados mientras que los efectos indirectos son el producto del coeficiente de correlación simple entre las variables y su coeficiente de trayectoria.

	Dosis N	Arcilla	MO	Temp ₁₀	Días Pp > 10mm	Rendimiento	r
Dosis N	0,66	0,03	<0,01	0,01	-0,07	-0,12	0,51*
Arcilla	-0,03	-0,59	<-0,01	-0,06	0,08	-0,02	-0,63*
MO	-0,01	-0,39	-0,01	-0,13	0,04	-0,01	-0,51*
Temp₁₀	0,03	0,19	<0,01	0,18	-0,05	-0,02	0,34 [#]
Días Pp > 10mm	-0,14	-0,14	<-0,01	-0,03	0,33	-0,02	<-0,01
Rendimiento	0,34	-0,06	<-0,01	0,01	0,03	-0,23	0,09

*Significativo al $p < 0,05$. [#]Significativo al $p < 0,10$.

Respecto a las variables climáticas, solo la temperatura media presentó un efecto directo positivo (0,18) sobre las pérdidas de N del fertilizante (**Tabla 1**). Esto indicaría que los sitios donde hubo mayor temperatura en los días posteriores a la fertilización presentaron mayores pérdidas. Varios trabajos han determinado aumentos en las pérdidas de N por volatilización frente a incrementos en la temperatura media (Hargrove, 1988; Sainz Rosas *et al.*, 1997), siendo no significativas con temperaturas del suelo entre 5 y 10 °C. Kissel y Cabrera (1988) reportaron valores relativos de actividad ureásica entre 0,15 a 0,40 con temperaturas menores de 10°C, siendo la temperatura óptima para la máxima actividad ureásica de 40°C.

En la **Figura 1**, los círculos representan estimaciones puntuales y los bigotes representan su respectivo intervalo de confianza (IC) del 95 %. Se determinaron diferencias significativas entre clases para la dosis de N, (**Figura 1 A**), siendo las pérdidas de N por volatilización sobre el testigo de 6,2 y 16,7 kg ha^{-1} para <100 y ≥ 100 kg ha^{-1} , respectivamente. Para las variables de suelo, el contenido de MO fue dividido en 3 clases ($< 2\%$; $2-3\%$ y $> 3\%$) y se encontraron diferencias significativas entre las pérdidas de N sobre el testigo con un promedio de 17,6, 12,5 y 8,6 kg ha^{-1} para cada clase, respectivamente (**Figura 1 C**). Estos resultados evidencian la importancia de la MO y su efecto amortiguador, sobre las pérdidas de N del sistema. Respecto a la



variable arcilla, la misma fue clasificada en dos clases ($< 20\%$ y $\geq 20\%$) con pérdidas de N por volatilización promedios de 15,7 a 10,6 kg ha⁻¹, respectivamente (**Figura 1 E**). Este resultado coincide con el Path análisis en donde el contenido de arcilla tuvo un efecto directo negativo con las pérdidas de N por volatilización.

Para las variables climáticas, la temperatura del aire fue dividida en dos clases (≤ 20 y $> 20^{\circ}\text{C}$) y se encontraron diferencias significativas en las pérdidas de N por volatilización, siendo de 7,9 y 13,8 kg ha⁻¹ cuando la temperatura fue menor de 20°C y mayor de 20°C , respectivamente (**Figura 1 B**). Al igual que para la temperatura, la variable días hasta una precipitación mayor de 10 mm, se dividió en 2 clases (≤ 10 días y > 10 días), para esta variable se observaron diferencias significativas entre clases, con pérdidas de N por volatilización sobre el testigo que variaron entre 12,1 y 9,3 kg ha⁻¹ para la clase ≤ 10 días y > 10 días, respectivamente (**Figura 2 D**). Para finalizar, según la distribución de los datos, el rendimiento del cultivo se dividió en 2 clases ($> 10,5$ y $\leq 10,5$ t ha⁻¹) en donde no se determinaron diferencias significativas en las pérdidas de N por volatilización entre grupos (**Figura 1 F**).

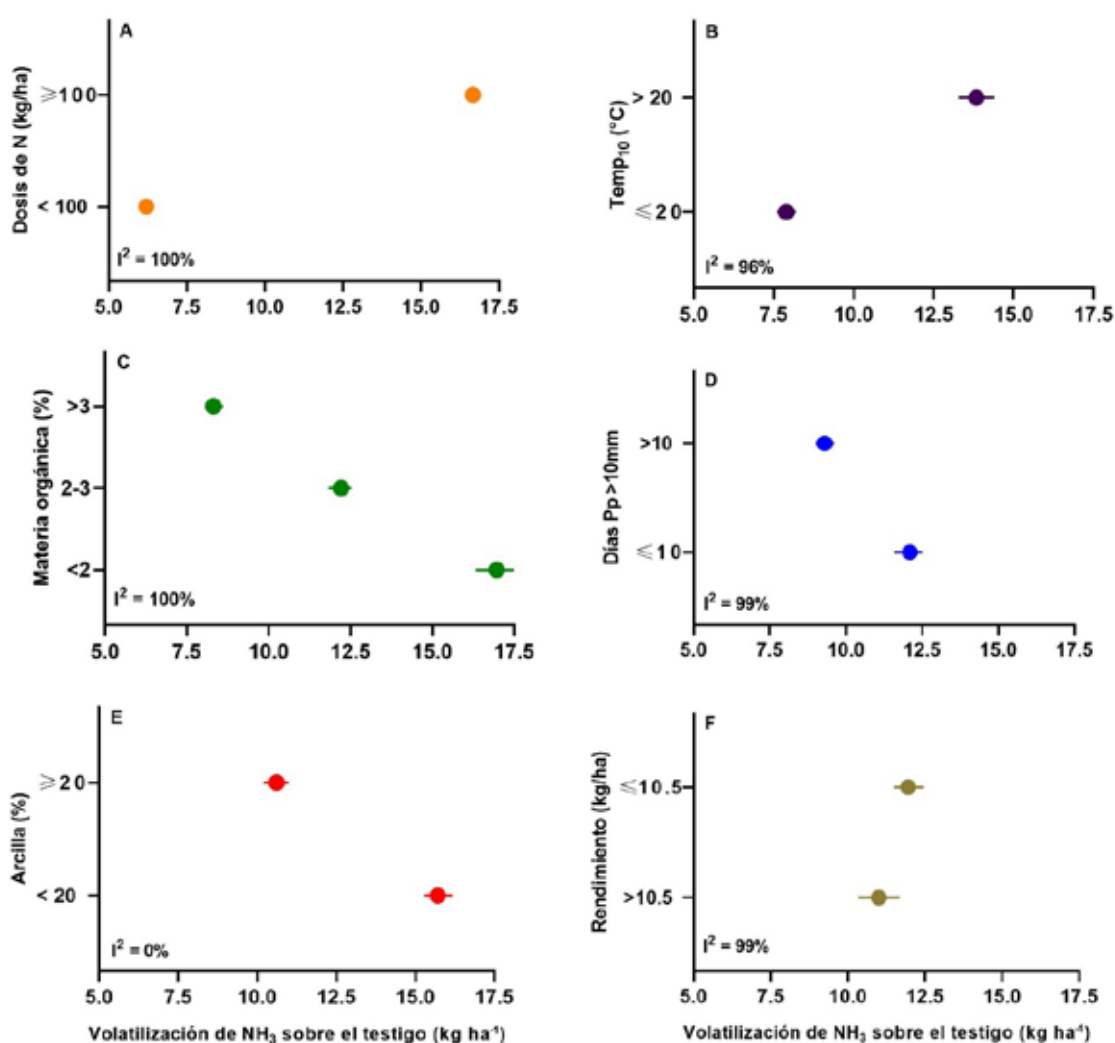


Figura 1. Pérdidas de N por volatilización sobre el testigo en función: **A)** dosis de nitrógeno, **B)** temperatura post-aplicación, **C)** contenido de materia orgánica **D)** días hasta lluvias mayor a 10mm, **E)** contenido de arcilla (%) y **F)** rendimiento (kg ha⁻¹). Las líneas indican el intervalo de confianza al 95%. R² = estadístico I cuadrado.

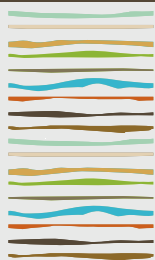
CONCLUSIONES

La dosis de N fue el principal factor que explicó las pérdidas del nutriente por volatilización de amoníaco. Entre las variables de suelo, tanto el porcentaje de arcilla como el de materia orgánica fueron significativas. De las variables de clima solo la temperatura media del aire presentó un efecto directo positivo sobre las pérdidas de N del fertilizante con aumentos de la misma por encima de los 20°C. Identificar y jerarquizar los principales factores que controlan las pérdidas de N por volatilización contribuye a ser más precisos en el uso de prácticas de manejo para la aplicación y elección de fuentes de fertilizantes nitrogenados que nos ayudan a mejorar la EUN y minimizar las externalidad del sistema, con el objetivo de una agricultura intensifica sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E. y Sainz Rozas, H. (2003). Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21:18-23.
- Basta, N. T., Pantone, D. J. & Tabatabai, M. A. (1993). Path analysis of heavy metal adsorption by soil. *Agron. J.* 85, 1054-1057. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500050018x>.
- Borenstein, C., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T. & Rothstein, H. R. (2019). Chapter 12: Random-effects model. In: *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, 2009, 69-75. <https://doi.org/10.1002/978470743386>.
- Ernst, J. W. & Massey, J. F. (1960). The Effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:87-90.
- Fenn, L. B. & Kissel, D. E. (1974). Ammonia volatilization from surface applications of ammonia compounds on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of ammonia nitrogen applications. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:606-610.
- Ferguson, R. B., Kissel, D. E., Koelliker, J. K. & Basel, W. (1984). Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil Sci. Am. J.* 2:578-582.
- Ferraris, G. N., Toribio, M., Pitton, J. y Galetto, M. L. (2015). Fuentes nitrogenadas en maíces tempranos y tardíos: pérdidas de nitrógeno por volatilización y efectos sobre los rendimientos en Pergamino (Bs AS). EEA INTA Pergamino.
- Hargrove, W. L., Bock, B. R. & Urban, W. J. (1988). Comparison of nitrogen sources for surface application to winter wheat. *Journal Fertilizer Issues*. 5:45-49.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. & Beaton, J. D. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers*, 8th edition. Editorial: PEARSON, 2016.
- Hedges, L. V., Gurevitch, J. & Curtis, P. S. (1999). The Meta-Analysis of Response Ratios in Ecology. *Ecology* 1999, 80, 1150–1156.
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J. & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, Sep 2003; 327: 557 – 560.
- Kissel, D. E. & Cabrera, M. L. (1988). Factor affecting urea hydrolysis. In 'Ammonia volatilization from urea fertilizers'. (Eds BR Bock, DE Kiessel) pp. 53–66. (National Fertilizer Development Center, TVA: Muscle Shoals).
- Lewis, S. & Clarke, M. (2001). Forest plots: trying to see the wood and the trees. *Br. Med. J.* 322, 1479–1480.
- Martens, D. A. & Bremner, J. M. (1989). Soil properties affecting volatilization of ammonia from soils treated with urea. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20:1645–1657. doi:10.1080/00103628909368173.
- Philibert, A., Loyce, C. & Makowski, D. (2011). Assessment of the quality of meta-analysis in agronomy. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2012, 148, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.agee2011.12.003>.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H. E., Studdert, G. A. y Andrade, F. H. (1997). Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16.
- Salvagiotti, F. (2005). Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros. (Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2003/04).
- Silva, A. G. B., Sequeira, C. H., Sermarini, R. A. & Otto, R. (2017). Urease Inhibitor NBPT on Ammonia Volatilization and Crop Productivity: A Meta-Analysis. Review & Interpretation. *Agron. J.* 109: 1-13.
- Vahed, H. S., Shahinroksar, P. & Rezaei, M. (2011). Influence of some soil properties and temperature on urease activity in wetland rice soils. *Am.-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 11:310–313.
- Williams, W. A., Jones, M. B. & Demmert, M. W. (1990). A concise table for path analysis. *Agron. J.* 82: 1022-1024.





SÍNTESIS ANÁLISIS SOBRE EL EFECTO DEL INHIBIDORES DE LA ACTIVIDAD UREASICA EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Toribio M.^{1*}, A. Correndo⁴; N.I. Reussi Calvo^{2,3},

¹Profertil S.A.,

²Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata,

³CONICET.

⁴Kansas State University.

*Bahía Blanca. Prov. de Buenos Aires. mtoribio@profertil.com.ar

RESUMEN

La volatilización del amoníaco es uno de los principales mecanismos de pérdida del nitrógeno (N) proveniente de fertilizantes en base a urea empleados para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Argentina. El uso de productos que retarden o inhiban la hidrólisis de la urea podrían reducir las pérdidas de N y, por lo tanto, mejorar la eficiencia agronómica del N del fertilizante (EAN). El objetivo del presente trabajo fue realizar una síntesis-análisis del efecto del inhibidor de la ureasa sobre las pérdidas de nitrógeno por volatilización, el rendimiento e indicadores de EAN en maíz. Se realizó una revisión de 21 experimentos (entre 1997 y 2021), tanto publicados como inéditos, seguida del armado y análisis de bases de metadatos. Se calculó la EAN y la productividad parcial de N (PPF) como indicadores de eficiencia. En general, el rendimiento promedio varió desde 3.900 kg ha⁻¹ hasta 15.000 kg ha⁻¹, la EAN desde 1 a 88 kg kg⁻¹, la PPF desde 66 a 300 kg kg⁻¹, mientras que la pérdida de NH₃ varió entre 0 y 57% (0 a 38 kg ha⁻¹). El empleo de inhibidores de la actividad ureásica: i) reduce en un 73% las pérdidas de N por volatilización (promedio de 11,7 y 2,8 kg N ha⁻¹ para urea sin y con inhibidor, respectivamente), ii) no aumentó el rendimiento del cultivo (promedio de 10.430 kg ha⁻¹ urea y 10.981 kg ha⁻¹ urea + inhibidor) ni la PPF y la EAN (promedio de 136 y 138 kg kg⁻¹ y 19 y 22 kg kg⁻¹ para el tratamiento con urea y urea con inhibidor, respectivamente). En síntesis, el empleo de inhibidores de la actividad ureásica sería una estrategia efectiva para reducir las pérdidas de N por volatilización sin mejoras significativas en el rendimiento y eficiencia de uso de nitrógeno.

Palabras clave: N-amonio, revisión, eficiencia agronómica de nitrógeno, inhibidor de la ureasa.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la fertilización inicial con nitrógeno (N) se realiza en un periodo que va desde la emergencia del cultivo hasta el estadio de 4 a 6 hojas (V₄-V₆) del maíz (Ritchie *et al.*, 1982), con el objetivo de sincronizar la oferta con la demanda del nutriente (Barbieri *et al.*, 2003; Bonelli *et al.*, 2017). Sin embargo, el incremento de temperatura del suelo en la medida que se demora el momento de aplicación favorecería las pérdidas por volatilización de NH₃, disminuyendo la eficiencia de recuperación del fertilizante y, en consecuencia, el rendimiento del cultivo (Bonelli *et al.*, 2017). La eficiencia de recuperación del N no supera el 55-61% del N aplicado para fertilizaciones en V₆ (Echeverría & Sainz Rozas, 2001).

La volatilización del amoníaco es un mecanismo de pérdida de N proveniente de fertilizantes como la urea (46-0-0). El pico de pérdida de amoníaco ocurre entre los 2 o 3 días después de la fertilización con suelos cálidos y húmedos (Ferguson *et al.*, 1984; Hargrove *et al.*, 1988; Sainz Rosas *et al.*, 1997; Cantarella *et al.*, 2018). Esta puede ser la principal causa de la baja eficiencia agronómica de N (EAN) de dichos fertilizantes (Keller

et al., 1986; Fox et al., 1993; Garcia et al., 1999; Ferraris et al., 2009, 2015). Una de las alternativas para reducir las pérdidas por volatilización desde el fertilizante es la utilización de productos que retarden o inhiban la hidrólisis de la urea (Beyrouthy et al., 1988; Joo et al., 1992; Fox et al., 1993; Watson et al., 1994; Sainz Rozas et al., 1999; Barbieri et al., 2009). Estos inhibidores que actúan a nivel de la enzima ureasa, la cual cataliza la hidrólisis de la urea, disminuyen la velocidad de conversión de la urea a amonio. Se han estudiado distintos inhibidores, siendo el N-(n-butil) tiamida tío fosfórica (NBPT) el principio activo más conocido del mercado (Carmona et al., 1990; Gioacchini et al., 2002; Chien et al., 2009, 2014; Watson et al., 2009; Upadhyay, 2012; Halvorson et al., 2013; Singh et al., 2013).

El objetivo del presente trabajo fue realizar una síntesis análisis del efecto del inhibidor de la ureasa sobre las pérdidas de nitrógeno por volatilización, el rendimiento e indicadores de eficiencia agronómica de nitrógeno en el cultivo de maíz en Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió al armado de una base de datos correspondientes a ensayos de fertilización con distintas fuentes de N en maíz (1997-2021). La información incluía manejo de la fertilización, tratamientos, los rendimientos de cada experimento; y características de los experimentos a través de variables relacionadas a suelo, clima y prácticas de manejo del cultivo. Esta caracterización resultó variable en cuanto al grado de detalle brindado por los investigadores y/o reportado en las publicaciones. Por tanto, se utilizó un protocolo de revisión con el objeto de estandarizar los datos para su posterior análisis.

El proceso de búsqueda de información se apoyó en la utilización de internet a través del motor de búsqueda Scholar Google™ para hallar artículos científicos, técnicos y de divulgación sobre fertilización con N en maíz realizados en Argentina. Se utilizaron distintas combinaciones de las palabras: maíz, nitrógeno, fertilización, inhibidores, región pampeana, argentina y en algunos casos, nombres de investigadores referentes en la materia. También se exploraron sitios web de instituciones como el INTA, Instituto Internacional para la Nutrición de Plantas, Fertilizar Asociación Civil, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, y se sumó una base de datos del departamento Comercial - área de Planeamiento Comercial y Desarrollo de Profertil S.A. (ensayos se realizaron con rigurosidad científica junto al INTA). En base a los criterios citados se trabajó con una base constituida por 21 experimentos de maíz (**Tabla 1**).

Para cada sitio experimental se calculó la EAN y la productividad parcial del factor (PPF) según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 1: } EAN = \frac{\text{Rendimiento del tratamiento } x \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} - \text{Rendimiento del testigo (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis de N del tratamiento } x \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

$$\text{Ecuación 2: } PPF = \frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis de N (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

La relación entre Vol. (%), rendimiento, EAN y PPF con Urea y Urea + inhibidor fue descripta por el siguiente modelo lineal: $y = a + b x$, donde x e y son ambas variables aleatorias, y los parámetros a (ordenada al origen) y b (pendiente) describen una relación alométrica, método mejor conocido como regresión de eje principal estandarizado (Warton et al., 2006). La pendiente y ordenada fueron comparadas para evaluar el efecto del inhibidor sobre volatilización (%), el rendimiento, la EAN y la PPF. La igualdad del intercepto y la pendiente a cero y uno, respectivamente, fue probado a través de pruebas F, tanto por separado como simultáneamente. Para la confección de las figuras y estimaciones de estadística descriptiva se utilizó el software GraphPad Prism® en su versión 8.0c para Mac®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de la base fue de 9.639 kg ha⁻¹ con valores mínimos de 3.900 kg ha⁻¹ y máximos de 15.000 kg ha⁻¹ (**Tabla 1**). La EAN y la PPF fueron en promedio de 21 y 137 kg kg⁻¹, respectivamente. Estos valores se ubican dentro los citados para la RP por Bono y Álvarez (2012), los cuales determinaron que la eficiencia agronómica promedio fue de 28 kg grano por kg de N aplicado para un rango de dosis de N que se encuentra entre 40 y 60 kg ha⁻¹ en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. En un reciente síntesis-análisis para la RP, Correndo et al. (2021) reportaron valores de PPF que varían desde 31 hasta 188 kg grano



por kg de N aplicado en función del potencial del ambiente y la disponibilidad inicial de N. Por otra parte, el porcentaje de pérdida de NH_3 varió entre 0 y 57% (0 a 38 kg ha^{-1}), ubicándose dentro del rango citado en la bibliografía internacional (Silva *et al.*, 2017, Cantarella *et al.*, 2018).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para las diferentes variables: Rto: rendimiento, PPF: productividad parcial del factor, EAN: eficiencia agronómica de N del fertilizante. DE: desvío estándar, CV: coeficiente de variación.

Estadístico	Rto (kg/ha)	PPF (kg/kg)	EAN (kg/kg)	Volatilización NH_3 (%)	Volatilización NH_3 (kg/ha)
Promedio	9639	137	21	8	7
DE	1857	55	17	11	9
Mínimo	3953	66	1	0	0
Máximo	15400	307	88	57	38
Percentil (0,25)	8454	95	9	1	1
Percentil (0,50)	9421	132	18	4	3
Percentil (0,75)	10429	173	25	10	8
CV (%)	19	39	78	131	130

En la **Figura 1** se presenta la relación entre el porcentaje de pérdidas por volatilización de la urea con y sin inhibidor. En la misma se observa que el porcentaje de pérdida de NH_3 se redujo en un 73% cuando se utilizó la fuente con inhibidor de la actividad ureásica. La pendiente de la ecuación indica que, para cultivos de maíz en Argentina, por cada 1 por ciento de pérdida de N por volatilización con urea, solo se pierde 0,27% si se emplea un inhibidor. En promedio las pérdidas fueron de 11,7 y 2,8 kg N ha^{-1} para urea sin y con inhibidor, respectivamente. Varios trabajos han reportado que el uso de inhibidores que retardan o inhiben la hidrólisis de la urea son efectivos para reducir las pérdidas de N por volatilización del amoníaco del fertilizante (Watson *et al.*, 1994; Sainz Rozas *et al.*, 1999; Barbieri *et al.*, 2003; Ferraris *et al.*, 2009).

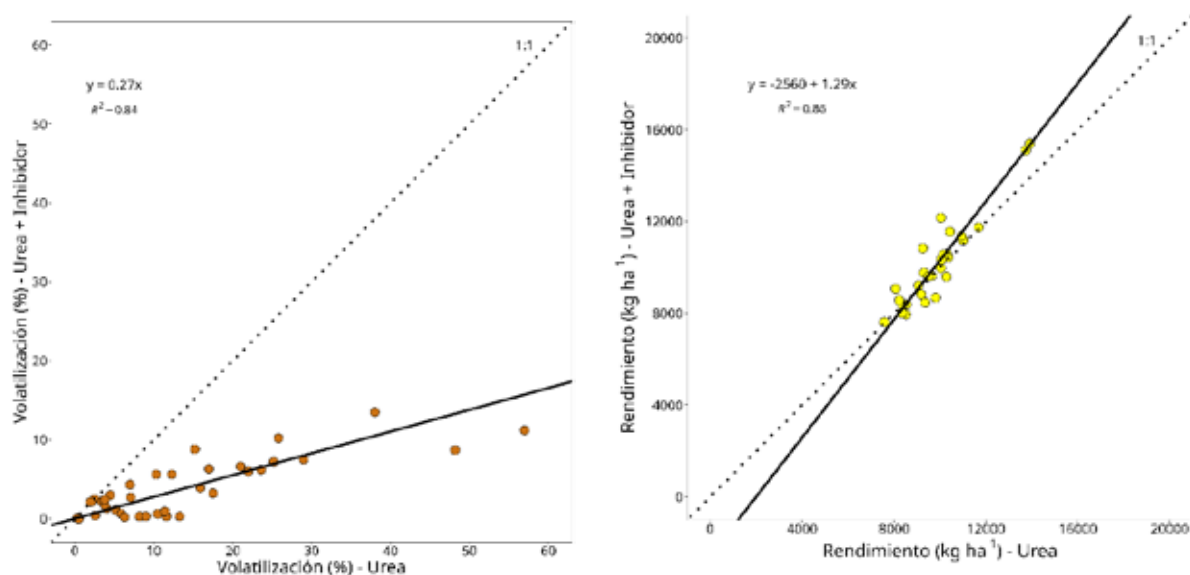


Figura 1. Relación entre el porcentaje de pérdidas por volatilización con y sin inhibidor (izquierda), y entre el rendimiento del cultivo de maíz por efecto de la fertilización nitrogenada con y sin inhibidor (derecha). La línea punteada indica la relación 1:1.

El rendimiento promedio del cultivo de maíz fertilizado con urea fue de 10.430 kg ha^{-1} y urea con inhibidor de 10.981 kg ha^{-1} , siendo la diferencia no significativa ($p > 0,05$). Sin embargo, la relación entre fuentes mostró

como tendencia mayores rendimientos con el empleo del inhibidor en ambientes de mayor potencial (**Figura 1**). En maíces tardíos, Zubillaga *et al.* (2021), determinaron para aplicaciones superficiales de urea reducciones del 13% en las pérdidas por volatilización por efecto del empleo del inhibidor, sin embargo, las diferencias en rendimiento fueron no significativas. Así mismo, en un metanálisis realizado por Silva *et al.* (2017), determinaron incrementos en rendimiento promedio de un 5,3%, en los tratamientos con urea + inhibidor comparado con los tratamientos con urea. Esta tendencia la observó para la mayoría de las clases texturales, contenidos de materia orgánica y dosis de N.

Para finalizar, la PPF y la EAN fueron en promedio de 136 y 138 kg kg⁻¹ y 19 y 22 kg kg⁻¹ para el tratamiento con urea y urea con inhibidor, respectivamente. Para ambos indicadores de eficiencia de N, el efecto del inhibidor fue no significativo ($p > 0.05$). Además, la PPF solo aumentó en un 2% por efecto del inhibidor (**Figura 2**). Para el caso de la EAN, la misma fue un 6% mayor cuando la urea se trató con el inhibidor (**Figura 2**).

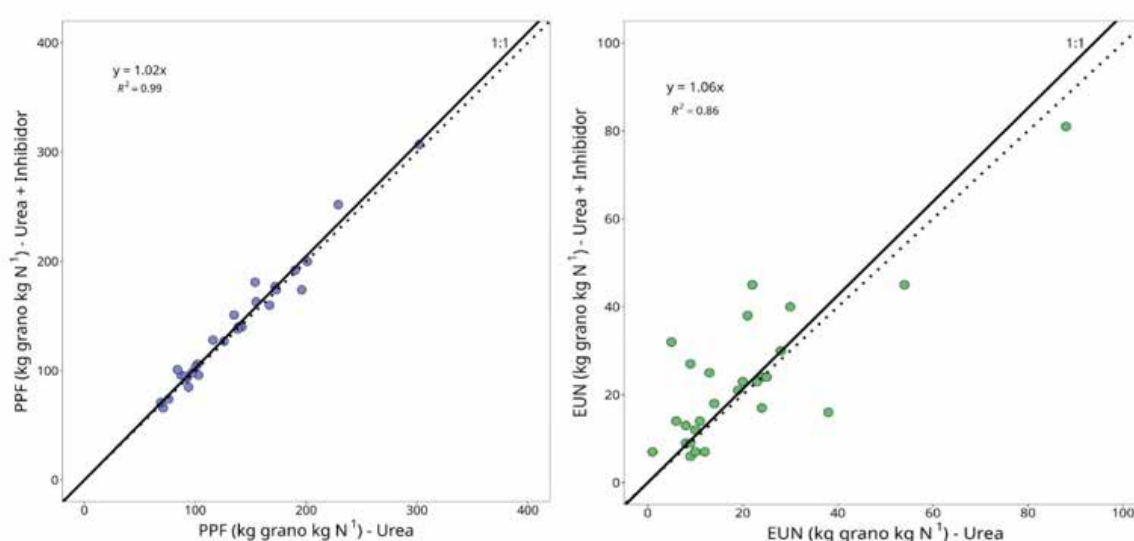


Figura 2. Relación entre la productividad parcial del factor (PPF) (izquierda) y la eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) (derecha) en maíz fertilizado con y sin inhibidor. La línea punteada indica la relación 1:1.

CONCLUSIONES

El empleo de inhibidores de la actividad ureasa en fertilizantes de base amoniacal mostró ser una práctica eficiente para reducir las pérdidas de N por volatilización de amoníaco en maíz, con reducciones promedio del 73%. No obstante, no mejoró de forma significativa el rendimiento ni los indicadores de eficiencia agronómica de nitrógeno. En los últimos años el uso de los inhibidores de la ureasa es revalorizado y pensado como alternativa de producto para minimizar una de las emisiones indirectas de óxido nitroso, mitigando uno de los más importantes gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E. y Sainz Rozas, H. (2003). Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la fuente y al método de aplicación de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 21:18-23.
- Barbieri, P. A., Echeverría, H. E. y Sainz Rosas, H. (2009). Pérdidas de amoníaco por volatilización desde urea con inhibidor de la actividad ureásica y de la nitrificación en maíz bajo siembra directa. *EEA INTA Balcarce*.
- Beyrouthy, C. A., Sommers, L. E. & Nelson, D. W. (1988). Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoramidate compounds. *Soil Soc. Am. J.* 52: 1173-1178.
- Bonelli, L. E., Sainz Rozas, H., Echeverría, H. y Barbieri, P. (2017). Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra



directa en Balcarce. EEA INTA - FCA UNMP.

- Bono, A. y Álvarez, R. (2012). Nitrogen mineralization in a coarse soil of the semi-arid Pampas of Argentina. *Archives of Agronomy and Soil Science* DOI:10.1080/03650340.2011.625413.
- Cantarella, H., Otto, R., Rodrigues Soares, J. & Gomes de Brito Silva, A. (2018). *Journal of Advanced Research* 13 (2018) 19–27 Review Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review.
- Carmona, G., Christianson, C. B. & Byrnes, B.H. (1990). Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(nbutyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. *Soil Biol. Biochem.* 22:933–937. doi:10.1016/0038-0717(90)90132-J.
- Chien, S. H., Edmeades, D., McBride, R. & Sahrawat, K. L. (2014). Review of maleic–itaconic acid copolymer purported as urease inhibitor and phosphorus enhancer in soils. *Agron. J.* 106:423–430. doi:10.2134/agronj2013.0214.
- Chien, S. H., Prochnow, L. I. & Cantarella, H. (2009). Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Adv.*
- Correndo, A. A., Gutiérrez-Boem, F. H., García, F. O., Alvarez, C., Álvarez, C., Angeli, A., Barbieri, P., Barraco, M., Berardo, A., Boxler, M., Calviño, P., Capurro, J. E., Carta, H., Caviglia, O., Ciampitti, I. A., Díaz-Zorita, M., Díaz-Valdéz, S., Echeverría, H. E., Espósito, G., Ferrari, M., Ferraris, G. N., Gambaudo, S., Gudelj, V., Loeleu, J. P., Melchiori, R. J. M., Molinow, J., Orcellet, J. M., Pagani, A., Pautasso, J. M., Reussi Calvo, N. I., Redel, M., Rillo, S., Rimski-Korsakov, H., Sainz-Rozas, H. R., Saks, M., Tellería, M. G., Ventimiglia, L., Zorzín, J. L., Zubillaga, Ma. M. y Salvagiotti, F. (2021). Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Research* <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108299>.
- Echeverría, H. E. y Sainz Rozas, H. R. (2001). Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo.* 19:57-66.
- Ferguson, R. B., Kissel, D. E., Koelliker, J. K. & Basel, W. (1984). Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil Sci. Am. J.* 2:578-582.
- Ferraris, G. N., Couretot, L. A. y Toribio, M. (2009). Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Inf. Agron.* 43. *Int. Plant Nutr. Inst., Buenos Aires.* p. 19–22.
- Ferraris, G. N., Toribio, M., Pitton, J. y Galetto, M. L. (2015). Fuentes nitrogenadas en maíces tempranos y tardíos: pérdidas de nitrógeno por volatilización y efectos sobre los rendimientos en Pergamino (Bs AS). EEA INTA Pergamino.
- Fox, R. H. & Piekielek, W. P. (1993). Management and urease inhibitor effect on nitrogen use efficiency in no-till corn. *J. Prod. Agr.* 6:195-200.
- García, F. O., Fabrizio, K. P., Picone, L. I. y Justel, J. F. (1999). Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón. Actas en CD.
- Gioacchini, P., Natri, A., Marzadori, C., Giovannini, C., Antisari, L. V. & Gessa, C. (2002). Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biol. Fertil. Soils* 36:129–135. doi:10.1007/s00374-002-0521-1.
- Halvorson, A.D., Snyder, C.S., Blaylock, A.D. & Del Grosso, S.J. (2013). Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. *Agron. J.* 105:715–722. doi:10.2134/agronj2013.0081.
- Hargrove, W. L. (1988). Soil, Environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In B. R. Bock and D. E. Kissel (ed.). *Bulletin Y-206. National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama.* 2:17-36.
- Joo, Y. K., Christians, N. E., Spear, G. T. & Bremner, J. M. (1992). Evaluation of urease inhibitors as urea amendments for use on Kentucky Bluegrass turf. *Crop Sci.* 32: 1397-1401.
- Keller, G. D. & Mengel, D. B. (1986). Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. *Soil Sci. Am. J.* 50:1060-1063.
- Ritchie, S. W. & Hanway, J. J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Iowa, EEUU. Special Report N°48 pp. 24.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H. E., Studdert, G. A. y Andrade, F. H. (1997). Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16.
- Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Studdert, G. A. y Andrade, F. H. (1999). No-tillage corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91: 950-955.
- Silva, A. G. B., Sequeira, C. H., Sermarini, R. A. & Otto, R. (2017). Urease Inhibitor NBPT on Ammonia Volatilization and Crop Productivity:



A Meta-Analysis. Review & Interpretation. Agron. J. 109: 1-13.

Singh, J., Kunhikrishnan, A., Bolan, N. S. & Saggar, S. (2013). Impact of urease inhibitor on ammonia and nitrous oxide emissions from temperate pasture soil cores receiving urea fertilizer and cattle urea. Sci. Total Environ. 465:56–63. doi:10.1016/j. scitotenv.2013.02.018.

Upadhyay, L. S. B. (2012). Urease inhibitors: A review. Indian J. Biotechnol. 11:381–388.

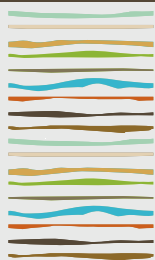
Warton, D. I., Wright, I. J., Falster, D. S. & Westoby, M. (2006). Bivariate line-fitting methods for allometry. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 81(2), 259–291. <http://doi:10.1017/S1464793106007007>.

Watson, C. J., Miller, H., Poland, P., Kilpatrick, D. J., Allen, M. D. B., Garrett, M. K. & Christianson, C. B. (1994). Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-Butyl) thiophosphoric triamide (nBPTP) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. Soil. Biol. Biochem. 9: 1165-1169.

Watson, C. J., Laughlin, R. J. & McGeough, K. L. (2009). Modification of nitrogen fertilisers using inhibitors: Opportunities and potentials for improving nitrogen use efficiency. Proc. 658. Int. Fert. Soc., Colchester, UK.

Zubillaga, M. M., M. S. Zubillaga y R. Alvarez. (2021). Aplicación de fertilizantes en cultivos extensivos. Capítulo 21 libro Fertilidad de suelos y Fertilización en la Región Pampeana. 2da edición febrero 2021.





APTITUD AGRONÓMICA DE LA ROCA FOSFÓRICA DE BAHIA INGLESA (CHILE) EN SUELOS ARGENTINOS

Torres Duggan, M.¹, M. Tysko², C. Quintero³, M. A. Zamero³ y M. R. Befani³

¹ Tecnoagro, A. Girradot 1331 (1427), CABA; mjitorresduggan@gmail.com;

² Dpto. de Cs. Básicas, Universidad Nacional de Luján, myskot@gmail.com;

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Ruta 11 km 10.5 Oro Verde. Entre Ríos, 3100; cesar.quintero@fca.uner.edu.ar

RESUMEN

La roca fosfórica (RF) chilena proveniente de la región de Bahía Inglesa (RFBI) presenta una muy alta eficiencia agronómica para aplicación directa en diversos cultivos forrajeros y de grano en suelos Andisoles y/o Ultisoles. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de la RFBI relativa a una francolita de mineralogía similar (RF del desierto de Sechura en Perú (RFS), y una fuente fosfatada soluble de referencia (superfosfato triple, SFT) en raigrás perenne (*Lolium perenne* L) cultivada en macetas y en suelos representativos de la Pampa Ondulada y la Mesopotamia argentina. En términos generales, la RFBI presentó similar o superior eficiencia agronómica en términos de producción de MS relativa a la RFS o el SFT independientemente del pH del suelo. Sin embargo, la absorción de P acumulada en la biomasa del raigrás perenne fue superior en suelo fuertemente ácido comparado con el observado en el suelo neutro (i.e. mayor disolución en medio ácido). Los resultados fueron consistentes con los reportados en la literatura chilena, indicando que la RFBI presenta una adecuada calidad agronómica para ser utilizada en aplicación directa en suelos Molisoles y bajo condiciones de acidez contrastantes.

Palabras clave: roca fosfórica, fósforo, fertilización

INTRODUCCION

Las roca fosfóricas o fosfáticas son recursos minerales estratégicos para utilizar para mejorar la calidad de suelos y aportar nutrientes como fósforo (P) y calcio en agrosistemas (Castro y Melgar, 2005; Herrmann y Torres Duggan, 2016), sobre todo en el desafiante contexto actual de crisis global alimentaria y escasez relativa de algunos fertilizantes a escala regional y global. Existe una amplia diversidad de fosfatos naturales o fosforitas con diferente aptitud agronómica para su utilización en aplicación directa. Las principales propiedades de la roca fosfórica (RF) que inciden sobre su eficiencia agronómica (i.e. capacidad de aportar P y aumentar el rendimiento de los cultivos) son el tipo de roca (e.g. sedimentaria, ígnea, metamórfica), mineralogía (e.g. sustitución de carbonatos por fosfatos en la apatita), granulometría de la RF, entre los más relevantes (Rodríguez y Torres Duggan, 2021). Dentro de los recursos fosfáticos disponibles en yacimientos de América del Sur, la RF de Bahía Inglesa de origen chileno (RFBI), es una de las más reactivas del mundo de acuerdo con investigaciones a campo e invernáculo llevadas a cabo por el INIA durante décadas en una amplia variedad de cultivos (e.g. trigo, avena, raigrás, arveja, colza, etc.) principalmente en suelos ácidos de origen volcánico (Andisoles o Ultisoles) (Besoain et al., 1999), no existiendo información experimental sobre el comportamiento agronómico de estas rocas fosfáticas en otros tipos de suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de la RFBI relativa a una francolita de mineralogía similar (RF del desierto de Sechura en Perú (RFS), y una fuente fosfatada soluble de referencia (superfosfato triple, SFT) en

raigrás perenne (*Lolium perenne* L) cultivada en macetas y en suelos representativos de la Pampa Ondulada y la Mesopotamia argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general de los ensayos

Los experimentos que se describen en este trabajo se llevaron a cabo en raigrás perenne (*Lolium perenne* L) y en condiciones semicontroladas (invernáculo con siembra en macetas y con disponibilidad de agua no limitante aportada por riego). Los ensayos se establecieron en instalaciones de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) y de la Universidad Nacional de Luján (UNLu) (Figura 1).

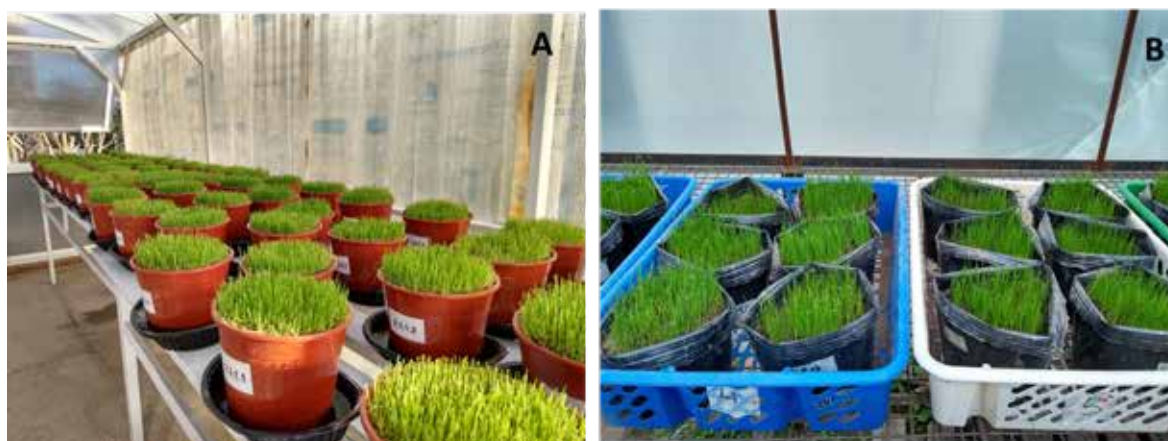


Figura. 1. A. Vista parcial del experimento en invernáculo realizado en la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). B. Vista parcial del experimento en invernáculo establecido en la Universidad Nacional de Luján (UNLu).

Experimento en suelos Molisoles y Vertisoles de la Mesopotamia

El experimento se estableció en un invernáculo de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) en donde se cultivó raigrás perenne (*Lolium perenne* L) en macetas. Los suelos utilizados se tomaron a partir de muestras de la capa superficial en ambientes representativos de suelos de la capa superficial de suelos representativos de las provincias de Entre Ríos (Argiudol vértico de Nogoyá, $MO=34 \text{ g kg}^{-1}$; $pH_{1:2.5}=7.0$; $CE=0.2 \text{ dS m}^{-1}$; P-Bray 1 $=19.6 \text{ mg kg}^{-1}$ y Corrientes (Argiacuol típico de Mercedes, $MO=24 \text{ g kg}^{-1}$; $pH_{1:2.5}=5.3$; $CE=0.4 \text{ dS m}^{-1}$; P-Bray 1 $P=27.2 \text{ mg kg}^{-1}$). Previo a formular los tratamientos se determinó el contenido de P total de los fertilizantes: SFT (20.3% de P), RFBI (7.6% de P), RFS (12.3% de P) sobre muestra molida. La granulometría de la RFBI fue 93.6% pasante malla 100 Tyler Mesh (partículas $<0.149 \text{ mm}$) y 73.7% pasante malla 200 Tyler Mesh (partículas $<0.074 \text{ mm}$) mientras que la de la RFS fue 95% pasante malla 100 Tyler Mesh (partículas $<0.149 \text{ mm}$). Cabe aclararse que el contenido de P determinado para la RFBI utilizada en el presente experimento no refleja necesariamente la concentración de P del producto en formulación comercial, cuyo rango varía entre 7.8 a 9.6% de P, asociado con la variabilidad propia del manto fosfático dentro del recurso geológico (Bifox Limited, com.pers).

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial de tratamientos y 4 repeticiones. Los factores evaluados fueron (i) tipo de suelo (dos niveles), (ii) fertilizante fosfatado (tres niveles) y dosis de P (tres niveles). Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: (1) Control (sin agregado de P), (2) SFT en 3 niveles de dosis y (3) RFBI en 3 niveles de dosis. Los niveles de dosis evaluados fueron 100, 200 y 300 mg de P kg^{-1} de suelo).

Se realizaron 6 cortes de biomasa área en dos cohortes consecutivos de crecimiento, 3 cortes durante el primer ciclo de siembra (año 2019) y 3 cortes efectuados a partir de la resiembra en las mismas macetas (año 2020). Se cuantificó la producción de materia seca y total acumulada y la concentración de P en biomasa. En base a éstos, se calculó el P absorbido acumulado por el raigrás perenne en cada tratamiento. Asimismo,

al final del experimento se midió el pH_{1:2.5}, para estudiar el efecto del agregado de los diferentes fertilizantes sobre la reacción del suelo (datos no mostrados).

Experimento en suelo Molisol de la Pampa Ondulada

El experimento se estableció en un invernáculo ubicado en el campo experimental de la Universidad Nacional de Lujan (UNLu) utilizando el mismo diseño experimental, tratamientos y determinaciones que en el estudio realizado en la UNER. El suelo utilizado en las macetas se obtuvo de muestreos de la capa superficial en un lote del mismo campo experimental de la UNLu y correspondió a un Argiudol típico (MO=27 g kg⁻¹; pH_{1:2.5}=5.5; CE 0.04 dS m⁻¹; P-Bray 1=7.80 mg kg⁻¹) correspondiente a una asociación de las series Mercedes (50%), Potela (40%) y Gowland (10%). Se realizaron 3 cortes de biomasa área a los 45, 74 y 107 días después de la siembra y se realizaron las mismas determinaciones descriptas para el estudio llevado a cabo en la UNER.

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento en suelos Molisoles y Vertisoles de la Mesopotamia

De los factores evaluados, el tipo de suelo o fertilizante no influyeron significativamente sobre la producción de MS (p=0.15 y 0.9, respectivamente). Sin embargo, se observó efecto significativo de la dosis de P (p=0.032) e interacción significativa suelo x tipo de fertilizante (p=0.07). Asimismo, todos los factores tuvieron un efecto significativo sobre la absorción de P (p<0.05), con excepción de la dosis de P (p=0.082). En el suelo neutro (pH=7.0, Entre Ríos), la respuesta en producción de MS fue 12 y 7,5% para la RFBI y RFS, respectivamente, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre tipo de fosforitas (p>0.05) (Tabla 2). En cambio, en el suelo fuertemente ácido (pH=5.3, Corrientes), las fosforitas determinaron una mayor respuesta en producción de MS sobre el testigo en relación al SFT (13.2% y 9.3% para las fosforitas y el SFT, respectivamente), posiblemente asociada con una mayor disolución de la RF en este tipo de suelo. En cuanto a la absorción de P, se observó interacción significativa entre el tipo de suelo y el fertilizante fosfatado (Tabla 1). Así, en suelo neutro, la absorción de P del raigrás perenne fue mayor con el SFT (+158% en relación al suelo natural), en comparación con la observada con las fosforitas. En contraste, en el suelo fuertemente ácido, la absorción de P por parte del raigrás perenne fue similar en SFT o fosforitas. Asimismo, en algunos niveles de dosis de P, las RF's mostraron un mayor efecto sobre la productividad de MS que el SFT.



Tabla 1. Producción acumulada de MS (g maceta⁻¹) y absorción total de P (mg maceta⁻¹) según tipo de suelo y tratamiento. SFT=su-perfosfato triple. RFBI=roca fosfórica de Bahía Inglesa (Chile). RFS=roca fosfórica fosfórica de Sechura (Perú)

Tratamiento	Suelo neutro (Entre Ríos)	Suelo fuertemente ácido (Corrientes)
Producción acumulada de MS (g maceta⁻¹)		
Testigo	43.7 a	42.8 a
SFT 100 mg P kg ⁻¹	50.5 c	45.3 ab
SFT 200 mg P kg ⁻¹	51.1 c	46.4 cd
SFT 300 mg P kg ⁻¹	50.4 c	48.7 def
RFBI 100 mg P kg ⁻¹	47.5 bc	45.8 bc
RFBI 200 mg P kg ⁻¹	49.9 c	48.6 cdef
RFBI 300 mg P kg ⁻¹	49.6 bc	48.9 def
RFS 100 mg P kg ⁻¹	46.0 ab	47.7 bcde
RFS 200 mg P kg ⁻¹	47.8 bc	50.9 f
RFS 300 mg P kg ⁻¹	48.5 bc	49.6 f
Absorción acumulada de P (mg maceta⁻¹)		
Testigo	37.7 a	40.6 a
SFT 100 mg P kg ⁻¹	85.8 d	63.4 b
SFT 200 mg P kg ⁻¹	101.5 e	78.2 c
SFT 300 mg P kg ⁻¹	105.4 e	89.2 e
RFBI 100 mg P kg ⁻¹	42.9 ab	67.3 b
RFBI 200 mg P kg ⁻¹	51.6 c	83.7 d
RFBI 300 mg P kg ⁻¹	47.8 bc	85.8 de
RFS 100 mg P kg ⁻¹	42.9 ab	65.8 b
RFS 200 mg P kg ⁻¹	45.6 abc	82.1 cd
RFS 300 mg P kg ⁻¹	43.4 abc	80.8 cd

Nota: letras diferentes entre tratamientos dentro de cada variable (MS o P absorbido) y tipo de suelo, indican diferencias estadísticamente significativas al 5% (LSD).

Evaluación agronómica utilizando suelos de la Pampa Ondulada (Buenos Aires)

La respuesta media en producción de MS del raigrás perenne fue de 17, 19 y 15% para el SFT; RFBI y RFS, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Producción acumulada de MS (g maceta⁻¹) y absorción total de P (mg maceta⁻¹) según tipo de suelo y tratamiento. SFT=su-perfosfato triple. RFBI=roca fosfórica de Bahía Inglesa (Chile). RFS=roca fosfórica de Sechura (Perú).

Tratamiento	Producción acumulada de MS (g maceta ⁻¹)
Testigo	8.9 a
SFT 100 mg P kg ⁻¹	10.0 cd
SFT 200 mg P kg ⁻¹	10.2 cd
SFT 300 mg P kg ⁻¹	10.9 ef
RFBI 100 mg P kg ⁻¹	9.4 ab
RFBI 200 mg P kg ⁻¹	11.3 f
RFBI 300 mg P kg ⁻¹	11.0 ef
RFS 100 mg P kg ⁻¹	9.9 bc
RFS 200 mg P kg ⁻¹	10.2 cd
RFS 300 mg P kg ⁻¹	10.6 de



Nota: letras diferentes entre tratamientos dentro de cada variable (MS o P absorbido) y tipo de suelo, indican diferencias estadísticamente significativas al 5% (LSD).

Si bien no se detectó efecto significativo del tipo de fertilizante fosfatado ($p=0.14$) sobre la absorción de P, se hallaron efectos significativos de dosis de P ($p<0.0001$) e interacción entre el tipo de fertilizante fosfatado y la dosis de P ($p=0.0021$) (Figura 3 A). Así, el SFT mostró similar performance agronómica que la RFBI para los niveles de dosis de 100 y 200 mg de P kg suelo⁻¹ y mayor efecto para la dosis más elevada evaluada (300 mg de P kg suelo⁻¹) (Figura 3 A). En cambio, al comparar el SFT con la RFS, la absorción de P fue similar entre fuentes para las dosis menor y mayor de P aplicado (100 y 300 mg de P kg suelo⁻¹), y similar en el nivel de dosis intermedio (200 mg de P kg suelo⁻¹). Por otro lado, la comparación de las dos fosforitas, la RFBI mostró similar absorción acumulada de P en la dosis más baja de P aplicado, pero mostró una mayor performance agronómica ($p<0.05$) en las dosis más elevadas (Figura 3A). Asimismo, la pendiente de acumulación de MS fue estadísticamente mayor ($p<0,05$) en los tratamientos con 200 o 300 mg de P kg de suelo⁻¹. Comparado con el control o la dosis de 100 mg de P kg de suelo⁻¹ (Figura 2B).

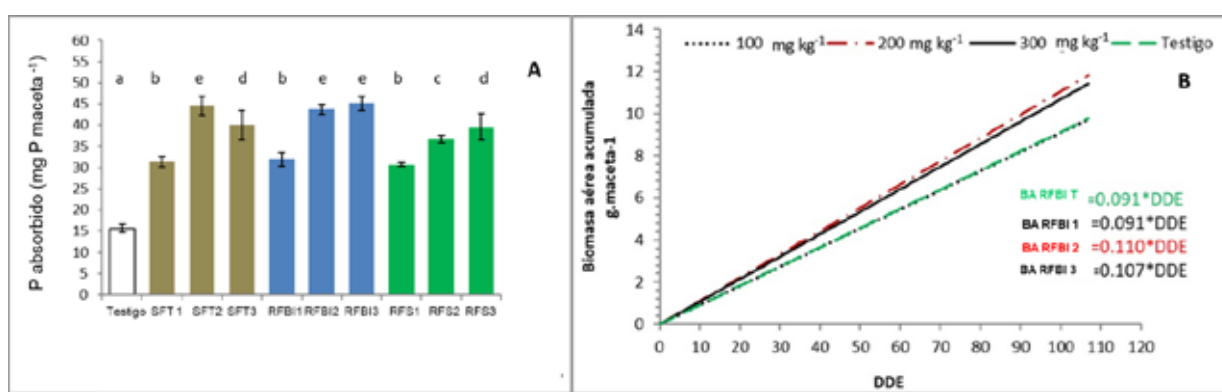


Figura 2. A. Absorción acumulada de P del raigrás perenne en tratamientos en donde se aplicó la RF de Bahía Inglesa (RFBI). B. Biomasa aérea (BA) acumulada según tratamiento. Los números 1, 2 y 3 se refieren a las dosis de P (i.e. 100, 200 y 300 mg de P kg de suelo⁻¹).

Los resultados del presente estudio demostraron que la RBBI alcanzó similar o superior eficiencia agronómica de la RFBI que la RFS e inclusive superior al SFT en algunas combinaciones de dosis de P y tipo de suelos, consistente con resultados de evaluaciones efectuadas en suelos Andisoles y Ultisoles de Chile con la misma RF (Rojas, 2006) o bien con otras fosforitas reactivas (Chien et al., 2009). La elevada reactividad de la RFBI deriva de sus propiedades mineralógica, sobre todo de la elevada sustitución de carbonatos por fosfatos en el mineral de apatita. Asimismo, posiblemente la presencia de carbonatos como mineral acompañante podría explicar también explicar, en parte, algunos efectos como el aumento del pH del suelo observados en todos los experimentos o bien el mayor crecimiento de raíces y la menor relación biomasa aérea/ biomasa de raíces observado al final del experimento conducido en la UNLu (datos no mostrados).

CONCLUSIONES

La aplicación de la RFBI incrementó significativamente la producción de MS del raigrás perenne en suelos con pH contrastante (neutro o fuertemente ácido), sin limitar la producción de MS. Asimismo, en algunos la performance agronómica de la RFBI superó a la del SFT o a la RFS. Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones reportadas en la literatura científica chilena tanto en raigrás perenne como en otros cultivos.

AGRADECIMIENTOS

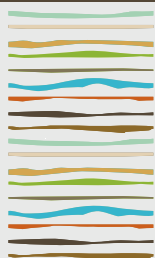
Se agradece al Grupo Bifox Limited (Australia) por haber financiado el proyecto.



BIBLIOGRAFIA

- Besoain, E, C Rojas Walker & A Montenegro (Eds). 1999. Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. 328 p.
- Castro, LN & RJ Melgar. 2005. Rocas fosfáticas. En: H Nielson & R Sarudiansky (Eds). Minerales para la agricultura en Latinoamérica. CYTED-UNSAM-OLAMI. Pp 39-61.
- Chien SH, LI Prochnow & H Cantarella. 2009. Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. Chapter 8. *Advances in Agronomy*, Vol 2, 102. Pp 268-322. Elsevier INC.
- Herrmann, C & M Torres Duggan. 2016. Fertilizantes y enmiendas de origen mineral: caracterización y uso en la Argentina. En: FX Pereyra & M Torres Duggan (Eds.). Suelos y Geología Argentina. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Pp 329-355. Asociación Geológica Argentina (AGA). Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV).
- Rojas, C. 2006. Comparison of Chilean natural phosphatic minerals. *J. Soil Sc. Plant. Nutr* 6 2: 28-37.
- Rodríguez, MB & y M Torres Duggan. 2021. Caracterización de los fertilizantes, enmiendas, abonos y su calidad agronómica. En: R Álvarez (Ed.). Pp. 391-425. Fertilización de Cultivos y Fertilización en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (EFA).





FERTILIZACIÓN CON ROCA FOSFÓRICA DE BAHÍA INGLESA (CHILE) EN EL CULTIVO DE SOJA EN LA PAMPA ONDULADA

Torres Duggan, M.¹ y M. Tysko²

¹Tecnoagro, A. Girradot 1331 (1427), CABA; mjitorresduggan@gmail.com;

²Dpto. de Cs. Básicas, Universidad Nacional de Luján, myskot@gmail.com

RESUMEN

La roca fosfórica o fosfática (RF) representa un recurso valioso dentro del manejo de la fertilización fosfatada en agroecosistemas. Dentro de los fosfatos naturales, la RF proveniente de la región de Bahía Inglesa en Chile (RFBI), se considera una de los más reactivas del mundo. La misma fue extensamente evaluada en suelos ácidos de origen volcánico de Chile (e.g. Andisoles y Ultisoles) mostrando una muy alta eficiencia agronómica relativa a fuentes fosfatadas solubles en agua. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con la RBI (granulometría 93.6% de masa menor <0.149 mm) relativa a una fuente soluble en agua (SFT granulado) en el cultivo de soja [*Glycine max* L (Merr)]. El experimento se instaló en un suelo Argiudol típico con reacción fuertemente ácida ubicado en la Pampa Ondulada argentina (pH=5.57; CO=18.6 g kg⁻¹; P-Bray 1=10.8 mg kg⁻¹). El experimento fue a campo, en microparcels aplicando un diseño en DBCA con 4 repeticiones. Los fertilizantes se aplicaron en bandas a la siembra. La respuesta a la fertilización fosfatada fue de 17 y 22% para el SFT y la RFBI en la dosis de 17 kg de P ha⁻¹ mientras que en la dosis de 25 kg de P ha⁻¹ el incremento del rendimiento en grano de la soja fue de 19% tanto con el SFT como con la RFBI. Al comparar las respuestas entre el SFT y la RFBI para cada nivel de dosis de P, no se detectaron diferencias significativas (p>0.05) entre fuentes, reflejando similar capacidad para aportar P disponible al cultivo de soja. Las características mineralógicas y cristal químicas de la RFBI (alta sustitución isomórfica de carbonatos por fosfatos) y su aplicación en un suelo fuertemente ácido y deficiente en P extraíble, explicaría la elevada eficiencia agronómica de la fosforita relativa al SFT.

Palabras clave: roca fosfórica, fósforo, soja

INTRODUCCION

Las roca fosfóricas o fosfáticas son recursos minerales estratégicos para mejorar la fertilidad de los suelos y la disponibilidad de fósforo (P) y calcio para las plantas (Rodríguez y Torres Duggan, 2021; Herrmann y Torres Duggan, 2016). La roca fosfórica obtenida en yacimientos de la región de Bahía Inglesa en Chile (RFBI) se consideran una de las más reactivas del mundo y ha demostrado una muy alta reactividad en suelos ácidos de origen volcánico (e.g. Andisoles, Ultisoles) cultivados con una gran diversidad de cultivos como trigo, avena, raigrás, arveja, colza, etc., (Besoain et al., 1999; Rojas, 2006). Asimismo, recientemente, Torres Duggan et al., (2022) llevaron a experimentos de validación de estos antecedentes en suelos argentinos (principalmente en Molisoles), encontrando resultados similares. Sin embargo, no se ha evaluado aún el impacto de la aplicación de la RFBI en aplicaciones localizadas en el momento de la siembra de soja. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del agregado de RFBI en polvo en comparación con una fuente soluble de referencia (SFT) en el cultivo de soja [*Glycine max* (L) Merr.]. Se hipotetizó que debido a la elevada reactividad cristal química de la RFBI, su aplicación localizada en polvo muy fino en bandas a la siembra, permite apor-

tar P biodisponible compensando su insolubilidad en agua. Por consiguiente, la predicción derivada de esta hipótesis fue que el rendimiento de la soja aumentaría de un modo similar al aplicar RFBI en polvo muy fino o SFT granulado en forma localizada en el momento de la siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo en un lote de la unidad de experimentación adaptativa del INTA San Antonio de Areco (Figura 1).



Figura. 1.. Vista general del experimento establecido en un lote perteneciente a la unidad de experimentación adaptativa del INTA San Antonio de Areco.

El suelo sobre el cual se instaló el experimento correspondió a un Argiudol típico, serie Capitán Sarmiento. Este suelo se ubica en lomas extendidas, con pendientes que pueden llegar hasta el 1 %. Presente buen drenaje, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente lenta, y es ácido en todo el perfil. En cuanto a su morfología, la carta de suelos del INTA (1:50.000) describe los siguientes horizontes, textura y estructura: horizonte A_1 de 28 cm de espesor y 25 % de arcilla, textura franco limosa y estructura en bloques subangulares finos a granular. Le sigue un horizonte de transición B_1 (10 cm) de textura franco arcillo limosa y estructura en bloques subangulares débiles; seguido de un horizonte B_{2t} con un porcentaje de arcilla que duplica al contenido de los horizontes anteriores (55 %), estructura en prismas gruesos y 65 cm, de espesor. Posteriormente se encuentra un horizonte B_3 a partir de los 95 cm de profundidad que presenta textura franca arcillo limosa y estructura en bloques subangulares débiles.

Previo a la siembra del cultivo de soja se realizó un muestreo compuesto en la capa superficial (0-20 cm) y posterior análisis de laboratorio (Tabla 1).

Analito	Método	Resultado	Unidad
pH _{1:2.5}	Potenciometría	5.57	-
CE _{1:2.5}	Conductimetría	0.082	dS.m ⁻¹
CO	Walkley & Black	18.6	g. kg ⁻¹
CIC	Acetato de amonio a pH=7.0	17.3	cmol _c kg de suelo ⁻¹
P extraíble	Bray 1	10.8	mg.kg ⁻¹

CE: conductividad eléctrica, CO: carbono orgánico, NO: nitrógeno total, P: fósforo extractable.

Tabla 1. Características de fertilidad del suelo en el sitio experimental (0-20 cm).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) en microparcelas con 4 repeticiones. La superficie de la unidad experimental fue de 15m². Los resultados se analizaron por ANVA y test LCD al 5%.

Tratamientos

Se evaluaron dos niveles de dosis de P (17 kg P ha⁻¹ y 25 kg de P ha⁻¹) utilizando SFT granulado y RFBI en polvo aplicados en bandas a la siembra.

Previo a formular los tratamientos se analizó en laboratorio el contenido de P total de los fertilizantes: SFT (20.3% de P), RFBI (7.6% de P). La granulometría de la RFBI fue 93.6% pasante malla 100 Tyler Mesh (partículas <0.149 mm) y 73.7% pasante malla 200 Tyler Mesh (partículas <0.074 mm) mientras que el SFT se lo aplicó con la granulometría comercial (2-5 mm). Cabe aclararse que el contenido de P determinado para la RFBI utilizada en el presente experimento no refleja necesariamente la concentración de P del producto en formulación comercial, cuyo rango varía entre 7.8 a 9.6% de P, asociado con la variabilidad propia del manto fosfático dentro del recurso geológico (Bifox Limited, com.pers).

Análisis estadísticos

Los efectos de tratamientos se evaluaron a través del análisis de la varianza (ANVA) y la comparación de medias de tratamiento se hizo mediante test LSD al 5% de significancia estadística.

RESULTADOS Y DISCUSION

La respuesta a la aplicación de P varió entre 365 y 583 kg ha⁻¹, reflejando la deficiencia del nutriente en el sitio experimental. En la dosis más baja de P (17 kg de P ha⁻¹), el incremento en el rendimiento respecto de control fue 17 y 12% para el SFT y la RFBI. Asimismo, la respuesta a la fertilización cuando se aplicó la dosis más elevada de P (25 kg P ha⁻¹) fue de 19% para ambas fuentes (Figura 2).



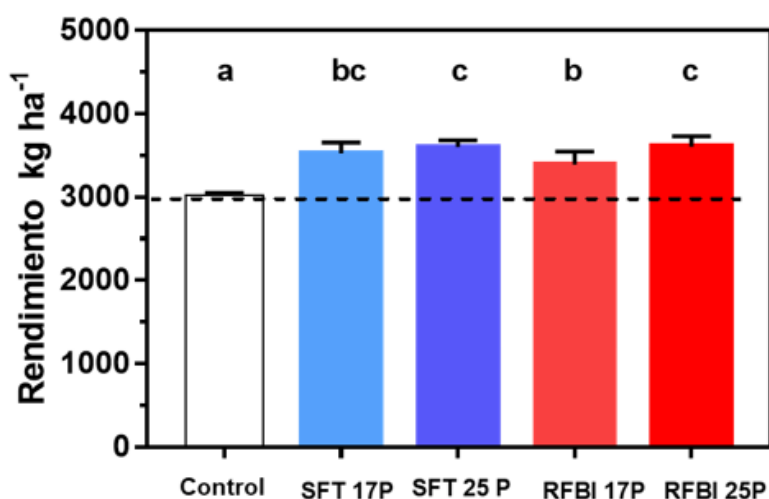


Figura 2. Rendimiento del cultivo de soja según tratamiento de fertilización. SFT: superfosfato triple. RFBI: roca fosfórica de Bahía Inglesa (Chile). 17P=17 kg de P ha⁻¹. 25 P=25 kg de P ha⁻¹.

Como se puede observar en la Figura 2, no se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre fuentes fosfatadas (i.e. SFT vs. RFBI) cuando se las compara en el mismo nivel de dosis de P aplicada. También se detectó efecto de dosis de P para la RFBI, pero no para el SFT.

Así, la RFBI presentó similar efectividad agronómica (respuesta a la fertilización, Figura 2) y eficiencia agronómica (EA, i.e. aumento del rendimiento en grano de soja por kg de P aplicado⁻¹) que en tratamientos en donde se aplicó SFT (Tabla 2).

Tabla 2: Eficiencia agronómica expresada como kg de grano kg ⁻¹ de P aplicado según tratamiento	
Tratamiento	EA
SFT 17 kg P ha ⁻¹	29.71 a
SFT 25 kg P ha ⁻¹	23.19 a
RFBI 17 kg P ha ⁻¹	21.50 a
RFBI 25 kg P ha ⁻¹	23.32 a

Los resultados del presente estudio permitieron demostrar la aptitud de la RF para ser utilizada en la fertilización de base en un suelo moderadamente ácido con baja disponibilidad de P extractable. Cabe destacarse que el método de aplicación evaluado en este experimento (bandas a la siembra) difiere del tradicionalmente considerado para la fertilización con fosforitas naturales (al voleo en cobertura total) (Zapata y Roy, 2004; Chien et al., 2009). Este último enfoque se basa en la premisa que una fuente fosfatada insoluble en agua requiere “tiempo para su incorporación en la zona de las raíces” en comparación con fuentes solubles en agua. Sin embargo, y tal como ha sido descrito en literatura pionera y reciente, la premisa fundamental para evaluar la aptitud agronómica de un fosfato natural es su reactividad en suelo que deriva principalmente de las propiedades mineralógicas y físicas (e.g. granulometría) de la fosforita (Chien y Hammond, 1978; Chien et al., 2009).

La elevada reactividad de la RFBI demostrada en estudios mineralógicos y cristaloquímicos pioneros, repor-

tados en Besoain et al., (1999) y Rojas (2006) en praderas perennes, arroz, canola, lenteja, entre otros, cultivados sobre suelos ácidos con alta fijación de P (e.g. Andisoles, Ultisoles) en Chile, evidencian la importancia de la caracterización de la calidad del material fosfático como parte de una evaluación agronómica integral de su uso en aplicación directa a campo. En este sentido, la utilización de fosforitas de probada reactividad en suelos agrícolas como la RFBI permitiría mitigar, aunque sea parcialmente, factores reductores de su disolución en el suelo (e.g. pH alcalinos, minerales de arcilla u óxidos fijadores de P, etc.), mejorando su potencial agronómico.

Es necesario profundizar en el estudio y comprensión de la influencia del método de colocación de las fosforitas con diferente reactividad sobre la adquisición de P de cultivos de interés agronómico, tanto perennes como anuales en diferentes tipos de suelos y condiciones agroecológicas.

CONCLUSIONES

La aplicación localizada de la RFBI en el momento de la siembra aumento significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento en grano de la soja en relación al suelo natural no fertilizado, sin mostrar diferencias con la fuente soluble en agua (SFT). Los resultados reflejaron la elevada reactividad de la RFBI para ser utilizada en aplicación directa en un suelo de reacción fuertemente acida representativo de la Pampa Ondulada argentina.

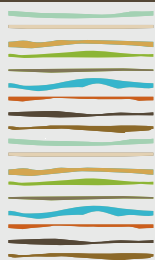
AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Grupo Bifox Limited (Australia) por haber financiado el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- Besoain, E, C Rojas Walker & A Montenegro (Eds). 1999. Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. 328 p.
- Chien, SH & LL Hammond. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 42: 935-939.
- Chien SH, LI Prochnow & H Cantarella. 2009. Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. *Advances in Agronomy*, Vol 2, 102. Pp 268-322. Elsevier INC.
- Herrmann, C & M Torres Duggan. 2016. Fertilizantes y enmiendas de origen mineral: caracterización y uso en la Argentina. En: FX Pereyra & M Torres Duggan (Eds.). Suelos y Geología Argentina. Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS). Pp 329-355. Asociación Geológica Argentina (AGA). Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV).
- Rojas, C. 2006. Comparison of Chilean natural phosphatic minerals. *J. Soil Sc. Plant. Nutr.* 6- 2: 28-37.
- Rodríguez, MB & y M Torres Duggan. 2021. Caracterización de los fertilizantes, enmiendas, abonos y su calidad agronómica. En: R Álvarez (Ed.). Pp. 391-425. Fertilización de Cultivos y Fertilización en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (EFA).
- Torres Duggan, M, M Tysko, C Quintero, MA. Zamero & MR. Befani. 2022. aptitud agronómica de la roca fosfórica de Bahía inglesa (Chile) en suelos argentinos. Actas del XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (CACS). Buenos Aires, noviembre de 2022, Argentina.
- Zapata, F & RN Roy (Eds). 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. FAO. 127 p.





PÉRDIDAS GASEOSAS DE NITRÓGENO SEGÚN FUENTE Y DOSIS DE FERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Tovar Hernández, S.^{1*}, F. Salvagiotti^{2,3}, W. Carciochi^{1,2}, N. Lewczuck^{1,2}, K. Hernandez^{1,2}, M. Biassoni^{2,3}, E. Kehoe², O. Avila¹, G. Garcia^{1,2}, M. Toribio⁴, N. Wyngaard^{1,2}, F. García¹, H. Sainz Rozas^{1,2}, N. Reussi Calvo^{1,2}

¹ UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP);

² CONICET;

³ EEA INTA-Oliveros;

⁴ Profértil;

*Ruta 226 km 73,5, (7620), Balcarce, Prov. de Buenos Aires, estovar77@hotmail.com

RESUMEN

La fertilización con nitrógeno (N) es una práctica necesaria para sostener los rendimientos en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Sin embargo, los fertilizantes nitrogenados están expuestos a procesos de pérdida, como la volatilización de NH_3 y la emisión de N_2O . El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de elección de fuente y dosis de fertilizante nitrogenado en maíz sobre las emisiones gaseosas de N en ambientes contrastantes de la Región Pampeana. Se realizaron dos experimentos de fertilización nitrogenada en la campaña 2021/22 en dos localidades (Balcarce y Oliveros) con cinco niveles de fertilización nitrogenada [testigo (0N) y cuatro dosis de N (50, 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹)] combinadas con cuatro fuentes de N [Urea, Urea-Limus (inhibidor de la volatilización), Urea-DMPP (inhibidor de la nitrificación) y nitrato de amonio cálcico (CAN)]. Se midieron la volatilización de NH_3 y las emisiones de N_2O . Para ambas localidades, la mayor pérdida por volatilización se observó para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ y la fuente Urea (hasta 39% del N aplicado), mientras que para CAN y Urea-Limus fueron los valores más bajos ($P < 0,05$). Respecto a la emisión de N_2O , sólo para Balcarce, se observó efecto de la dosis y fuente de N ($P < 0,05$). En promedio, la dosis de 200 kg N ha⁻¹ y la fuente CAN presentaron los valores más altos de emisión neta acumulada (655 g N- N_2O ha⁻¹). Las menores pérdidas por volatilización de NH_3 ocurrieron cuando se utilizaron fertilizantes con inhibidores de la actividad ureásica o fuentes a base de nitrato y amonio, mientras que las emisiones de N_2O fueron mayores con CAN respecto a las fuentes a base de urea. Por otra parte, los valores de emisión de N_2O se ubicaron por debajo de los valores propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

Palabras clave: Volatilización, N_2O , inhibidores de ureasa y nitrificación.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita el rendimiento en grano del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la región pampeana (Correndo *et al.*, 2021). Sin embargo, los fertilizantes nitrogenados pueden sufrir procesos de pérdida del sistema suelo-cultivo por lixiviación, escorrentía o de forma gaseosa (Gu *et al.*, 2016) que afectan la eficiencia de uso de este nutriente. En Argentina, la urea (46-0-0) es el principal fertilizante nitrogenado (entre otros como el CAN), y la eficiencia de uso del N proveniente de este fertilizante puede estar afectado por pérdidas gaseosas. Estas pérdidas pueden darse a través de la volatilización (pérdida de N como NH_3) o desnitrificación (pérdida de N como N_2O o N_2). En el primer caso, la pérdida gaseosa de NH_3 se produce a partir del amonio (NH_4^+) proveniente de la hidrólisis de la urea por la acción de la enzima ureasa (Soares *et al.*, 2012), mientras que las emisiones de N_2O son producidas por microorganismos del

suelo a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Uzoma *et al.*, 2015; Deng *et al.*, 2016).

Es necesario definir la dosis y fuente correctas de fertilizante para poder mitigar estas pérdidas de N. En el caso de las fuentes nitrogenadas, existen tecnologías como la urea recubierta con inhibidores de la actividad ureásica (U_{IU}), como el Limus® [75% triamida N (n-butil) tiofosfórica + 25% triamida N (n-propil) tiofosfórica] (Urea-Limus) o urea recubierta con inhibidores de la nitrificación (U_{IN}) como el 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) (Urea-DMPP). Estas fuentes nitrogenadas limitan los procesos de pérdidas gaseosas actuando sobre la actividad de las enzimas encargadas de la hidrólisis de la urea y sobre las bacterias nitrificadoras, respectivamente (Drury *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019). No obstante, debido a las diferencias en las condiciones edafoclimáticas entre regiones productivas, la información del efecto de los U_{IU} y U_{IN} sobre la volatilización de NH_3 y las emisiones de N_2O no suelen ser extrapolables, generando así, la necesidad de producir información local sobre la temática. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de elección de fuente y dosis de fertilizante nitrogenado en maíz sobre las emisiones gaseosas de N (N_2O y NH_3) en ambientes contrastantes de la Región Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos durante la campaña 2021/22, uno ubicado en el sudeste bonaerense [Balcarce (37,7°S; 58,3°O)] y otro en el sur de Santa Fe [Oliveros (32,33°S; 60,51°O)]. Los experimentos se realizaron bajo siembra directa, en seco y con antecesor soja [*Glicine Max* (L.) Merr.]. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados correspondieron a un testigo (0N) y la combinación de tres dosis de N (50, 100 y 200 kg N ha⁻¹) con cuatro fuentes de N [Urea, Urea-Limus, Urea-DMPP (46-0-0), CAN (27-0-0)]. El fertilizante nitrogenado se aplicó en el estadio de cuatro hojas. Previo a la siembra del cultivo y para cada localidad, se realizó un muestreo de suelo por bloque donde se determinó materia orgánica, pH (1:2,5), fósforo extractable (P-Bray) y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) a 0-20 cm de profundidad. Además, se determinó N-NO₃⁻, S-SO₄⁻², humedad gravimétrica y textura hasta los 60 cm de profundidad. En la Tabla 1, se presentan algunas características de los sitios experimentales.

Tabla 1. Características de los sitios experimentales.

Locali- dad	Lat	Long	MO	pH	P-Bray	Nan	N-NO ₃	Tex- tura	PP _t ¹
			-----0-20 cm-----		-----0-60 cm-----		(kg ha ⁻¹)		
			g kg ⁻¹		(mg kg ⁻¹)				
Balcarce	37,7° S	58,3° O	40	6,0	18	65	37	Fran- co	397
Oliveros	32,5° S	60,8° O	26	6,1	16	51	62	Limo- so	423

¹ PPt, precipitaciones totales durante el ciclo del maíz; MO: materia orgánica; P-Bray: fósforo extractable; Nan: nitrógeno mineralizado en anaerobiosis.

Para cada una de las fuentes de N se determinó la volatilización de N-NH₃ diaria utilizando un sistema estático semiabierto (Miola *et al.*, 2015). Las mediciones se realizaron en el momento de la aplicación del fertilizante y se continuaron hasta que las pérdidas de los tratamientos fertilizados igualaron al testigo, o se registró una lluvia mayor que 10 mm. A partir de la suma de los valores obtenidos de emisiones de NH₃ diarias se calculó la emisión de N-NH₃ acumulada. La volatilización acumulada neta (proveniente del fertilizante) se calculó como la diferencia entre la volatilización acumulada del tratamiento fertilizado y el testigo. La emisión de N₂O se determinó inicialmente a los 4, 8, 12, 16, 22 y 30 días desde la fertilización y, luego, a intervalos semanales según el momento del ciclo (12 mediciones). La recolección de muestras de N₂O se realizó por el método de cámaras estáticas ventiladas (Parkin *et al.*, 2010). La determinación de las concentraciones de N₂O (mg kg⁻¹) se realizó mediante cromatografía gaseosa con detector de captura electrónica (Agilent 7890). A partir de los resultados de concentración de N₂O [mg kg⁻¹(v)] en los viales, se estimó la tasa de emisión mediante regresión lineal (µg N-N₂O m⁻² hora⁻¹). Se calculó la emisión acumulada durante el ciclo del cultivo mediante la suma de los valores de emisión diaria de N₂O. En los días en los que no se rea-



lizaron mediciones, se estimó el valor de emisión diaria mediante interpolación lineal. Se calculó la emisión acumulada neta (proveniente del fertilizante) como la diferencia entre la emisión acumulada del tratamiento fertilizado y el testigo.

La normalidad y homogeneidad de varianza de los datos se confirmó utilizando el procedimiento de Shapiro-Wilks y el método de Levene, respectivamente. En el caso en que los datos no cumplieran con alguno de los supuestos de normalidad y homogeneidad, los mismos se transformaron. Se evaluó el efecto de la fuente y dosis de fertilizante nitrogenado sobre la emisión acumulada de NH_3 y N_2O mediante un análisis de la varianza (ANOVA). La comparación entre medias de tratamiento se evaluó usando test de diferencias mínimas significativas ($P < 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa R (versión 3.6.3) (R Core Team, 2018) utilizando la interfaz R Commander, y los paquetes estadísticos *lm*, *lm4*, *emmeans*, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones meteorológicas

Los valores promedio de precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Tabla 1) fueron menores a los históricos para ambas localidades (450 y 730 mm para Balcarce y Oliveros, respectivamente). Esto pudo limitar, en parte, los procesos responsables de las pérdidas por volatilización y emisión de N_2O . No obstante, en Balcarce, al momento de la fertilización se contaba con una alta humedad en el suelo ($>50\%$ de poros llenos de agua) (datos no mostrados).

Volatilización de NH_3

Los valores de volatilización diaria para Balcarce y Oliveros variaron desde 0 hasta $31 \text{ kg N-NH}_3 \text{ ha}^{-1}$, según dosis y fuente de N. El pico de volatilización se observó para ambas localidades alrededor del tercer y cuarto día después de la fertilización (datos no mostrados). La duración de las mediciones de pérdida por volatilización fue de 10 y 7 días para Oliveros y Balcarce, respectivamente.

En Balcarce, se observó una interacción fuente x dosis de N para la volatilización neta acumulada ($P < 0,05$). Los valores más altos de volatilización acumulada se observaron para la dosis de 200 kg N ha^{-1} , siendo mayor para la Urea (39,4% del N aplicado) $>$ Urea-DMPP (30,5% del N aplicado) $>$ Urea-Limus (17,2% del N aplicado) $>$ CAN (0,65% del N aplicado) (Figura 1). Para la dosis de 100 kg N ha^{-1} , la fuente CAN volatilizó menos N respecto de las otras fuentes evaluadas ($P < 0,05$), mientras que para la dosis de 50 kg N ha^{-1} , no se observaron diferencias significativas entre fuentes ($P > 0,05$) (Figura 1). Para Oliveros, se observó efecto significativo únicamente de la fuente sobre la volatilización neta acumulada. El valor más alto se determinó para Urea (8,6% del N aplicado), seguida de Urea-DMPP (3,4% del N aplicado), Urea-Limus (3,0%) y CAN (2,1%) (Figura 1).

Los valores de volatilización observados en Balcarce fueron superiores a los reportados por Sainz Rozas *et al.* (1999) (17% del N aplicado), mientras que para Oliveros fueron menores a los observados por Salvagiotti (2005). En Balcarce, los altos valores de volatilización acumulada se podrían explicar, en parte, por la presencia de residuo húmedo en superficie y temperaturas altas posteriores a la fertilización (datos no mostrados) que favorecieron las pérdidas de N por volatilización. En cambio, para Oliveros, los bajos valores de volatilización se explicarían por una menor humedad en el suelo y menor abundancia de residuos, en comparación con Balcarce. Además, en Oliveros el tiempo de duración de la medición fue menor que en Balcarce por la ocurrencia de lluvias, que sólo permitió medir hasta el séptimo día después de la fertilización. La tendencia de una menor volatilización observada del CAN respecto a la Urea en ambos sitios se explicaría por la composición del fertilizante (ausencia de urea y menor concentración de amonio) (Martins *et al.*, 2015). De igual manera, la tendencia de una menor volatilización acumulada en Balcarce para Urea-Limus, respecto a Urea y Urea-DMPP, observada específicamente en Balcarce, demostraría la efectividad del inhibidor para mitigar la volatilización de N.



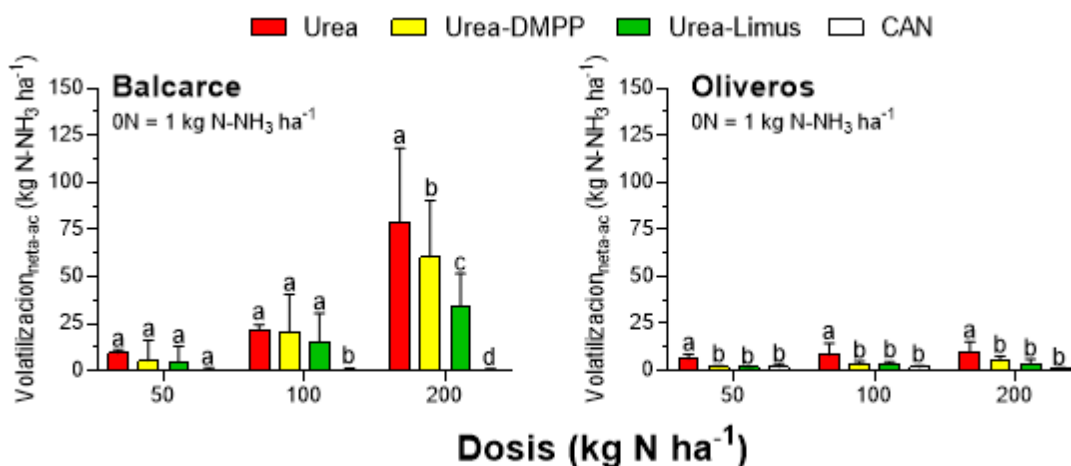


Figura 1. Volatilización neta acumulada ($Volatilización_{neta-ac}$) para las diferentes dosis (50, 100 y 200 kg N ha⁻¹) y fuentes (Urea, Urea-DMPP, Urea-Limus y CAN) de N para Balcarce y Oliveros. Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Para un determinado sitio y dosis de N, letras iguales indican ausencia de diferencias entre medias ($P > 0,05$). 0N: tratamiento testigo (0 kg N ha⁻¹).

Emisión de N₂O

Para Balcarce, el pico de emisión tuvo lugar al octavo día después de la fertilización, con un valor promedio de 0,7 g N-N₂O ha⁻¹ día⁻¹ para el tratamiento testigo y de 121,2 g N-N₂O ha⁻¹ día⁻¹ para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ con CAN. En el caso de Oliveros, los valores de emisión diarios fueron menores a los registrados en Balcarce. De igual manera, se observó el pico de emisión en el octavo día después de la fertilización. En general, el valor más alto de emisión se observó para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ con Urea-Limus (60 g N-N₂O ha⁻¹ día⁻¹).

Respecto a los valores de emisión neta acumulada, estos variaron entre 0 y 1031 g N₂O ha⁻¹ para Balcarce y entre 26 y 221 g N₂O ha⁻¹ para Oliveros, según dosis y fuente de N. Para Balcarce, la emisión neta acumulada de N₂O fue afectada por la dosis y la fuente de N ($P < 0,05$). Para todas las dosis de N, el CAN presentó los valores más altos de emisión neta acumulada (655 g N-N₂O ha⁻¹, en promedio), mientras que Urea-DMPP, los más bajos (73 g N-N₂O ha⁻¹, en promedio) (Figura 2). Respecto a la dosis, el mayor valor de emisión de N₂O fue determinado para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ (1180 g N-N₂O ha⁻¹) y el menor para la dosis de 100 kg N ha⁻¹ (56 g N-N₂O ha⁻¹). En el caso de Oliveros, no se observaron diferencias significativas entre los valores de emisión neta acumulada de N₂O de distintas dosis y fuentes de N (en promedio, 94 g N₂O ha⁻¹). No obstante, se observó como tendencia que la Urea-Limus presentó los valores de emisión acumulada neta de N₂O más altos respecto a las demás fuentes, seguida del CAN (Figura 2).

Los valores de emisión acumulada de N₂O fueron menores que los reportados en la bibliografía (Sainz Rozas et al., 2001; Picone et al., 2021; Piccinetti et al., 2021; Vangeli et al., 2022). Las condiciones hídricas pueden haber limitado la magnitud de las emisiones. No obstante, para Balcarce, se determinaron mayores valores de emisión de N₂O con CAN ($P < 0,05$), representando el 0,49; 0,34 y 0,5% del N aplicado para la dosis de 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹, respectivamente. En Oliveros, no se observó efecto de la fuente sobre las emisiones de N₂O. Los valores de emisión para todas las dosis y fuentes se ubicaron por debajo del 1% propuesto por las directrices metodológicas del IPCC. El efecto de las distintas fuentes sobre las emisiones de N₂O concuerdan con lo reportado por otros autores (Vangeli et al., 2022).

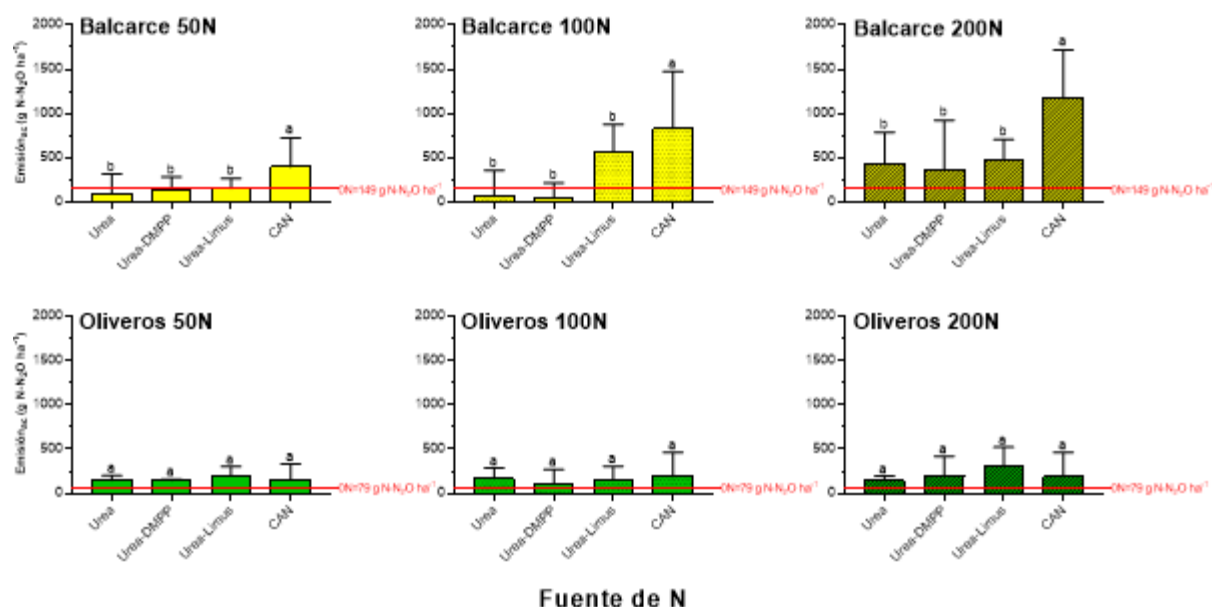


Figura 2. Emisión acumulada ($\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) para las diferentes dosis (50, 100 y 200 kg N ha^{-1}) y fuentes de N (Urea, Urea-DMPP, Urea-Linus y CAN) para Balcarce y Oliveros. La línea roja indica la emisión acumulada del tratamiento testigo (0 kg N ha^{-1}). Las barras verticales en cada columna indican el error estándar de la media. Para un determinado sitio y dosis de N. Letras iguales indican ausencia de diferencias entre medias ($P > 0,05$).

CONCLUSIONES

La magnitud de las pérdidas por volatilización y emisión varió entre sitios según fuente y dosis. Para Balcarce y Oliveros, el CAN y la Urea con inhibidor de la actividad ureásica presentaron los valores más bajos de volatilización. Respecto a la emisión de N_2O , para Balcarce la fuente a base de nitrato y amonio (CAN) presentó la mayor pérdida por emisión de N_2O respecto a las demás fuentes. Si bien para Oliveros no hubo diferencias significativas entre fuentes, se observó una tendencia similar. Los valores de emisión para todas las dosis y fuentes se ubicaron por debajo del 1% propuesto por las directrices metodológicas del IPCC.

AGRADECIMIENTOS

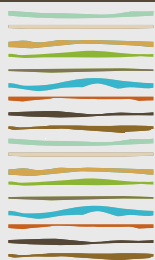
Los autores agradecen a la empresa Profértil S.A por el financiamiento de la investigación, además de los proyectos de INTA: i) 2019-PE-E9-I177-001, ii) 2019-PE-E1-I011-001 y iii) proyecto disciplinario 2019-PD-E3-I058-001.

BIBLIOGRAFÍA

- Correndo, AA; FH Gutiérrez-Boem; FO García; C Alvarez; C Alvarez; A Angeli; P Barbieri; M Barraco; A Berardo; M Boxler; P Calviño; J Capurro; H Carta; Caviglia O; I Ciampitti; M Diaz-Zoria; S Diaz-Valdez; H Echeverria & F Salvagiotti. 2021. Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Research* 273:108299. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108299
- Deng, B; Z Li; L Zhang; Y Ma; Z Li; W Zhang; G Xiaoming; D Niu & E Siemann. 2016. Increases in soil CO_2 and N_2O emissions with warming depend on plant species in restored alpine meadows of Wugong Mountain, China. *Journal of soils and sediments* 16(3):777-784.
- Drury, CF; X Yang; WD Reynolds; W Calder; TO Oloya & AL Woodley. 2017. Combining urease and nitrification inhibitors with incorporation reduces ammonia and nitrous oxide emissions and increases corn yields. *Journal of Environmental Quality* 46(5):939-949. DOI:10.2134/jeq2017.03.0106
- Gu, L; T Liu; J Wang; P Liu; S Dong; B Zhao; S Hwat-Bing; J Zhang; B Zhao & J Li. 2016. Lysimeter study of nitrogen losses and nitrogen use efficiency of Northern Chinese wheat. *Field Crops Research* 188:82-95. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.10.014
- Li, W; Q Xiao; C Hu; B Liu & R Sun. 2019. A comparison of the efficiency of different urease inhibitors and their effects on soil prokaryotic community in a short-term incubation experiment. *Geoderma* 354:113877. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.07.035
- Martins, MR; CP Jantalia; JC Polidoro; JN Batista; BJ Alves; RM Boddey & S Urquiaga. 2015. Nitrous oxide and ammonia emissions from

- N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. *Soil and Tillage Research* 151:75-81. DOI: 10.1016/j.still.2015.03.004
- Miola, EC; C Aita; P Rochette; MH Chantigny; DA Angers; N Bertrand & MO Gasser. 2015. Static chamber measurements of ammonia volatilization from manured soils: impact of deployment duration and manure characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 79(1):305-313. DOI: 10.2136/sssaj2014.07.0305
- Parkin, TB & RT Venterea. 2010. USDA-ARS GRACEnet Project Protocols Chapter 3. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements 4.
- Piccinetti, CF; S Bacigaluppo; CA Di Ciocco; JM De Tellería & F Salvagiotti. 2021. Soybean in rotation with cereals attenuates nitrous oxide emissions as compared with soybean monoculture in the Pampas region. *Geoderma* 402:115192. DOI:10.1016/j.geoderma.2021.115192
- Picone, LI; C Bayer; CC Videla; RH Rizzalli; SMC Ponti; FH Andrade & FO García. 2021. Nitrous oxide emissions in maize on mollisols in the Pampas of Argentina. *Geoderma Regional* 24:e00362. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00362
- 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/>.
- Sainz Rozas, HNS; HNE Echeverría; GA Studdert & FH Andrade. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal* 91(6):950-955. DOI: 10.2134/agronj1999.916950x
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría; & LI Picone. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: effect of nitrogen rate and application time. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1314-1323.
- Salvagiotti F. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros.
- Soares, JR; H Cantarella & ML de Campos Menegale. 2012. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil biology and biochemistry* 52:82-89. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.04.019
- Uzoma, KC; W Smith; B Grant; RL Desjardins; X Gao; K Hanis; M Tenuta; P Goglio & C Li. 2015. Assessing the effects of agricultural management on nitrous oxide emissions using flux measurements and the DNDC model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206:71-83. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.014
- Vangeli S; G Posse; ME Beget; E Otero Estrada; RA Valdettaro; P Oricchio & CM Di Bella. 2022. Effects of fertilizer type on nitrous oxide emission and ammonia volatilization in wheat and maize crops. *Soil Use and Management* 127(1):88. DOI: 10.1111/sum.12788





RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE USO NITRÓGENO según DOSIS Y FUENTE EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Tovar Hernández, S.^{1*}, F. Salvagiotti³, W. Carciochi^{1,2}, N. Lewczuck^{1,2}, K. Hernandez^{1,2}, M. Biassoni², E. Kehoe², G. García^{1,2}, O. Avila¹, A. Lapaz¹, M. Toribio⁴, F. García¹, H. Sainz Rozas^{1,3}, N. Reussi Calvo^{1,2}

¹ UIB (EEA-INTA Balcarce) - FCA (UNMdP).

² CONICET.

³ EEA INTA-Oliveros,

⁴ Profertil *Ruta 226 km 73,5, (7620), Balcarce, Prov. de Buenos Aires, estovar77@hotmail.com

RESUMEN

El manejo responsable de la nutrición nitrogenada de los cultivos implica el ajuste de la dosis y la fuente de nitrógeno (N). Esto permitiría mejorar el rendimiento y aumentar la eficiencia de uso de N (EUN). Para maíz (*Zea mays* L.), se planteó como objetivo evaluar el efecto de distintas dosis y fuentes de N sobre el rendimiento, la EUN y sus componentes. Se realizó un experimento durante la campaña 2021/22 en dos localidades (Balcarce y Oliveros). Los tratamientos evaluados correspondieron a un testigo (0 kg N ha⁻¹) y la combinación de cuatro dosis (50, 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹) y cuatro fuentes [Urea, Urea-DMPP (inhibidor de la nitrificación), Urea-Limus (inhibidor de la volatilización) y nitrato de amonio calcáreo (CAN)] de N. Se determinó rendimiento, la EUN, la eficiencia de recuperación (ERN) y la eficiencia interna de N (EIN). Para ambas localidades se observó un marcado déficit hídrico durante el periodo crítico. Para Balcarce se determinó efecto significativo ($P < 0,05$) de la dosis sobre el rendimiento, con una respuesta máxima de 2528 kg ha⁻¹ para la dosis de 200 kg N ha⁻¹. Respecto a Oliveros, sólo se determinó efecto significativo de la aplicación de N (testigo vs. fertilizado). Para ambas localidades no hubo efecto significativo de la fuente ($P > 0,05$) sobre el rendimiento. Para Balcarce, no hubo efecto significativo de la dosis y la fuente sobre la EUN y sus componentes. En el caso de Oliveros, se observó efecto significativo sólo de la dosis sobre la EUN. Se determinó una mayor ERN para las fuentes Urea-Limus y Urea-DMPP en comparación con la urea y el CAN ($P < 0,05$), resultado contrario se observó para la EIN ($P < 0,05$). La baja disponibilidad hídrica en ambas localidades pudo haber limitado el efecto diferencial de las fuentes sobre el rendimiento, la EUN y sus componentes.

Palabras clave: eficiencia de uso de nitrógeno, inhibidor de la actividad ureásica, inhibidor de la nitrificación.

INTRODUCCIÓN

La fertilización con nitrógeno (N) es una práctica necesaria para sostener el rendimiento objetivo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Sin embargo, el aumento en las dosis aplicadas de fertilizantes nitrogenados conlleva a una reducción en la baja eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) (Sutton *et al.*, 2013), pudiendo tener consecuencias negativas sobre el ambiente (por exceso de aplicación) o económicas (por utilización de dosis debajo del óptimo). La EUN tiene dos componentes: 1) la eficiencia de recuperación (ERN), definida como la cantidad de N absorbido por cantidad de N aplicado, y 2) la eficiencia interna (EIN), definida como la cantidad de grano producido por cantidad de N absorbido. Estos dos componentes serán afectados tanto por factores asociados a la generación del rendimiento del cultivo como por aquellos relacionados con el manejo de los fertilizantes, entre ellos, la dosis y la fuente (Zhang *et al.*, 2017).



Entre las fuentes de N, la urea (46-0-0), está sujeta a diversos procesos de pérdidas que afectan los distintos componentes de la EUN. La volatilización de NH_3 , resultante de la hidrólisis de la urea (Soares *et al.*, 2012) o la emisión de N_2O (producto de la desnitrificación) (Uzoma *et al.*, 2015; Deng *et al.*, 2016) son las principales pérdidas gaseosas que pueden reducir la EUN. Por esta razón, el uso de urea con inhibidores de la actividad ureaásica (U_{IU}), como el Limus® [75% triamida N (n-butyl) tiofosfórica + 25% triamida N (n-propil) tiofosfórica] (Urea-Limus) o con inhibidores de la nitrificación (U_{IN}) como el 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) (Urea-DM-PP), limitan estos procesos de pérdidas gaseosas (Drury *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019) y podrían incrementar la EUN. Si bien, para evitar las pérdidas por volatilización se recomienda el uso de fuentes como el nitrato de amonio calcáreo (CAN) (27-0-0) (Biswas & Ma, 2016), no se evitan las pérdidas por desnitrificación, y la EUN puede reducirse. El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de distintas dosis y fuentes de N sobre el rendimiento, la EUN y sus componentes en maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos durante la campaña 2021/22, uno en el sudeste bonaerense [Balcarce (37,7°S; 58,3°O)] y otro en el sur de Santa Fe [Oliveros (32,33°S; 60,51°O)]. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados correspondieron a un testigo (0 kg N ha⁻¹) y la combinación de cuatro dosis de N (50, 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹) y cuatro fuentes de N (Urea, Urea-Limus, Urea-DMPP y CAN). El fertilizante nitrogenado se aplicó en el estadio de cuatro hojas (V4). En todos los experimentos se trabajó sin limitaciones de fósforo (P) y azufre (S).

Previo a la siembra del cultivo, para cada localidad, se realizó un muestreo de suelo por bloque donde se determinó materia orgánica, pH (1:2,5) y nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan) en 0-20 cm, y los contenidos de N-NO_3^- , S-SO_4 , textura y humedad gravimétrica en 0-60 cm de profundidad. En madurez fisiológica (R6) (Ritchie *et al.*, 1982), para cada tratamiento, se determinó biomasa aérea y concentración de N en grano y estructuras vegetativas. De igual manera, en R6 se cosechó una superficie de 5 m² en los surcos centrales de cada parcela y se determinó el rendimiento en grano a humedad de recibo (14,5%).

La EUN y sus componentes se calcularon de la siguiente manera: 1) la EUN se determinó como la diferencia entre el rendimiento de las parcelas con N y la parcela testigo, dividido el N aplicado, 2) la ERN se calculó como la diferencia en el N absorbido en la biomasa aérea (estructuras vegetativas + grano) de las parcelas con N y la parcela testigo, dividido el N aplicado y 3) la EIN se calculó como la diferencia entre el rendimiento de las parcelas con N y la parcela testigo, dividido la diferencia en el N absorbido en la biomasa aérea de las parcelas con N y la parcela testigo. La normalidad y homogeneidad de varianza de los datos se confirmó utilizando el procedimiento de Shapiro-Wilks y el método de Levene, respectivamente. Se evaluó el efecto de la fuente y dosis de N sobre el rendimiento en grano, la EUN y cada uno de sus componentes mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Las diferencias entre medias de tratamiento fueron evaluadas usando test de diferencias mínimas significativas ($P < 0,05$). El análisis estadístico se realizó con el programa R (versión 3.6.3) (R Core Team, 2018) utilizando la interfaz R Commander, y los paquetes estadísticos lm, lm4, emmeans, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones edafoclimáticas

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones en promedio para Balcarce y Oliveros fueron de 397 y 423 mm, respectivamente, siendo dichos valores inferiores al promedio histórico (450 y 730 mm para Balcarce y Oliveros, respectivamente). En relación con las propiedades del suelo, el valor promedio de Nan fue de 65 mg kg⁻¹ para Balcarce y de 51 mg kg⁻¹ para Oliveros, respectivamente, mientras que la disponibilidad inicial de N-NO_3^- fue de 37 kg ha⁻¹ para Balcarce y 62 kg ha⁻¹ para Oliveros.

Rendimiento y componentes

El rendimiento del cultivo de maíz varió desde 4587 hasta 7708 kg ha⁻¹ en Balcarce y desde 6314 a 8023 kg ha⁻¹ en Oliveros, según dosis y fuente de N (Figura 1). En Balcarce se observó efecto significativo únicamente de la dosis ($P < 0,05$). La respuesta máxima fue de 2528 kg ha⁻¹ para la dosis de 200 kg N ha⁻¹ (Figura 1).



Respecto a Oliveros, sólo se determinó efecto significativo de la aplicación de N (testigo: 6268 kg ha⁻¹ vs. fertilizado: 7270 kg ha⁻¹) (Figura 1). Al igual que para Balcarce, tampoco se observaron diferencias significativas entre las fuentes.

A pesar de que se determinaron pérdidas de N por efecto de la volatilización en mayor medida y por desnitrificación en menor magnitud (Tovar Hernandez *et al.*, 2022), éstas no se reflejaron en cambios en el rendimiento entre las distintas fuentes de fertilizantes. Esto coincide con lo observado por Barbieri *et al.* (2008), Burzaco *et al.* (2014) y Martins *et al.* (2015). Si bien otros trabajos han observado mejora en el rendimiento por uso de inhibidores de la actividad ureásica y la nitrificación (Drury *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017), la baja demanda de N (*i.e.* bajo rendimiento) que se manifestó en una baja respuesta a la fertilización nitrogenada, no permitió que se observaran diferencias entre fuentes. En este sentido, las bajas precipitaciones durante el periodo crítico, tanto en Balcarce como en Oliveros, pudieron haber afectado el número de granos y el rendimiento, y haber condicionado el efecto de la fuente de N.

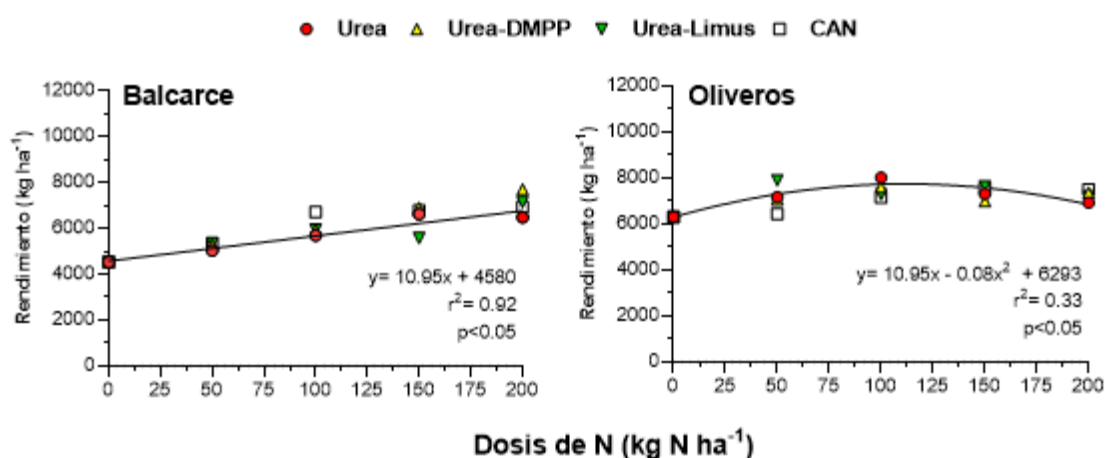


Figura 1. Rendimiento en grano del cultivo de maíz en función de la dosis de nitrógeno (N) para las diferentes fuentes (Urea, Urea-DMPP, Urea-Limus y CAN) en Balcarce y Oliveros.

Eficiencia de uso de nitrógeno

Para Balcarce, no hubo interacción significativa entre la dosis y fuente, o efecto puro de la dosis o fuente sobre la EUN (Figura 2), con un valor promedio de 12 kg de grano por kg de N aplicado. Los resultados fueron similares respecto a la ERN y EIN (Figura 2), con un valor promedio para ERN de 0,30 kg de N absorbido por kg de N aplicado y para EIN de 40 kg de grano por kg de N absorbido. En el caso de Oliveros, se observó efecto significativo de la dosis sobre la EUN (datos no mostrados). El valor más alto de EUN se observó para la dosis de 50 kg N ha⁻¹ (7 kg de grano por kg de N aplicado), la cual se diferenció significativamente ($P < 0,05$) con las demás dosis de N (promedio 4 kg de grano por kg de N aplicado). En el caso de la ERN se observó efecto significativo de la dosis (datos no mostrados) y fuente (Figura 2). La dosis que presentó el valor más alto de ERN fue 100 kg N ha⁻¹ (0,6 kg de N absorbido por kg N aplicado). y el más bajo, las dosis de 50 y 200 kg N ha⁻¹ (0,4 kg de absorbido por kg de N aplicado). Por su parte, la ERN más alta se observó para la Urea-Limus y Urea-DMPP (0,5 kg de N absorbido por kg N aplicado), mientras que la más baja se observó para la urea y el CAN (0,4 kg de N absorbido por kg N aplicado). De igual manera, para la EIN se observó efecto significativo tanto de la dosis (datos no mostrados) como de la fuente (Figura 2). El valor más alto se observó para la dosis de 50 kg N ha⁻¹ (19 kg de grano producido por kg de N absorbido), siendo, en promedio, 8 kg de grano producido por kg de N absorbido. Respecto a las fuentes de N, el CAN y la Urea presentaron los mayores valores de EIN (Figura 2).

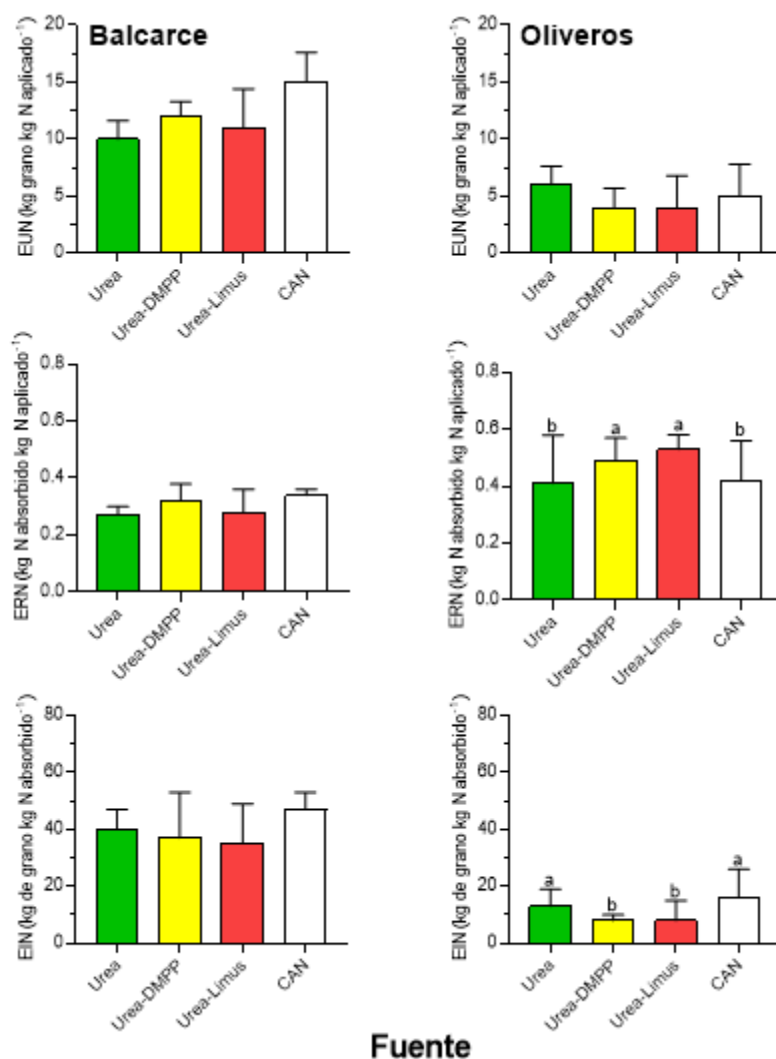


Figura 2. Efecto de las distintas fuentes de N (Urea, Urea-DMPP, Urea-Limus y CAN), sobre la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN) y la eficiencia interna de nitrógeno (EIN). Letras iguales indican ausencia de diferencias entre medias ($P > 0,05$).

La EUN observada para Balcarce concuerda con la relación insumo:producto histórica para la región, que va desde 10:1 hasta 12:1 según fuente. La falta de diferencias entre fuentes sobre la EUN y sus componentes en Balcarce, se explicaría, en parte, por las bajas precipitaciones que limitaron el comportamiento diferencial de la Urea-Limus y la Urea-DMPP respecto con la urea convencional. En el caso de Oliveros, la baja EUN, en comparación con Balcarce, se debería a la baja respuesta de la fertilización con N sobre el rendimiento, producido por un déficit hídrico (menor ocurrencia de precipitaciones) durante el periodo crítico. En condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, Abalos *et al.* (2014) reportó una mayor EUN por el uso de fuentes con inhibidores de la actividad ureásica y/o de la nitrificación en comparación con la urea. Por otra parte, la mayor ERN observada en Oliveros para las fuentes con inhibidores en comparación con la urea y el CAN, estaría atribuido a una mayor absorción de N. Esto coincide con lo observado por Sainz Rozas *et al.* (1999), Noor *et al.* (2018) y Ashraf *et al.* (2019), quienes atribuyen este efecto a la capacidad de este tipo de fertilizantes de disminuir los procesos de pérdida de N. No obstante, en general, el comportamiento similar de las distintas fuentes de N sobre la EUN y sus componentes, para ambas localidades, estaría relacionado con la menor demanda de N por parte del cultivo, producto del bajo potencial de rendimiento por la baja disponibilidad hídrica durante el periodo crítico (Correndo *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Para condiciones de baja disponibilidad hídrica, no se determinó un efecto diferencial de las fuentes de nitrógeno sobre el rendimiento del cultivo. Para Balcarce no se observó efecto alguno de la fuente sobre la eficiencia de uso de nitrógeno ni sus componentes. Para Oliveros se observó una mayor eficiencia de recuperación para las fuentes con inhibidores de la actividad ureásica y de la nitrificación, lo cual estaría atribuido al efecto de las fuentes sobre las pérdidas de N. Estos resultados plantean la necesidad de seguir explorando el comportamiento de diferentes fuentes de nitrógeno en años con mayor disponibilidad hídrica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Profértil S.A por el financiamiento de la investigación, además de los proyectos de INTA: i) 2019-PE-E9-I177-001; ii) 2019-PE-E1-I011-001 y iii) proyecto disciplinario 2019-PD-E3-I058-001.

BIBLIOGRAFÍA

- Abalos, D; S Jeffery; A Sanz-Cobena; G Guardia & A Vallejo. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189:136-144. DOI: 10.1016/j.agee.2014.03.036
- Ashraf, MN; T Aziz; MA Maqsood; HM Bilal; S Raza; M Zia; A Mustafa, X Minggan & WA Yaosheng MN Ashraf. 2019. Evaluating organic materials coating on urea as potential nitrification inhibitors for enhanced nitrogen recovery and growth of maize (*Zea mays*). *Int. J. Agric. Biol* 22:1102-1108.
- Barbieri, PA; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & FH Andrade. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal* 100(4): 1094-1100. DOI:10.2134/agronj2006.0057
- Biswas, DK & BL Ma. 2016. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science* 96(3):392-403. DOI: 10.1139/cjps-2015-0186
- Burzaco, JP; IA Ciampitti & TJ Vyn. 2014. Nitrpyrin impacts on maize yield and nitrogen use efficiency with spring-applied nitrogen: Field studies vs. meta-analysis comparison. *Agronomy Journal* 106(2):753-760. DOI: 10.2134/agronj2013.0043
- Correndo, AA; FH Gutiérrez-Boem; FO García; C Alvarez; C Alvarez; A Angeli; P Barbieri; M Barraco; A Berardo; M Boxler; P Calviño; J Capurro; H Carta; Caviglia O; I Ciampitti; M Diaz-Zoria; S Diaz-Valdez; H Echeverría & F Salvaggiotti. 2021. Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Research* 273:108299. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108299
- Deng, B; Z Li; L Zhang; Y Ma; Z Li; W Zhang; G Xiaoming; D Niu & E Siemann. 2016. Increases in soil CO₂ and N₂O emissions with warming depend on plant species in restored alpine meadows of Wugong Mountain, China. *Journal of soils and sediments* 16(3):777-784.
- Drury, CF; X Yang; WD Reynolds; W Calder; TO Oloya & AL Woodley. 2017. Combining urease and nitrification inhibitors with incorporation reduces ammonia and nitrous oxide emissions and increases corn yields. *Journal of Environmental Quality* 46(5):939-949. DOI:10.2134/jeq2017.03.0106
- Li, W; Q Xiao; C Hu; B Liu & R Sun. 2019. A comparison of the efficiency of different urease inhibitors and their effects on soil prokaryotic community in a short-term incubation experiment. *Geoderma* 354:113877. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.07.035
- Martins, MR; CP Jantalia; JC Polidoro; JN Batista; BJ Alves; RM Boddey & S Urquiaga, S. 2015. Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maize crop under no-till in a Cerrado soil. *Soil and Tillage Research* 151:75-81. DOI: 10.1016/j.still.2015.03.004
- Noor Affendi, NM; MK Yusop & R Othman. 2018. Efficiency of coated urea on nutrient uptake and maize production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49(11):1394-1400.
- 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/>.
- Ritchie, SW; JJ Hanway & GO Benson. 1982. How a plant crop develops. Spec. Rep, 48.
- Soares, JR; H Cantarella & ML de Campos Menegale. 2012. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil biology and biochemistry* 52:82-89. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.04.019
- Sainz Rozas, HNS; HNE Echeverría; GA Studdert & FH Andrade. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal*, 91(6):950-955. DOI: 10.2134/agronj1999.916950x
- Sutton, MA; A Bleeker; CM Howard; JW Erisman; YP Abrol; M Bekunda & FS Zhang. 2013. Our nutrient world. The challenge to produce



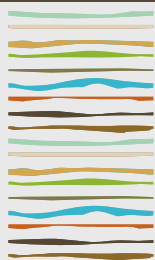
more food & energy with less pollution. Centre for Ecology & Hydrology.

Tovar-Hernández, S; F Salvagiotti; W Carciochi; N Lewczuck; K Hernandez; M Biassoni; E Kehoe; O Avila; G Garcia; M Toribio; F Garcia; H Sainz-Rozas; & N Reussi Calvo. 2022. Pérdidas gaseosas de nitrógeno según fuente y dosis de fertilizante en el cultivo de maíz. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina

Uzoma, KC; W Smith; B Grant; RL Desjardins; X Gao; K Hanis; M Tenuta; P Goglio & C Li. 2015. Assessing the effects of agricultural management on nitrous oxide emissions using flux measurements and the DNDC model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206:71-83. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.014

Zhang, X; R Bol; C Rahn; G Xiao; F Meng & W Wu. 2017. Agricultural sustainable intensification improved nitrogen use efficiency and maintained high crop yield during 1980–2014 in Northern China. *Science of the Total Environment* 596:61-68. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.064





RESIDUO AVIAR EN UNA SECUENCIA DE CULTIVOS: DOSIS, RENDIMIENTO Y EFECTOS EN EL SUELO

Tysko, M.B.¹, M.B. Rodríguez², F.H. Gutiérrez Boem².

(1) Dpto. de Cs. Básicas. Universidad Nacional de Luján. Ruta 5 y 7. Luján. Prov. de Buenos Aires. myskot@gmail.com.

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

RESUMEN

El efecto de la aplicación de residuo aviar compostado (RAC) sobre el rendimiento de los cultivos en secuencias es un tema en discusión, principalmente desde el punto de vista de la dosificación. La dosis de RAC puede calcularse en función de los requerimientos de P o de N del cultivo, aunque en este último caso puede generar acumulación de nutrientes en el suelo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de aplicaciones sucesivas de RAC en la secuencia trigo-soja de segunda-maíz sobre el rendimiento de los cultivos y los destinos de N y P en el sistema suelo-planta. Las dosis aplicadas fueron: dosis alta (RAC-N) y baja (RAC-P) (según requerimientos de N y P de cada cultivo, respectivamente). En suelo, se midieron el N y P disponibles al final de cada cultivo y en planta, el rendimiento y el N y P absorbido y exportado. Los rendimientos de los tres cultivos se incrementaron significativamente por efecto del RAC detectándose efecto de dosis en soja y maíz. La misma tendencia fue observada para los niveles de N absorbido. Los valores de P en suelo al final de la rotación fueron incrementados por el RAC en soja y maíz observándose efecto de dosis. Asimismo, el balance de P fue afectado positivamente por la dosis de RAC, evidenciando incrementos en los niveles del nutriente en el suelo. Los resultados obtenidos permiten proponer un manejo sustentable de los RAC por el cual la dosis alta (RAC-N) podría utilizarse para elevar los valores de P hasta alcanzar el umbral crítico seguida por la dosis baja (RAC-P), para lograr un balance cercano a cero en el suelo, evitando así la acumulación de este nutriente.

Palabras clave: residuo aviar, secuencia de cultivos, dosis de N y P.

INTRODUCCION

La información acerca del efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el rendimiento de los cultivos es fundamental para su manejo sustentable. Sin embargo, las investigaciones disponibles muestran tendencias contradictorias. Algunos autores consideran a la cama de pollo, principal componente del residuo aviar compostado (RAC) y otros residuos animales como una fuente apropiada de nutrientes, ya que incrementaron los rendimientos de los cultivos a los cuales fueron aplicados (He *et al.*, 2016). En cambio, otros investigadores sostienen que los rendimientos de los cultivos luego de la aplicación de residuos orgánicos fueron iguales o menores a los obtenidos con fertilizantes inorgánicos (Woodard & Sollenberger, 2011). Lin *et al.* (2016), observaron que la aplicación de la cama de pollo sin compostar condujo a un incremento en el rendimiento no mayor al 5% sobre el obtenido con fertilizantes inorgánicos. Dicho incremento fue más evidente en aplicaciones sucesivas en cultivos de verano (soja y maíz) que en aplicaciones unitarias en cultivos de invierno.



La dosificación de RAC puede realizarse en función de los requerimientos de P o de N del cultivo, aunque en este último caso puede conducir a la acumulación de nutrientes que se encuentren desbalanceados. Es por ello, que se considera importante evaluar la performance de las dosis de RAC estimadas por ambos criterios mencionados, sobre el rendimiento de los cultivos en una secuencia y sus efectos sobre la acumulación de nutrientes en el suelo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de aplicaciones sucesivas de dosis contrastantes de RAC en la secuencia trigo-soja de segunda-maíz sobre el rendimiento de los cultivos y los destinos de N y P en el sistema suelo-planta. Se hipotetizó que la aplicación acumulada de una dosis de RAC calculada en base a los requerimientos de N (dosis alta), promoverá la respuesta significativa en los rendimientos, aunque generará excedentes tanto de P como de N, que se acumularán en el estrato superficial del suelo. En cambio, la aplicación acumulada de la dosis RAC calculada en base a los requerimientos de P y complementada con N mineral en el suelo (dosis baja), promoverá la respuesta significativa en los rendimientos de los cultivos de la secuencia y no causará la acumulación de P y N mineral al fin del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del experimento

Este ensayo se realizó durante las campañas 2016-2018 en la localidad de Luján, Provincia de Buenos Aires (34°40'36,2"S - 59°06'22,4"W). El suelo fue caracterizado como un Argiudol típico con la siguiente caracterización química inicial: pH:5,7, Carbono orgánico total: 17,4 g kg⁻¹, N orgánico total: 1,5 g kg⁻¹ y P_{BRAY}: 7,9 mg kg⁻¹. En condiciones de secano y bajo siembra directa, se cultivó la rotación trigo, soja de segunda y maíz. El RAC es un residuo aviar extraído de los galpones de pollos parrilleros y compostado. Se caracteriza por presentar una estrecha relación N:P (1,5), pH ligeramente alcalino y 23 % de carbono orgánico total. Previo a la siembra de cada cultivo, se efectuó la aplicación del RAC al voleo sin incorporación, garantizando la distribución homogénea del mismo. Durante su período de crecimiento y desarrollo, los cultivos recibieron los controles sanitarios adecuados a sus requerimientos.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados (DBCA) donde las dosis de RAC correspondieron a los tratamientos aplicados a cada uno de los cultivos de la rotación. En el cálculo de la dosis de N aplicada a la soja, se consideró que el 50% de su requerimiento de N sería cubierto por fijación biológica (FBN) (Collino *et al.*, 2015).

Los tratamientos fueron (expresados en base seca):

C: Control sin aplicación de RAC.

RAC-N (dosis alta): calculada en base a los requerimientos de N de los cultivos: 5 Mg ha⁻¹; 7,3 Mg ha⁻¹ y 6,3 Mg ha⁻¹ para trigo, soja y maíz, respectivamente).

RAC-P (dosis baja): calculada en base a los requerimientos de P (1,3 Mg ha⁻¹; 2,2 Mg ha⁻¹ y 1,7 Mg ha⁻¹, para trigo, soja y maíz, respectivamente) (En trigo y maíz se complementó con N inorgánico hasta alcanzar el mismo nivel de N aportado en RAC-N para cada cultivo).

Determinaciones en suelo y planta

En dos momentos (previo a la siembra y en el estadio de madurez fisiológica de cada cultivo), se caracterizó el suelo determinándose las formas disponibles y totales de N y de P a 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad. En el estadio de madurez fisiológica de los cultivos se cuantificaron la biomasa aérea, rendimientos y la cantidad de N y P absorbido por el cultivo y exportado con el grano. Con los datos recolectados se calcularon la mineralización aparente de N (Alvarez *et al.*, 2015) y los balances de P de cada cultivo y de la rotación.

Análisis estadístico

Los datos recolectados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA). También se realizaron análisis de regresión y correlación entre las distintas variables medidas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de los cultivos

Los rendimientos obtenidos evidenciaron una respuesta significativa y positiva a la aplicación del RAC en



los 3 cultivos. El efecto de la dosis dependió del cultivo. Tanto el trigo, como la soja y el maíz alcanzaron su mayor rendimiento por aplicación de la dosis alta de RAC siendo el incremento observado del 34%, 79% y 29%, respectivamente (Figura 1).

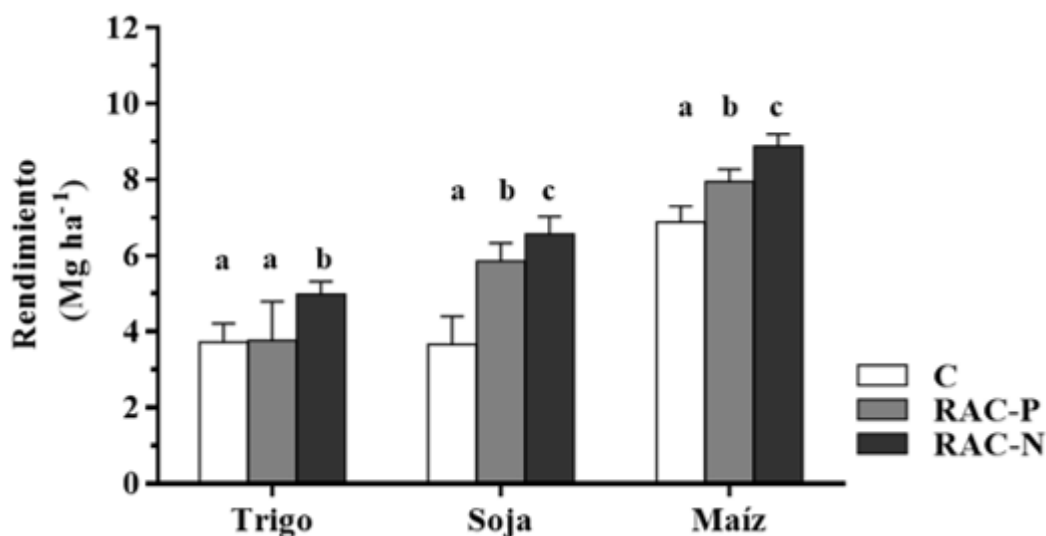


Figura 1. Rendimiento de los cultivos de la rotación para los tratamientos control (C), RAC-P (dosis baja) y RAC-N (dosis alta). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

La respuesta a la aplicación de la dosis baja de RAC fue significativa, aunque menor que la observada para RAC-N en soja y maíz, los cuales se diferenciaron del control en 60% y 15%, respectivamente. En trigo, en cambio, no se observó respuesta a RAC-P. El primer cultivo de la secuencia que recibió una única aplicación de RAC no generó más rendimiento que el control, mientras que cuando se realizaron aplicaciones sucesivas de RAC (en el trigo y soja anteriores), el rendimiento de maíz de las parcelas tratadas fue superior al control. Esto indicaría que el efecto de dosis de RAC sobre el rendimiento del maíz dependerá de la cantidad de aplicaciones de RAC que recibió previamente el cultivo.

El nivel de P inicial en el suelo para los cultivos, en particular en trigo y maíz fue bajo, mientras que en soja este valor también pudo haber sido limitante como se evidencia en la respuesta de este cultivo a la aplicación de RAC. El trigo y el maíz recibieron la misma dosis de N total mientras que el aporte de P varió en cada dosis debido al desbalance N:P del RAC respecto del requerimiento de los cultivos. Así, las diferencias de crecimiento y rendimiento observadas respecto del control en los sucesivos cultivos con RAC se relacionaron con la distinta disponibilidad de P en el suelo al momento de la siembra y su respuesta a la aplicación de este nutriente con el RAC.

Nitrógeno

La aplicación de RAC incrementó significativamente la absorción de N en los 3 cultivos, con diferencia entre dosis (Tabla 1). Como respuesta al tratamiento RAC-N, el nivel de N absorbido en trigo resultó 23% y 20% superior al control y RAC-P, mientras que, en el maíz, el RAC-N y RAC-P superaron en 67% al control y no se diferenciaron entre sí. En la soja, la asimilación de N también fue mayor en RAC-N, superando significativamente al control y RAC-P en 86 % y 48%, respectivamente. El aporte estimado de N por la fijación biológica se incrementó en más del 100 % respecto del control, cuando se aplicó la mayor dosis de RAC. El tratamiento RAC-P, se correspondió con valores de mineralización aparente de N menores que en el control en los 3 cultivos, lo que podría estar indicando posibles pérdidas de este nutriente. En el caso de la soja el cálculo de este nutriente resultó negativo indicando posibles pérdidas de N por lixiviación y/o volatilización. La aplicación de RAC en su mayor dosis generó un aumento del NT como consecuencia de un mayor aporte del N del RAC que pasó a formar parte del N orgánico del suelo. La mayor mineralización aparente de N registrada respecto del

control en el trigo y el maíz cuando se aplicó la dosis RAC-N, puede atribuirse a la mayor actividad microbiana del suelo promovida por la aplicación de RAC. Consecuentemente, se considera que en este tratamiento y para estos dos cultivos no se produjeron pérdidas significativas de N, debido a una mejor sincronización entre el N liberado y su absorción por parte del cultivo. La menor mineralización aparente de N cuando se aplicó RAC-P puede atribuirse a que la menor disponibilidad de P limitó el crecimiento del cultivo pudiendo generar pérdidas de N en este tratamiento, que fue complementado con urea. Además, con esta dosis hubo un menor aporte de N orgánico proveniente del RAC respecto del aporte de N en RAC-N.

Tabla 1: Componentes del balance de N y mineralización aparente del suelo en kg ha ⁻¹ , para cada tratamiento en trigo, soja 2° y maíz. Letras diferentes en las columnas indican diferencias entre los tratamientos para cada variable medida (p<0,05).						
Tratamiento	N-NO ₃ ⁻ Aplicado	N-NO ₃ ⁻ a la siembra	N Fijado	N-NO ₃ ⁻ Residual	N Absorbido	Mineralización aparente
	Trigo (kg.ha⁻¹)					
	<i>Trigo</i>					
C	0	54	-	61 a	81 a	88 b
RAC-P	68	54	-	65 a	83 a	26 a
RAC-N	12	54	-	75 b	100 b	109 c
	Soja (kg.ha⁻¹)					
C	0	61 a	158 a	100 b	199 a	80 c
RAC-P	3	65 a	272 b	108 b	294 b	62 b
RAC-N	18	75 b	309 c	80 a	371 c	-49 a
	Maíz (kg.ha⁻¹)					
C	0	24 a	-	49 a	104 a	129 b
RAC-P	130	32 b	-	56 a	171 b	65 a
RAC-N	24	47 c	-	53 a	177 b	159 c

En el cultivo de soja, se observó que a mayor cantidad de RAC aplicado, mayor fue la absorción de N y la cantidad de N fijado. Esta observación parecería contradecir lo citado por Salvagiotti *et al.* (2008) quienes mencionaron que la FBN disminuyó exponencialmente al aumentar la dosis de N aplicado en superficie. La FBN podría no haberse visto afectada debido a que el RAC, por ser una fuente orgánica compostada genera una mineralización gradual de N que pudo haber cubierto los requerimientos de la soja una vez que la actividad fijadora de los nódulos disminuyó (etapa de llenado de granos) permitiendo así, que el cultivo exprese toda su potencialidad de rendimiento, alcanzando un rendimiento en el tratamiento RAC-N muy superior al control. Los valores negativos de mineralización aparente y el menor nivel de N residual en este tratamiento indicarían que pudo haber pérdidas de N (lixiviación y/o desnitrificación no medidas en el presente trabajo) ya que presentó un balance hídrico positivo que alcanzó los 850 mm durante todo su ciclo.

Fósforo

El P extractable (P_{BRAY}) al inicio del ensayo fue de 7,9 mg kg⁻¹ encontrándose muy por debajo del umbral crítico de los cultivos. Al final de cada cultivo de la rotación los valores de este parámetro se incrementaron respecto del valor inicial por aplicación del RAC. La cantidad de P disponible remanente en el suelo cuando se aplicó RAC-N superó ampliamente a la de RAC-P (Tabla 2).



Tabla 2: Contenido de P extractable (0-20 cm) en el suelo (P_{BRAY}) en $mg\ kg^{-1}$ en madurez fisiológica de cada cultivo de la rotación. Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos $p<0,05$.			
Tratamiento	Trigo	Soja	Maíz
C	8,3 a	9,1 a	2,4 a
RAC-P	8,8 a	13,9 b	14,5 b
RAC-N	9,9 a	25,3 c	50,7 c

La aplicación sucesiva de la dosis alta de RAC (RAC-N) elevó el nivel de P_{BRAY} 6 veces mientras que cuando se aplicó la dosis baja (RAC-P) el contenido de P_{BRAY} solo se duplicó

En el control, el P_{BRAY} disminuyó 2,5 ppm respecto del valor inicial. El balance del P total (PT) en el suelo para la rotación (Tabla 3), mostró para el control, valores negativos de P mientras que en los tratamientos con RAC dicho balance fue positivo.

Tabla 3: Balance de P al final de cada cultivo y balance acumulado del P total ($kg\ ha^{-1}$) en el suelo luego de la aplicación de RAC-N y RAC-P. Letras diferentes en las columnas indican diferencias entre los tratamientos para cada variable medida ($p<0,05$).				
	Tratamiento	P Aplicado	P Exportado	Balance (P Aplicado - P Exportado)
<i>Trigo</i>	C	0	7 a	-7 a
	RAC-P	15	7 a	8 b
	RAC-N	55	11 b	44 c
<i>Soja</i>	C	0	14 a	-21 a
	RAC-P	25	27 b	6 b
	RAC-N	82	30 b	96 c
<i>Maíz</i>	C	0	19 a	-40 a
	RAC-P	39	32 b	8 b
	RAC-N	145	21 a	124 c

La cantidad de P remanente en el suelo cuando se aplicó RAC-N superó ampliamente a la de RAC-P. El balance de P al final de la rotación en el tratamiento control, fue negativo ($-40\ kg\ ha^{-1}$) es decir se necesitará tratamientos en forma conjunta (Figura 2).

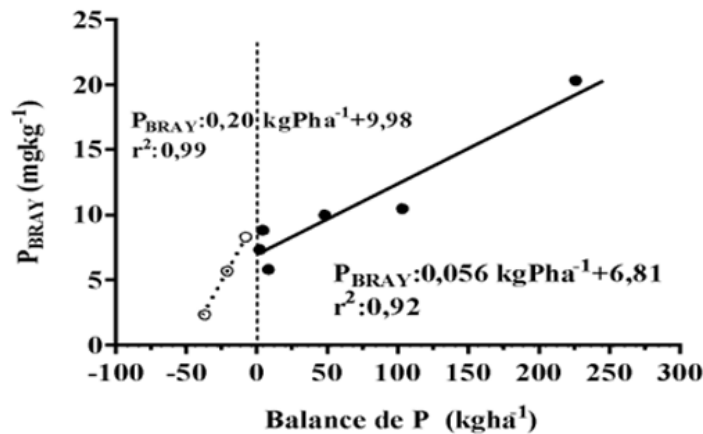


Figura 2: Relación entre el P extractable en el suelo P_{BRAY} en ($mg kg^{-1}$) en función del balance acumulado de P ($kg ha^{-1}$) para el control (línea punteada y símbolos vacíos) y los tratamientos con RAC (símbolos llenos y línea continua) Los símbolos representan el valor promedio de cuatro repeticiones.

En el control se observó disminución de P_{BRAY} que fue acompañado de saldos negativos crecientes de P, mientras que en los tratamientos con RAC, el P_{BRAY} aumentó y fue acompañado de saldos positivos crecientes. La pendiente de la recta de la función en los tratamientos con RAC ($0,056 mg kg^{-1}$) indica la cantidad de P-RAC que habría que agregar para elevar el nivel de P disponible en el suelo en $1 mg kg^{-1}$. Según Sucunza *et al.* (2018), quienes estudiaron esta relación en la Región Pampeana y bajo distintas rotaciones, se necesitan $3,2 kg$ de P ha^{-1} para elevar el nivel del P_{BRAY} del suelo en $1 mg kg^{-1}$. En el caso de la aplicación de RAC se estableció que la pendiente de la relación entre el P_{BRAY} y el balance acumulado de P resultó casi el doble de lo determinado por los autores antes mencionados. Este valor estaría indicando que en el presente estudio se necesitaría agregar $17,8 kg$ de P ha^{-1} por sobre la exportación de P de los cultivos para elevar en $1 mg kg^{-1}$ el P_{BRAY} del suelo.

La diferencia observada respecto de los datos obtenidos por Sucunza *et al.* (2018) podría deberse a que el suelo donde se realizó esta rotación contiene una mayor proporción de arcillas que le otorgan una mayor capacidad de adsorción de P; o que gran parte del P agregado en el RAC aún no interactuó con el suelo como para tener un impacto sobre el valor de P extractable. Tras la aplicación del tratamiento RAC-N se observó que el P se acumuló en la capa superficial del suelo; siendo esto consecuencia del desbalance de N:P en el RAC respecto del suelo.

Cuando se aplicó la menor dosis de RAC (en función de los requerimientos de P del cultivo) se comprobó que, si bien el balance fue positivo, la cantidad final de P extractable en el suelo al final del ciclo de cada cultivo resultó menor al umbral crítico de los mismos, lo que estaría indicando que, con esta dosis, los cultivos limitaron su respuesta.

Estos resultados permiten proponer un manejo sustentable de los RAC. La dosis RAC-N podría utilizarse para elevar los valores de P hasta alcanzar el umbral crítico y posteriormente aplicar la dosis RAC-P logrando un balance cercano a cero en el suelo, con el fin de no generar una acumulación de este nutriente.

CONCLUSION

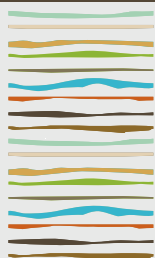
La aplicación de RAC-N produjo respuesta significativa en los rendimientos de los tres cultivos de la rotación, siendo superior a la observada al aplicar RAC-P. En cambio, la dosis de RAC-P promovió respuesta en el rendimiento de la soja y el maíz mientras los rendimientos de trigo no variaron. El nivel de P en el suelo, así como el balance de este nutriente resultó positivo luego de la aplicación acumulada de RAC superando ampliamente el umbral crítico de los cultivos. Es por ello que, en caso de repetirse la aplicación de la dosis estudiada, en el corto plazo podría generar acumulación de P en el horizonte superficial. Para efectuar un manejo sustentable

del RAC y tomando en cuenta la cantidad de P proveniente del RAC necesaria para aumentar en una unidad el P_{BRAY} del suelo estimada en este estudio, se sugiere la aplicación alternada de ambas dosis. Estos resultados constituyen un avance en el manejo de los RAC cuando se aplican a la secuencia de cultivos.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, R; H Steinbach & J de Paepe. 2015. Nitrógeno. En: R. Alvarez. Fertilidad de suelos y fertilización en la región Pampeana. 1ra edn Pp.93-146.
- He, Z; Pagliari, PH & HM Waldrup. 2016. Applied and environmental chemistry of animal manure: a review. *Pedosphere*.26(6): 779–816.
- Lin, Y; E van Santen & D Watts. 2016. The effect of poultry litter application on agricultural production: A meta-analysis of crop yields, nutrient uptake and soil fertility. Annual Conference on Applied Statistics in Agriculture. Kansas State University. <http://newprairiepress.org/agstatconference/2016>.
- Messiga, AJ; N Ziadi; C Jouany; P Virkajärvi; R Soumela; S Sinaj; G Bélanger; C Stroia & C Morel. 2015. Soil test phosphorus and cumulative phosphorus budgets in fertilized grassland. *AMBIO*, 44(S2):252-262.
- Salvagiotti, F & DJ Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *Eur. J. Agron.* 28: 282-290.
- Sucunza, F; F.H. Gutierrez Boem; F. O. Garcia; G. Rubio & M. Boxler. 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *Eur. J. Agron*, 96: 87-95.
- Woodard, K. & L. Sollenberger. 2011. Broiler Litter vs. Ammonium Nitrate as Nitrogen Source for Bermudagrass Hay Production: Yield, Nutritive Value, and Nitrate Leaching. *Crop Sci.* 51: 1342-1352.





NUTRICIÓN BALANCEADA EN MAÍZ: RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO

Vacca, S.^{1,3*}; J. Di Matteos^{1,3}; N Reussi Calvo^{1,2}

¹Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, ² CONICET; ³ KWS Argentina.

* Autor de contacto: Garibaldi 161, Tandil (BA); 02266-495905, Santiago.vacca@kws.com

RESUMEN

La brecha de rendimiento para el cultivo de maíz se estima en un 40% para la Región Pampeana (RP), siendo la nutrición un aspecto clave para reducirla. El nitrógeno (N) es principal nutriente que limitante dicho rendimiento, sin embargo, la intensificación de la agricultura ha generado una disminución en la disponibilidad de fósforo, azufre (S) y cinc (Zn) de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento e indicadores de eficiencia de uso de N. Se realizaron 4 experimentos de maíz en la RP y se evaluaron 3 tratamientos: i) manejo del productor (PR); ii) PR con un 50% más de N (PR+N) y iii) PR+N con S y Zn (PR+NSZn). Se realizó la caracterización inicial de suelo, se determinó rendimiento en grano, balance parcial de N (BPN), la productividad parcial del factor (PPF) y la eficiencia de uso de N (EUN). Los principales resultados fueron: i) el tratamiento PR+N mejoró en promedio un 23% el rendimiento, disminuyó un 16% la PPF, siendo la EUN promedio de 19 kg de grano kg N aplicado⁻¹ respecto al tratamiento PR; ii) el tratamiento PR+NSZn mejoró en promedio un 28% el rendimiento, disminuyó un 13% el PPF, mientras que la EUN promedio fue de 24 kg de grano kg N aplicado⁻¹ respecto al tratamiento PR. Los valores de BPN variaron desde 0,9 hasta 1,8 kg N removido por kg N aplicado, sin efecto de tratamiento. En síntesis, la nutrición balanceada en base a diagnóstico permitiría reducir las brechas de rendimiento del cultivo de maíz y mejorar la eficiencia de uso de los recursos.

Palabras clave: manejo, fertilización, impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) se ha incrementado en las últimas décadas como resultado de un conjunto de prácticas de manejo, sumada al progreso del mejoramiento genético. En la actualidad, se estima una brecha de rendimiento del 40% para el cultivo (Aramburu Merlos *et al.*, 2015), siendo la nutrición un aspecto clave que permitiría reducirla. Relevamientos de suelos realizados en la región pampeana Argentina, indican balances negativos de diferentes nutrientes (Sainz Rozas *et al.*, 2019). El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento de maíz, sin embargo, en las últimas décadas es cada vez más frecuente determinar respuesta al agregado de azufre (S) (Carciochi *et al.*, 2015). Asimismo, otro nutriente como el cinc se ha diagnosticado como deficiente en algunas zonas productivas de maíz (Barbieri *et al.*, 2015). Trabajos realizados en la región pampeana muestran un incremento del rendimiento de hasta 68% por efecto de la nutrición balanceada (Ciampitti *et al.*, 2010). Esto permitiría no solo aumentar la productividad de los cultivos sino también la eficiencia de uso de los nutrientes, minimizando el potencial impacto ambiental.

Existen diferentes indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes, entre los que se destacan para N, el balance parcial de N (BPN) y la productividad parcial del factor (PPF). El BPN es la relación entre los kg de nutriente extraído y los kg de nutriente aplicado, mientras que la PPF es la relación entre la producción de grano y la cantidad de nutriente aplicado (Dobermann, 2007). Las estimaciones de BPN muestran que, en el



caso de los cereales, a través de los últimos años, los valores son cercanos a 1, considerados adecuados según Snyder *et al.*, (2007). Para maíz, los valores de PPF son algo elevados, indicando que probablemente el cultivo aún se abastezca de N de la fracción orgánica de los suelos, acentuando la degradación de la fertilidad de los mismos (García *et al.*, 2014). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización (dosis y nutrientes) sobre el rendimiento e indicadores de eficiencia de uso de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2020-2021 se realizaron 4 experimentos de maíz en las localidades de 9 de Julio (9dJ), Bolívar (Bol), Chacabuco (Cha) y Villegas (Vill). Los suelos predominantes fueron Hapludoles Típicos y Argiudoles Típicos. Se utilizó en todos los sitios un híbrido granífero de alto potencial de rendimiento (KM 3916 VIP3). Se emplearon las mejores prácticas de manejo del cultivo (fecha y densidad de siembra, control de malezas y enfermedades, etc.), según los productores de cada área. En cada sitio experimental se evaluaron 3 tratamientos: PR (manejo del productor), PR+N (manejo de productor con un 50% más de N) y PR+NSZn (PR+N con una dosis de suficiencia para S y Zn). Todos los tratamientos se aplicaron al voleo en forma de urea (46-0-0) y mezclas físicas de S y Zn entre los estadíos V_6 y V_{10} del cultivo. El diseño del experimento fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. Cada unidad experimental fue de 10 surcos de ancho por 12 m de largo. La dosis de N del tratamiento PR fue de 75, 80, 100 y 120 kg ha⁻¹ para Vill, Cha, 9dJ y Bol, respectivamente. Se aplicaron 20 kg P ha⁻¹ para que no limite el rendimiento del cultivo.

Previo a la siembra del cultivo se tomaron muestras de suelo en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Se realizó la determinación de materia orgánica (Walkley & Black, 1934), pH (1:2,5), P-Bray, N incubado en anaerobiosis (Keeney, 1982), Zinc DTPA en superficie (0-20 cm), N-NO₃⁻ (Keeney, 1982) y S-SO₄⁼ (Islam & Bhuiyan, 1998) en todo el perfil.

En madurez fisiológica (Ritchie & Hanway, 1984) se cosecharon las espigas en 10 m lineales de los 3 surcos centrales de cada parcela y se desgranaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el contenido de humedad y el rendimiento en grano se expresó al 14,5% de humedad. La PPF se estimó como el cociente entre el rendimiento del cultivo y la dosis de N (kg grano por kg N aplicado⁻¹). El BPN se obtuvo mediante el cociente entre el N exportado en los granos y el N total aplicado con el fertilizante (kg N en grano por kg N aplicado⁻¹). La eficiencia de uso del N (EUN) se calculó como el cociente entre la respuesta en rendimiento y la cantidad de N aplicado con el fertilizante. Se realizó el ANOVA utilizando el procedimiento PROC MIXED en R Core Team (2014) para evaluar los efectos del sitio y dosis de N sobre rendimiento. Este modelo considera sitios y tratamientos como efectos fijos. Se determinaron diferencias significativas al 5% usando la prueba de diferencia mínima significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones edafoclimáticas

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo variaron desde 416 hasta 672 mm (Tabla 1), siendo similares al promedio histórico de cada zona (450-500 mm, aproximadamente). Considerando que la demanda hídrica del cultivo de maíz es cercana a los 530 mm (Andrade *et al.*, 1995), esto indicaría que la disponibilidad hídrica generalmente no limitó el rendimiento del cultivo.

La disponibilidad promedio de N-NO₃⁻ en presiembra (0-60 cm) fue de 68 kg ha⁻¹, con valores que fueron desde 43,1 hasta 100,5 kg ha⁻¹ (Tabla 1). Los valores de Nan variaron de 40 a 70 ppm. Por lo tanto, la variación en el Nan y N-NO₃⁻ representa situaciones con diferente disponibilidad actual y potencial de mineralización de N y, con alta probabilidad de respuesta en rendimiento al agregado de dicho nutriente (Orcellet *et al.*, 2017).

Los valores de S-SO₄⁼ fueron en promedio de 42 kg ha⁻¹ (Tabla 1), cercanos a los 40kg ha⁻¹ propuesto como nivel crítico por Carciocchi *et al.* (2015). En cuanto al Zinc, el promedio fue de 0,85 ppm, valor inferior al umbral determinado por Barbieri *et al.* (2015) de 1 ppm para el 97% de rendimiento relativo.



Tabla 1. Caracterización edafoclimática de los sitios experimentales. MO: materia orgánica; Nan: nitrógeno incubado en anaerobiosis; Pp: precipitaciones.

Sitio	MO	P Bray	pH	Nan	Zn DTPA	N-NO ₃ ⁻	S-SO ₄ ⁻²	Pp
	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)		
	-----0-20cm-----					0-60cm		(mm)
9dj	28	10	5,9	58	1,00	75,5	50	520
Bol	30	17	6,4	70	0,75	53,8	45	672
Cha	31	14	6,1	40	0,8	100,5	35	450
Vill	26	16	5,9	55	0,85	43,1	40	416

Rendimiento

El rendimiento en grano promedio de sitio y tratamiento fue de 12418 kg ha⁻¹, con mínimo de 7001 kg ha⁻¹ y máximo de 14347 kg ha⁻¹. Se determinó interacción significativa ($p < 0,05$) en rendimiento entre las variables sitio y tratamiento. Esto se explicaría en parte por la variabilidad edafoclimática de los diferentes sitios experimentales (Tabla 1).

El rendimiento del cultivo aumento por efecto del tratamiento PR+N en el 75% de los sitios (Figura 1). La respuesta promedio fue de 3620 kg ha⁻¹, 1144 kg ha⁻¹, 4723 kg ha⁻¹ para los sitios 9dj, Cha y Vill, respectivamente. Si bien en el sitio Bol, no se determinó efecto significativo de la dosis de N sobre el rendimiento del cultivo, se observó como tendencia un aumento de 470 kg ha⁻¹. Esto se explicaría en parte por el mayor Nan de dicho sitio (Tabla 1). Otros trabajos han determinado una menor respuesta al agregado de N frente a aumentos en el contenido de Nan del suelo (Reussi Calvo et al., 2018).

Para todos los sitios, el rendimiento aumentó por efecto del tratamiento PR+NSZn, siendo la respuesta promedio de 2256 kg ha⁻¹ para 9dj, 1269 kg ha⁻¹ para Bol, 2255 kg ha⁻¹ para Cha y de 5819 kg ha⁻¹ en Vill. Esto implica un incremento de rendimiento que va desde 9,7% hasta un 83,2% según sitio. La menor respuesta en el sitio 9dj se podría explicar por los adecuados niveles de S-SO₄⁻² y Zn a la siembra (Tabla 1). Varios trabajos han determinado respuestas de similar magnitud a la nutrición con S y Zn (Pagani et al., 2011; Barbieri et al., 2015).

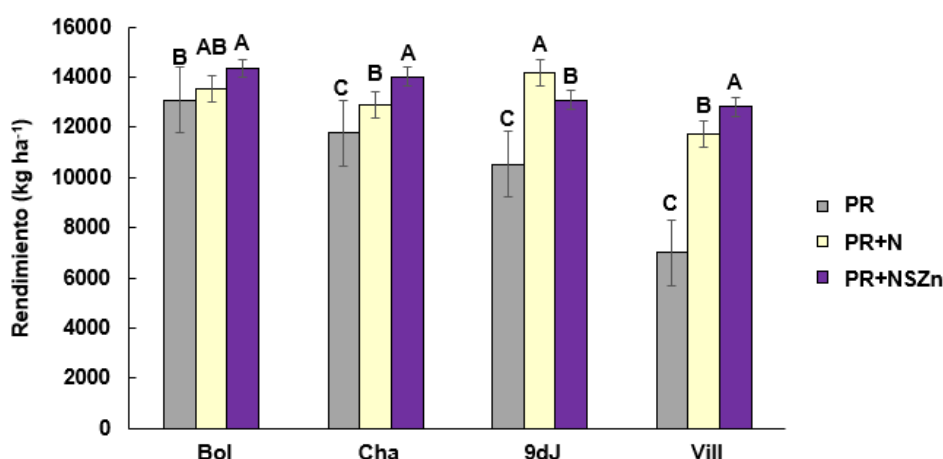


Figura 1. Rendimiento en (kg ha⁻¹) para los cuatro sitios en estudio y los tres tratamientos de fertilización. Letras distintas dentro de cada localidad, indican diferencias significativas ($p < 0,05$). PR: manejo del productor, PR+N: manejo de productor con un 50% más de N, y PR+NSZn: PR+N con una dosis de suficiencia para S y Zn.

Indicadores de eficiencia

La PPF vario desde 75 hasta 147 kg grano kg N⁻¹ según sitio y tratamiento, siendo la interacción significativa ($p < 0,05$). En el 75% de los sitios, la PPF disminuyo frente al aumento en la dosis de N y/o fertilización con S y Zn, siendo en promedio la disminución de 26 kg grano por kg N aplicado. No obstante, los valores de PPF

se ubican por encima del óptimo de 60-80 kg grano kg N aplicado citado en la literatura (Dobermann, 2007). Esto indicaría que se sigue produciendo en función del aporte de N del suelo aún con mayores niveles de fertilización (50% más de N). En el tratamiento PR+NSZn, se le suma la respuesta a Zn y S, combinado con la posible mejora en la eficiencia de uso de N (Pagani *et al.*, 2009). Por otra parte, al analizar al sitio Villegas, la PPF creció en ambos tratamientos respecto al tratamiento PR, lo cual indicaría que la respuesta aún en los tratamientos con +N siguió limitada por dicho nutriente.

Los valores de BPN variaron desde desde 0,9 hasta 1,8 kg N removido por kg N aplicado (Tabla 2). No se determinó efecto del tratamiento de fertilización sobre dicho indicador de eficiencia. En general, para los cuatro sitios los valores de BPN se encuentran dentro de los rangos citados según Snyder *et al.* (2007), siendo levemente mayores a 1. Esto representa balances negativos de N, los cuales deberían mejorarse con mayores ingresos de N al sistema vía fertilización y/o fijación biológica del N.

Si bien el BPN y la PPF son indicadores de fácil estimación y utilizados para grandes escalas, la EUN permite definir la eficiencia de uso del fertilizante. Para los cuatro sitios, la EUN promedio fue de 19 kg de grano por kg N aplicado para el tratamiento PR+N y de 24 kg de grano kg N aplicado⁻¹ para el tratamiento PR+NSZn. Esto representa una mejora del 20% en la EUN por efecto de la nutrición balanceada. Los valores de EUN se ubican por encima de la relación insumo: producto histórico que va desde 10:1 hasta 12:1 según fuente de N (Pagani *et al.*, 2008).

Tabla 2. Valor promedio de productividad parcial del factor (PPF) y balance parcial de nitrógeno (BPN) para cada localidad y tratamiento de fertilización.

Sitio	Tratamiento	BPN	PPF
		(kg N en grano kg N ⁻¹)	(kg gr kg N ⁻¹)
9 de Julio	PR	1,0	105 A
	PR+N	1,3	94 B
	PR+NSZn	1,2	87 C
Bolívar	PR	1,4	109 A
	PR+N	0,9	75 B
	PR+NSZn	1,2	80 B
Villegas	PR	1,1	93 B
	PR+N	1,4	104 A
	PR+NSZn	1,5	113 A
Chacabuco	PR	1,8	147 A
	PR+N	1,5	108 C
	PR+NSZn	1,3	117 B
ANOVA			
Sitio		***	***
Tratamiento		ns	***
Sitio*tratamiento		***	***

Letras mayúsculas distintas en sentido vertical, dentro de cada localidad, indican diferencias estadísticamente significativas con un DMS 5% de probabilidad. ns: no significativa. PR: manejo del productor, PR+N: manejo de productor con un 50% más de N, y PR+NSZn: PR+N con una dosis de suficiencia para S y Zn.

CONCLUSIONES

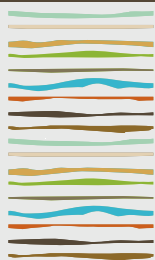
Los resultados de este trabajo demuestran que el incremento en la dosis de nitrógeno sumado a la fertilización con azufre y zinc permitirían cerrar las brechas de rendimiento de maíz desde un 9,7 hasta un 83%. Además, estas estrategias de fertilización se vieron reflejas en mejoras en la eficiencia de uso del nitrógeno y productividad parcial del factor, reduciendo las externalidades del sistema.



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H. & Gardiol, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz girasol y soja. Boletín técnico 132. EEA INTA Balcarce.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J. P., Mercu, J. L., Taboada, M., Andrade, F., Hall, A., & Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184, 145-154 Bothe, H., Ferguson, S., & Newton, W. 2007. *Biology of the nitrogen cycle*. Amsterdam: Elsevier
- Barbieri, P., Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Salvagioti, F., Barbagelata, P. A., Barraco, M. R., ... & Larsen, B. 2015. ¿El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz?.
- Bray, R.H. & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Carciochi, W. D., Divito, G. A., Calvo, N. R., & Echeverría, H. E. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 18, 22-28.
- Ciampitti, Ignacio & Boxler, M. & Garcia, Fernando. 2010. Nutrición de Maíz: requerimientos y Absorción de nutrientes. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur. Int. Plant Nutr. Inst.* 4. 14-18.
- Dobermann A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. pp 1-28. En *Fertilizer Best Management Practices. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs)*. 7-9 March, 2007. Brussels, Belgium.
- García, F. O., Taboada, M. A., Sanjuan, M. F. G., & Picone, L. I. 2014. El nitrógeno en la agricultura argentina Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de grano y mitigar las emisiones de óxido nitroso.
- Islam, M., & N. Bhuiyan. 1998. Evaluation of various extractants for available sulfur in wetland rice (*Oryza sativa*) soils of Bangladesh. *Indian Journal of Agricultural Science* 58: 603–606.
- Keeney, D.R. 1982. Nitrogen-availability indices. En: Page, A. L. et al. (eds.), *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU*, pp. 711-733.
- Orcellet, J., Reussi Calvo, N. I., Sainz Rozas, H. R., Wyngaard, N., & Echeverría, H. E. (2017). Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal*, 109(1), 291-298.
- Pagani, A., & H.E. Echeverría. 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. *Agronomy Journal*. 103:413-421.
- Pagani, A., Echeverría, H. E., & Sainz Rozas, H. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del suelo*, 27(1), 21-29.
- Pagani, A.; H.E. Echeverría; H. Sainz Rozas & P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 26:183-193.
- Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., Orcellet, J., Sainz Rozas, H. R., & Echeverría, H. E. 2018. Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 82(2), 502-508.
- Ritchie S.W. & J.J. Hanway. 1984. How a corn plant develops: Special report No. 48, Iowa State University.
- Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Larrea, G. E., Martínez Cuesta, N., Angelini, H. P., Reussi Calvo, N. I., & Wyngaard, N. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana.
- Snyder C.S. & T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. *International Plant Nutrition Institute. Reference # 07076*.
- Walkley, A & C.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.





FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ PISINGALLO (*Zea mays* L. var. Everta) EN EL SUDESTE BONAERENSE

Varela T¹, C. Crespo ¹, D. Martinez¹, G. Lombardo³, M.P. Rodríguez², P.A. Barbieri^{2,4}

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

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

³ Basso Semillas;

⁴ Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce (INTA)

Ruta Nacional 226, km 73,5, Balcarce, Prov. de Buenos Aires, mail: barbieri.pablo@inta.gob.ar

RESUMEN

El maíz pisingallo (*Zea mays* L. var. Everta) se presenta como una alternativa de diversificación de la producción para el sudeste bonaerense (SEB). Sin embargo, algunos aspectos de manejo, como es el ajuste de la dosis de nitrógeno (N) no han sido abordados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada en maíz pisingallo. Durante las campañas 2018/19 y 2020/21 se realizó un experimento en donde se evaluó la aplicación de 75 y 150 kg N ha⁻¹ más un tratamiento testigo sin la aplicación de N. Con el objeto de monitorear el estado de nutrición nitrogenada a la floración del cultivo se determinó el índice de verdor (IV). El rendimiento en grano del cultivo de maíz se incrementó significativamente por efecto del N, sin diferencias entre dosis. La respuesta a N (promedio de los tratamientos fertilizados) fue de 1228 y 1487 kg ha⁻¹ en 2018/19 y 2018/20, respectivamente. La determinación del IV como así también el índice de suficiencia de N fueron una adecuada herramienta que permitió determinar el estado de nutrición nitrogenada del cultivo. La eficiencia de uso de N disminuyó significativamente por efecto del incremento de la dosis de N. A través de la relación entre el rendimiento relativo y el N disponible (suelo + fertilizante) fue posible determinar un nivel de N crítico en suelo de 107 kg N ha⁻¹ con un rango de 82-140 kg N ha⁻¹ para un intervalo de confianza del 95%. Los resultados de esta experiencia permitieron determinar el umbral de respuesta a N en maíz pisingallo en el SEB, información que no existía anteriormente.

Palabras clave: nitrógeno, índice de verdor, pisingallo.

INTRODUCCION

El maíz pisingallo (*Zea mays* L. var. Everta) es un producto diferenciado con valor agregado y constituye una alternativa válida de diversificación en los sistemas de producción agrícola (Gómez Acuña, 2018). Argentina se ha convertido en uno de los referentes en el mercado mundial alcanzando 205.000 tn en el año 2021 (CAMPI, 2022). El rendimiento promedio por hectárea a nivel país es de alrededor de 4000 kg y la superficie sembrada oscila entre 45.000 y 60.000 ha, siendo la zona núcleo de producción las regiones sur de la provincia de Santa Fe y norte de la provincia de Buenos Aires (MAGyP, 2018).

Dado su alto potencial a nivel de mercado, en el sudeste bonaerense (SEB) se ha comenzado a producir maíz pisingallo. Sin embargo, es escasa la información local para definir la dosis de nitrógeno (N) que permita maximizar el rendimiento del cultivo. Para norte de la provincia de Buenos Aires, Ferraris & Couretot (2011) determinaron que la disponibilidad de N que maximizó el rendimiento (N en el suelo + fertilizante) alcanzó a 147 kg ha⁻¹, mientras que cuando se relativizaron los rendimientos al 95 % el umbral determinado de N disponible, dicho valor de disponibilidad fue de 131 kg de N ha⁻¹. Conocer los requerimientos de N, como así también su eficiencia de uso (EUN, kg grano kg N aplicado⁻¹) es una práctica de manejo esencial para alcanzar



rendimientos elevados, sostenidos en el tiempo y con resultados económicos positivos. Por lo mencionado previamente, y debido a la escasa información del cultivo de maíz pisingallo en el SEB, se plantea evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano de maíz pisingallo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del experimento

Durante las campañas 2018/19 y 2019/20 se realizó un experimento de respuesta a N en maíz pisingallo en la EEA INTA Balcarce bajo sistema de siembra directa y en secano. El suelo donde se realizó la experiencia fue un Argiudol típico (Soil Survey Staff, 2014; INTA, 1979), de textura franca, en la Tabla 1 se presentan algunas características a la siembra de los cultivos. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados. Los tratamientos evaluados fueron Testigo (sin la aplicación de N), 75 y 150 kg N ha⁻¹. La fecha de siembra fue el 6/12 y 20/11 en 2018/19 y 2019/20, en ambas campañas el híbrido utilizado fue BAS 5803. El N fue aplicado en V5-6 (Ritchie & Hanway, 1982). La fuente de N utilizada fue urea aplicada al voleo. Los ensayos se realizaron sin limitaciones de otros nutrientes y se mantuvieron libre de malezas y enfermedades.

Mediciones y determinaciones en el cultivo

Previo a la siembra de maíz se realizó un muestreo de suelo para determinar el pH (1:2,5), P disponible (Bray & Kurtz, 1945), materia orgánica (Walkley & Black, 1934) y contenido de N-NO₃⁻ (Keeney & Nelson, 1982). En floración se determinó el **índice de verdor (IV) de las hojas mediante la utilización del medidor portátil de clorofila Minolta SPAD 502 (Konica Minolta, NJ, USA)** con el objetivo de monitorear el estado de nutrición. Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) como el cociente entre la lectura de clorofila de cada unidad experimental y el valor promedio de lectura del tratamiento con mayor aporte de N expresado como porcentaje. En madurez fisiológica se determinó el rendimiento del cultivo (14% de humedad) y la materia seca total acumulada por el cultivo (MS). Se calculó el índice de cosecha en grano (ICgr) como el cociente entre el rendimiento y la MS y el rendimiento relativo (RR) como el cociente entre rendimiento de cada parcela y el rendimiento correspondiente a la dosis máxima de N expresado en porcentaje. Se determinó la eficiencia aparente de uso de N (EUN) como la diferencia de rendimiento entre los tratamientos fertilizados y los testigos dividido la dosis de N.

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza. Las medias de tratamiento fueron comparadas mediante el test de diferencias mínimas significativas (p<0,05). Para analizar la asociación entre variables se utilizaron análisis de regresión. Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2011). Se relacionó el RR y la disponibilidad de N en el suelo utilizando la función arcoseno-logaritmo (ALCC) descrita por Dyson & Conyers (2013) y adaptada por Correndo et al. (2017). El nivel crítico del análisis de suelo se estimó respecto a un nivel del RR del 95% para aislar del análisis las variaciones de rendimiento provocadas por las condiciones ambientales de cada campaña.

Tabla 1. Resultado del análisis de suelo a la siembra de maíz para ambas campañas: en 0-20 cm fósforo extractable (P-Bray), pH, materia orgánica (MO), y en 0-60 cm nitrógeno como nitrato (N-NO₃⁻).

Año	pH	P Bray I	MO	N-NO ₃ ⁻
		mg kg ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
2018/19	5,7	22,4	5,0	81,1
2019/20	5,9	36,4	4,9	26,5

RESULTADOS Y DISCUSION

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo totalizaron en 425 y 420 mm en la estación de crecimiento 2018/19 y 2019/20, respectivamente. Si bien se produjeron deficiencias hídricas (particularmente durante el mes de enero), las mismas no ocurrieron durante el periodo crítico de determinación de rendimiento, por lo tanto, el rendimiento del cultivo no habría sido afectado en gran medida por la disponibilidad hídrica (Figura 1).



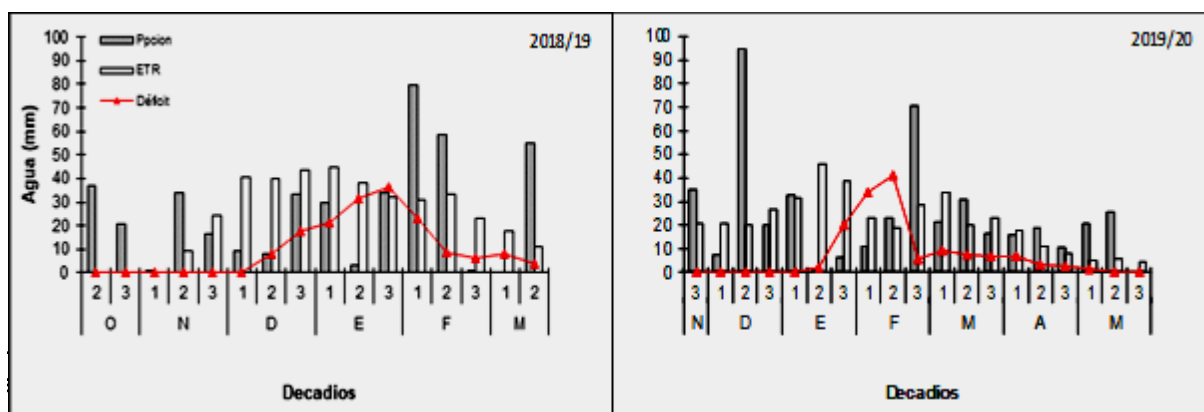


Figura 1. Balance hídrico decádico para la campaña 2018/19 y 2019/20.

En ambas campañas, el IV permitió diferenciar estadísticamente los tratamientos fertilizados del Testigo, sin diferencias entre tratamientos de fertilización (Tabla 2). La MS total en madurez fisiológica no fue estadísticamente diferente entre tratamientos en la campaña 2018/18, mientras que en 2019/20 la MS total acumulada en los tratamientos fertilizados fue significativamente superior respecto del Testigo (Tabla 2). El rendimiento en grano del cultivo de maíz se incrementó significativamente por efecto de la aplicación de N, sin diferencias entre dosis en ambas campañas (Tabla 2). La respuesta a la aplicación de N (promedio de los tratamientos fertilizados menos el Testigo) fue de 1228 (24%) y 1487 kg ha⁻¹ (24%) en 2018/19 y 2019/20, respectivamente. Incrementos de rendimiento debido a la aplicación de N han sido reportados para la zona norte de la provincia de Bs As (Ferraris & Couretot, 2011). Al igual que para la MS acumulada, el ICgr no difirió entre tratamientos en la campaña 2018/19, mientras que en 2019/20 el ICgr fue mayor para la dosis de N más elevada, sin diferencias entre el Testigo y la dosis de N intermedia (Tabla 2).

Tabla 2: Índice de verdor (IV), materia seca total (MS), rendimiento e índice de cosecha (ICgr) del cultivo de maíz pisingallo durante las campañas 2018/19 y 2019/20.

Tratamiento	2018/19				2019/20			
	IV	MS Total	Rendimiento	ICgr	IV	MS Total	Rendimiento	ICgr
	Unidades SPAD	----- kg ha ⁻¹ -----		%	Unidades SPAD	----- kg ha ⁻¹ -----		%
0 N	34.2 b	11582 a	5166 b	0.40 a	43.4 b	12654 b	6114 b	0.44 a
75 N	41.6 a	12778 a	6357 a	0.43 a	48.2 a	14882 b	7672 a	0.40 ab
150 N	44.1 a	13368 a	5432 a	0.40 a	49.9 a	18542 a	7531 a	0.37 b

Letras iguales indican diferencias no significativas ($p < 0,05$)

Se determinó una asociación significativa entre el rendimiento del cultivo y el ISN (Figura 2). El valor de ISN determinado necesario para alcanzar el 95% del rendimiento relativo fue de 95, valor por debajo del cual se encontraron los tratamientos que no recibieron el agregado de N. La determinación del IV y del ISN mediante el uso del Minolta SPAD 502 al estadio de floración fueron una adecuada herramienta que permitió determinar el estado de nutrición nitrogenada del cultivo.

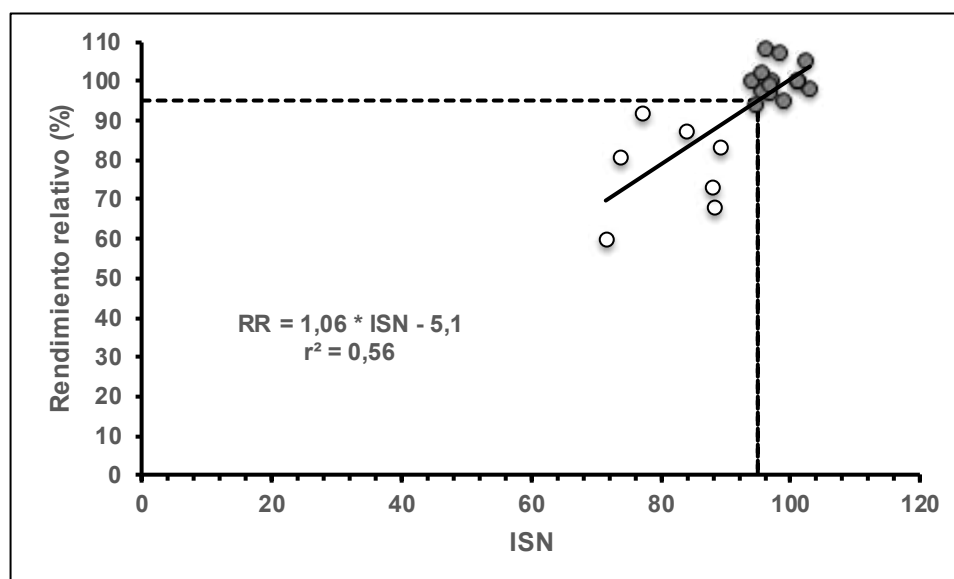


Figura 2: Relación entre el rendimiento relativo (RR) y el índice de nutrición nitrogenada (ISN) del cultivo de maíz pisingallo durante las campañas 2018/19 y 2019/20. Los símbolos vacíos indican los tratamientos sin la aplicación de N mientras que los símbolos llenos indican los tratamientos que recibieron la aplicación de N.

En ambos años, el RR se relacionó con la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) a la siembra (Figura 3). Como resultado de esta relación fue posible determinar un nivel de N crítico en suelo de 107 kg N ha⁻¹ con un rango de 82-140 kg ha⁻¹ para un intervalo de confianza del 95%. De acuerdo a la disponibilidad de N en suelo, se definieron tres rangos de probabilidad de respuesta en rendimiento por fertilización, uno de probabilidad de respuesta elevada: N disponible < 0,82 kg ha⁻¹, probabilidad de respuesta media: N disponible entre 82 y 140 kg ha⁻¹ y probabilidad de respuesta baja: N disponible > 140 kg ha⁻¹ (Figura 3). Ferraris & Couretot (2011), determinaron una concentración crítica de N disponible en suelo de 131 kg ha⁻¹ para la zona norte de la provincia de Bs As. Estos valores coincidirían con una probabilidad de respuesta media según los valores umbrales determinados en este trabajo.

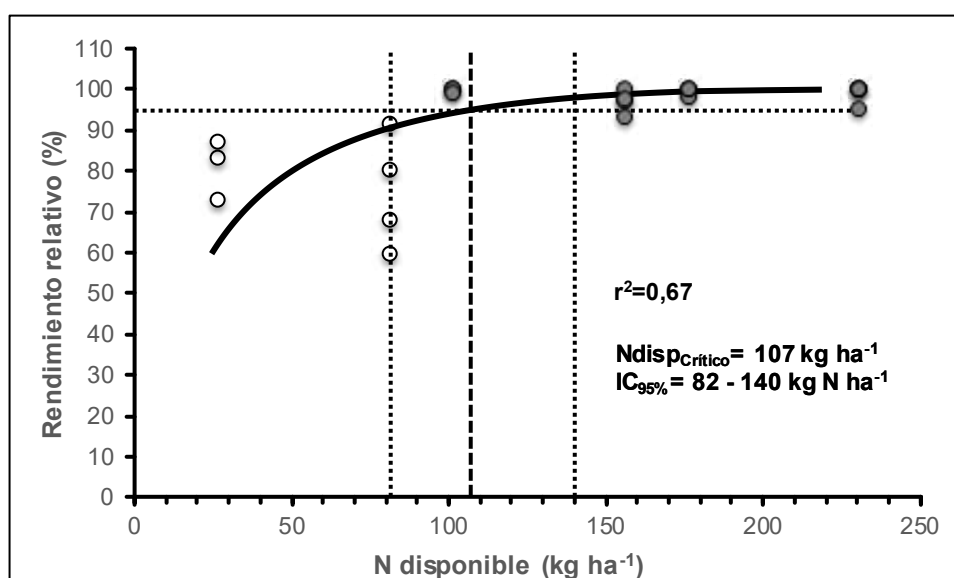


Figura 3: Relación entre el rendimiento relativo (RR) y el N disponible en el suelo (0-60 cm) en el cultivo de maíz pisingallo durante las campañas 2018/19 y 2019/20. Los símbolos vacíos indican los tratamientos sin la aplicación de N mientras que los símbolos llenos indican los tratamientos que recibieron la aplicación de N.

La EUN disminuyó significativamente por efecto del incremento de la dosis de N (Figura 4). Para ambas campañas los valores de EUN fueron similares entre dosis. Los valores promedio a través de campaña de EUN fueron de 20,6 y 10,1 kg de grano por kg de N aplicado⁻¹ para las dosis de 75 y 50 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

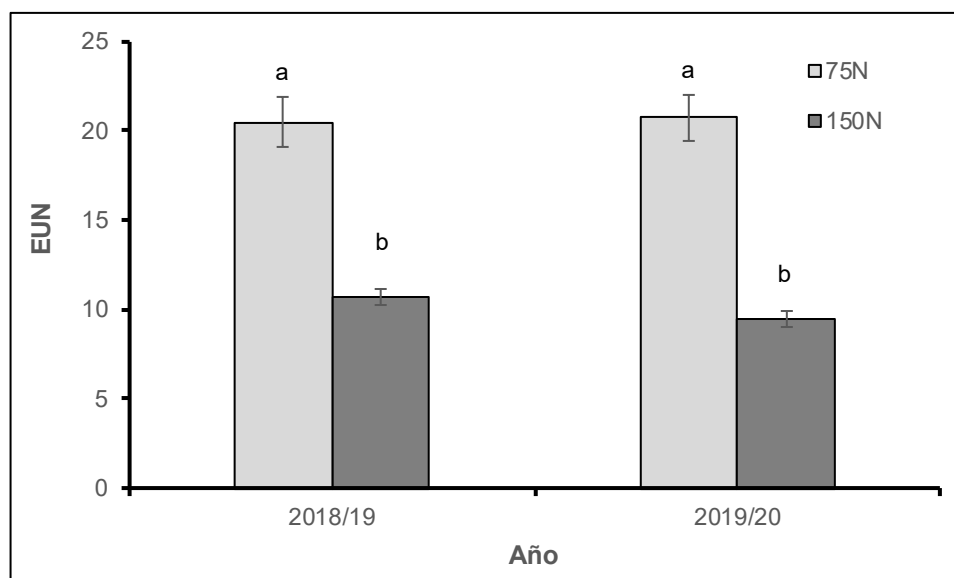


Figura 4: Eficiencia de uso de N (EUN) en kg de grano por kg de N aplicado⁻¹ en función de la dosis de N aplicada para el cultivo de maíz pisingallo durante las campañas 2018/19 y 2019/20. Las barras verticales indican los valores de error estándar.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta experiencia permitieron calibrar un umbral de respuesta a la fertilización nitrogenada en el maíz pisingallo en función del N disponible (suelo + fertilizante). Además, la determinación del IV como así también del ISN al estadio de floración fueron una adecuada herramienta que permitió determinar el estado de nutrición nitrogenada del cultivo. Esta información es relevante dado que se desconocía el umbral de respuesta a N en maíz pisingallo para el SEB.

BIBLIOGRAFIA

- Bray, R.H. & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic y available form of phosphorus in soil. Soil Sci. (59): 360-361. Brussels, Belgium y Paris, France, 2008
- Cámara Argentina de maíz pisingallo 2022. https://popchamber.com.ar/?page_id=52&lang=es consulta: 04 marzo 2022.
- Ferraris, N.G & L. Couretot. 2011. Fertilización en maíz y maíz pop. Respuesta a la fertilización, umbrales críticos y eficiencia comparativa en el uso de nutrientes.
- Correndo, A.A.; F. Salvagiotti; F.O. García & F.H. Gutiérrez Boem. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. Crop y Pasture Science. 68(3): 297-304
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C.W. Robledo. 2018. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dyson, C. B. & M.K. Conyers. 2013. Methodology for online biometric analysis of soil test–crop response datasets. Crop y Pasture Science, 64(5), 435-441.
- Gómez Acuña, F.J. 2018. Efectos de la fecha de siembra, disponibilidad hídrica y densidad de siembra sobre la determinación del rendimiento y la calidad del maíz pisingallo (Zea maíz L. Var. Everta). Tesis para optar al Grado Académico de Especialista en Producción de Cultivos Extensivos. Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba: pp. 1-2.
- Keeney, D.R. & D.W. 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. ASA. Madison, Wisconsin, pp. 643-698.

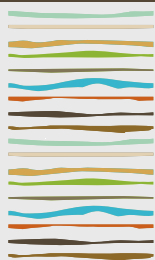


Ritchie, S.W. & J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, USA. Special Report 48. 21 p.

Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. Washington DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. pp. 290-372.

Walkley, A. & I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-37





EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE CORRALES DE TAMBOS SOBRE LA CANTIDAD DE FÓSFORO DISPONIBLE

Walker, G.E.², J.G. Nicolier², M. Savino³, G. Benzi³, P. Ghiberto^{1,2}, G. Berhongaray^{1,2}, M. Simonutti², S. Imhoff^{1,2}

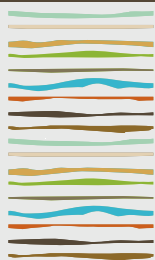
¹Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral), Universidad Nacional del Litoral (UNL), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

²Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNL), Empresa Las Taperitas³, Kreder 2805, CP: S3080HOF, Esperanza, Argentina. gwalker@fca.unl.edu.ar

RESUMEN

Los desechos pecuarios están constituidos por restos de alimentos, estiércol, orina y agua proveniente de la lluvia y del lavado de las instalaciones. Sanitizados y en dosis adecuadas pueden aplicarse al suelo como fuentes de nutrientes, siendo un recurso económica y ambientalmente favorable. Sin embargo, se desconoce cuánto tiempo perduran estos cambios al cesar la aplicación de los mismos. La hipótesis del trabajo es que luego de interrumpir las aplicaciones, con el transcurso del tiempo, el fósforo orgánico proveniente de las enmiendas continuará mineralizándose originando un aumento del contenido de P disponible. El objetivo de este estudio fue determinar las consecuencias de la aplicación de barrido de corrales de tambos de producción de leche bovina (BC) sobre la cantidad de fósforo disponible. Este experimento se realizó en un establecimiento cercano a El Trébol, provincia de Santa Fe, Argentina sobre un suelo Argiudol típico Los Cardos, con índice de productividad 90. En el año 2014 se instaló un ensayo experimental con aplicación de BC utilizando un esparcidor de sólidos. Desde principios del año 2016 hasta el 2018, previo a cada cultivo, se aplicaron diversas dosis de BC. El ensayo tuvo un diseño en bloques (3) completamente al azar con cuatro tratamientos; un testigo (T0), y tres dosis: para cubrir el 50%; (T1), el 100% (T2) y el 150% de la demanda de N del cultivo a sembrar (T3). La rotación durante el período evaluado fue: maíz 1ra-trigo-moha-trigo-maíz 2da. La determinación de P se realizó con la metodología de fósforo extractable de Bray Kurtz. Pasados cuatro años de la última aplicación, en abril del 2022 se muestrearon las mismas parcelas para evaluar el efecto en el tiempo de las fertilizaciones orgánicas. Se aplicó el análisis de la varianza con posterior comparación de medias utilizando el test de LSD Fisher ($p < 0,1$). El valor inicial de P Bray en 2014 fue de 62 mg kg⁻¹; en 2016 ascendió a 138,153 y 167 mg kg⁻¹ de P en promedio para el T1, T2 y T3 respectivamente, mientras que el T0 se mantuvo en valores esperables que promediaron 65 mg kg⁻¹ de P. En 2022, luego de cuatro años sin aplicación; se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos, y aumentos de los niveles a 127 mg kg⁻¹ para el T1, 160 mg kg⁻¹ para el T2 y 182 mg kg⁻¹ para el T3. Esto indicaría que el BC acumulado durante las aplicaciones en superficie continuó mineralizándose, aumentando así el contenido de fósforo disponible. Con los resultados encontrados se refuerza la idea de estudiar el comportamiento del P en sus distintas fracciones en el suelo y la dinámica entre estas cuando la fertilización es con enmiendas orgánicas.

Palabras clave: fósforo, fertilizantes orgánicos, desechos pecuarios sólidos.



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS SEMILÍQUIDOS DE CERDOS SOBRE LA CANTIDAD DE FÓSFORO DISPONIBLE

Walker, G.E.², J.G. Nicolier², M. Savino³, G. Benzi³, P. Ghiberto^{1,2}, G. Berhongaray^{1,2}, A. M. Batista², S. Imhoff^{1,2}

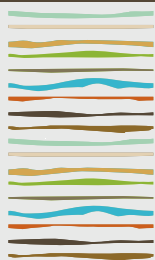
¹Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral), Universidad Nacional del Litoral (UNL), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

²Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNL), Empresa Las Taperitas³,
Kreder 2805, CP: S3080HOF, Esperanza, Argentina., walker@fca.unl.edu.ar

RESUMEN

Las actividades pecuarias generan un importante volumen de desechos provenientes del lavado de instalaciones y excretas de los animales, que sanitizados y en dosis adecuadas pueden ser utilizados para fertilizar los suelos, siendo un recurso económica y ambientalmente propicio. Sin embargo, se desconoce cuánto tiempo perduran estos cambios cuando cesa la aplicación de los mismos. La hipótesis del trabajo es que luego de interrumpir las aplicaciones, con el transcurso del tiempo, el fósforo orgánico (Po) proveniente de las enmiendas continuará mineralizándose originando un aumento del contenido de P disponible. El objetivo de este estudio fue determinar las consecuencias de la aplicación de residuos semilíquidos de cerdo (SLC) sobre la cantidad de fósforo disponible. Este experimento se realizó cercano a El Trébol, provincia de Santa Fe, Argentina sobre un suelo Argiudol típico Los Cardos, con índice de productividad 90. En el año 2014 se instaló un ensayo experimental con aplicación de SLC utilizando un sistema de inyección en suelo que se interrumpieron en 2018. Previo a cada cultivo se aplicaron diversas dosis de SLC siguiendo un diseño en bloques (3) completamente al azar con cuatro tratamientos, un testigo (T0), y tres dosis: para cubrir el 50% (T1), para cubrir el 100% (T2) y para cubrir el 150% de la demanda de N del cultivo a sembrar (T3). La rotación durante el período evaluado fue: maíz 1ra-trigo-moha-trigo-maíz 2da. Se analizó el contenido de fósforo extractable con método Bray Kurtz. Pasados cuatro años de la última aplicación, en abril del 2022 se muestrearon las parcelas para evaluar el efecto en el tiempo de las fertilizaciones orgánicas. Se realizó el análisis de la varianza con posterior comparación de medias utilizando el test de LSF Fisher ($p < 0,1$). El valor inicial de P Bray fue de 61,8 mg kg⁻¹; luego de 3 años de rotación y aplicación de los efluentes previo a cada siembra ascendió a valores promedio de 105, 137 y 146 mg kg⁻¹ de P para el T1, T2 y T3 respectivamente. Luego de 4 años sin aplicación se registraron los siguientes niveles de P para T1, T2 y T3: 83 mg kg⁻¹, 76 mg kg⁻¹, y 106 mg kg⁻¹. Podemos concluir que la inyección de efluentes semi líquidos de cerdo producen una rápida respuesta al aumento de los niveles de P disponible, pero que los mismos no se sostuvieron en el tiempo. Eso refuerza la idea del estudio del comportamiento del P en sus distintas fracciones en el suelo y la dinámica entre estas, cuando la fertilización es con enmiendas orgánicas.

Palabras clave: fósforo, fertilizantes orgánicos, desechos pecuarios semi líquidos.



CAMBIOS EN LA FERTILIDAD DEL SUELO ASOCIADOS A LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE Y LA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA

Wingeyer, A.B.^{1,2*}, R.J. Crespo^{1,3}, E.A. Gabioud¹, E. Behr⁴, M. Wilson¹, M.C. Sasal¹, M. Seehaus¹, M. Kahl⁴, N. Van Opstal²

¹ Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; CONICET;

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario;

⁴ AER INTA Crespo

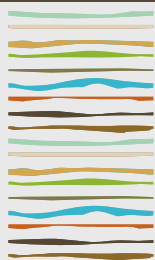
*Ruta Prov. 11 km 12,5 (3100), Oro Verde, Entre Ríos, wingeyer.ana@inta.gob.ar

RESUMEN

La transición agroecológica incorpora la intensificación al gradiente entre los sistemas productivos actuales en la región y sistemas de producción alternativos con menor impacto ambiental para lograr niveles productivos de manera sostenible. En este trabajo se comparan los cambios en los parámetros de fertilidad química en una transición agroecológica de producción extensiva bajo siembra directa. El Módulo de Investigación y Demostrativo localizado en Seguí, provincia de Entre Ríos, consta de 4 tratamientos: T1: agricultura continua maíz/soja/trigo-soja bajo siembra directa con el manejo fitosanitario y de fertilización habitual para la región; T2: agrícola continuo con cultivos de invierno todos los años, para producción de granos o forraje y uso de agroquímicos y fertilizantes según esquema habitual; T3: sistema agrícola en transición agroecológica con uso de enmiendas orgánicas de origen local (avícola), cultivos de cobertura invernal sin uso forrajero, y uso excepcional y estratégico de agroquímicos (herbicidas); T4: sistema mixto agrícola-ganadero en transición agroecológica con pastoreo de los cultivos de cobertura con novillos y gradual reemplazo del uso de agroquímicos. Se realizó un muestreo de suelo (0-20 cm) en invierno al inicio de la instalación del módulo (07/2019) y a los tres años (08/2022). Las tres campañas presentaron importantes déficit hídricos que impactaron en la producción de los cultivos de verano > cultivos de invierno (trigo-avena) > cultivos de servicio (vicia+avena). La conductividad eléctrica (CE) fue baja y similar entre tratamientos (< 1 mmhos/cm), y el pH (1:2,5) varió entre 5,4 y 6,5. Para todos los tratamientos se observó una reducción en el tiempo de K, Na, S, Zn, y Fe, y un incremento de Ca, Mg, N amoniacal inicial, N amoniacal anaeróbico y N amoniacal potencialmente mineralizable. Sólo en el T4 se incrementó el P disponible (P-Bray) luego de tres años. Comparado a 2019, el contenido de nitrato en 2022 del T1 se incrementó (Barbecho) en tanto que en T2, T3 y T4 se redujo. El N total se redujo en el T1 (-17%), no presentó cambios en los T2 y T4, y se incrementó en el T3 (+7%). El primer componente principal (CP1) ordenó los tratamientos T1<T2<T3<T4 en 2019 y T1<T2<T4<T3 en 2022. El segundo componente principal (CP2) ordenó los tratamientos T2=T4<T1<T3 en 2019 y T2<T1=T4<T3 en 2022. En 2019, las variables con mayor peso para CP1 fueron: Mg; N amoniacal potencialmente mineralizable; materia orgánica (MO); nitratos (positivas), y Zn; N total; S; Fe (negativas); y para CP2 fueron K y Na (positivas) y CE (negativa). En 2022, las variables con mayor peso para CP1 fueron Mg; Na; Ca; pH (positivas) y Zn; S; nitratos (negativas); y para el CP2 fueron K y CE (positivas) y MO (negativas). Luego de tres años, se observó un incremento de la fertilidad (P disponible y N total) en los tratamientos bajo transición agroecológica. El cambio en la estructura de las varianzas sugiere una dinámica compleja (cationes, MO, micronutrientes, CE, pH) de la fertilidad asociada a la intensificación.

Palabras clave: cultivos de servicio, fósforo disponible, nitrógeno potencialmente mineralizable.





PÉRDIDAS DE NITRÓGENO DESDE SUELOS FERTILIZADOS CON UREA TRATADA CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACION

Wyngaard, N.^{1,2*}, G. García^{1,3}, C. Crespo¹, M. Toribio⁴, J.A. Romero¹, N.I. Reussi Calvo^{1,2}, W. Carciochi^{1,2}, V. Aparicio², H.R. Sainz Rozas^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata;

² Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (CONICET-INTA Balcarce);

³ CONICET;

⁴ Profertil S.A.;

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

RESUMEN

Los inhibidores de la nitrificación, como el 3,4-Dimetilpirazol fosfato (DMPP), son capaces de limitar la oxidación del amonio a nitrato, lo que puede disminuir las pérdidas de nitrógeno (N) por lavado de nitrato, pero también incrementar la tasa de volatilización de amoníaco (NH₃). El objetivo de este trabajo fue comparar, en condiciones de laboratorio, las pérdidas de N desde suelos de textura contrastante fertilizados con urea tratada o no con DMPP, bajo diferentes regímenes de precipitación. Para tal fin, se trabajó con columnas de suelo franco-arcilloso y franco-arenoso bajo diferentes tratamientos de fertilización (Testigo, Urea o Urea con DMPP) y diferentes condiciones de precipitación simulada (condición seca o húmeda). Las columnas se incubaron a 25 °C con trampas de NH₃ en su parte superior, que se cambiaron para la cuantificación de la volatilización a los 1, 4, 7, 14, 21 y 28 d. Semanalmente, se aplicó gradualmente agua en la parte superior de las columnas y se ejerció un leve vacío en la parte inferior, determinando, luego, la concentración de nitrato en el lavado. En el suelo franco-arcilloso bajo condición húmeda y en el suelo franco-arenoso bajo ambas condiciones de precipitación, el uso de DMPP redujo la cantidad de nitrato lavado (entre 27 y 67%) respecto a la urea sin tratar, compensando el incremento en las pérdidas por volatilización de NH₃ (entre 15 y 39%). Estas tendencias resultaron en reducciones de pérdidas del N aplicado entre 5 y 13%. En el suelo franco-arcilloso, en el régimen seco, el uso de DMPP no modificó las pérdidas por lavado en comparación a la urea, aunque resultó en un incremento de la volatilización (+23%). Puede concluirse que la capacidad del DMPP para reducir pérdidas de N del sistema está altamente influenciada por las condiciones edafoclimáticas.

Palabras clave: lavado de nitrato, volatilización de amoníaco, textura.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el macronutriente que más limita la producción de agroecosistemas a nivel mundial (Robertson & Vitousek, 2009), por lo que el uso de fertilizantes nitrogenados es una práctica habitual. Dentro de estos fertilizantes, la urea (46-0-0) cubre más del 60% del consumo global. Sin embargo, la eficiencia de uso del N a nivel mundial es de sólo 35% (Omara *et al.*, 2019). Esto significa que 65% del N aplicado no es aprovechado por los cultivos y puede perderse del sistema en formas gaseosas o por lavado, contribuyendo potencialmente a reducir la calidad del aire y del agua.

Una estrategia para aumentar la eficiencia de uso de N es a través del uso de fertilizantes de eficiencia incrementada (FEI) (Timilsena *et al.*, 2015). Dichos fertilizantes son tratados con materiales o agentes que retardan o controlan la tasa de liberación de N. El 3,4-Dimetilpirazol fosfato (DMPP) es un FEI que actúa limitando



la conversión de amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-), reduciendo el riesgo de lavado, que es uno de los procesos más importantes de pérdida de N desde agroecosistemas (Diez-Loperz *et al.*, 2008). A su vez, la magnitud del proceso de lavado depende de otros factores como la dosis de N aplicada, la presencia de cultivos, la lámina de precipitaciones o riego y el tipo de suelo (Boy-Roura *et al.*, 2016). Algunos FEI también pueden incrementar las pérdidas por volatilización de amoníaco (NH_3), debido a que aumentan el tiempo de residencia del NH_4^+ en el suelo. Esta tendencia depende del inhibidor y del tipo de suelo (Kim *et al.*, 2012; Lam *et al.*, 2017). En este sentido, se ha descrito que el DMPP es el único inhibidor de la nitrificación que, en promedio entre diferentes estudios, no modifica la tasa de volatilización de NH_3 respecto a la urea (Kim *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2016). Sin embargo, dichos resultados no son concluyentes, dada la disparidad de resultados.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue comparar las pérdidas por lavado de NO_3^- y volatilización de NH_3 desde suelos de textura contrastante y diferente régimen de precipitación al ser fertilizados con urea o urea tratada con DMPP en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el protocolo para la determinación simultánea de pérdidas por lavado de NO_3^- y volatilización de NH_3 descrito por (Peng *et al.*, 2015), evaluando dos suelos contrastantes: franco-arcilloso (materia orgánica: 85,4 g kg^{-1} , arena: 431 g kg^{-1} , arcilla: 294 g kg^{-1} , CIC: 28,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y franco-arenoso (materia orgánica: 2,1 g kg^{-1} , arena: 785 g kg^{-1} , arcilla: 52 g kg^{-1} , CIC: 6,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). En cada suelo, utilizando cilindros de PVC con un borde afilado se extrajeron 24 columnas de 20 cm de alto y 4,5 cm de diámetro. Se estableció un diseño factorial con 4 repeticiones y 2 factores: fertilización y precipitación, que fue repetido en los dos suelos. Los tratamientos de fertilización fueron: testigo (sin aplicación de fertilizante), urea convencional (UREA) y urea tratada con DMPP (DMPP). Las dosis de fertilizante agregadas fueron equivalentes a 100 kg N ha^{-1} . Respecto a las precipitaciones, se evaluaron dos intensidades de lavado que representan un año húmedo y un año seco. Para establecer la lámina de agua a aplicar semanalmente a cada columna se consideraron el primer (793 mm) y el tercer cuartil (1011 mm) de la media anual de precipitaciones en la zona de Balcarce.

Sobre cada uno de los cilindros se colocó una esponja embebida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1 N para capturar el NH_3 volatilizado. Sobre cada cilindro se colocó una tapa agujereada y otra esponja embebida en H_2SO_4 1 N para evitar interferencias por NH_3 atmosférico. Las unidades experimentales se colocaron en una incubadora a 25 °C. Las esponjas inferiores se reemplazaron luego de 1, 4, 7, 14, 21 y 28 d y se extrajeron con cloruro de potasio 1 M. El extracto fue destilado por arrastre de vapor (Bremner & Keeney, 1965) para cuantificar el NH_3 volatilizado. A su vez, se ejerció un vacío leve en la parte inferior de las columnas y se les agregó gradualmente y en superficie una solución de cloruro de calcio 0,01 M según la lámina de precipitación correspondiente. Se determinó el contenido de N inorgánico (N_{inorg} , N de NH_4^+ + N de NO_3^-) en el lixiviado mediante destilación según Bremner & Keeney (1965).

Los resultados de pérdidas de N se expresaron en kg ha^{-1} en cada uno de los tratamientos y como proporción de pérdida del N aplicado como fertilizante. Para esto último, se restó a la magnitud de cada proceso de pérdida en los tratamientos fertilizados (UREA o DMPP) aquella del testigo, y el valor obtenido se hizo relativo a la dosis de N aplicada como fertilizante. Se analizó el efecto de los factores fertilizante y régimen de precipitación mediante ANOVA, y la interacción entre ambos, sobre las diferentes variables evaluadas, de forma separada para cada suelo. La comparación de medias se realizó mediante el test de Tukey (valor $P = 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el suelo franco-arcilloso, no se observaron, en general, diferencias significativas de volatilización de NH_3 entre regímenes de precipitación, pero sí entre tratamientos de fertilización (Tabla 1). Tanto UREA como DMPP presentaron mayores tasas de volatilización que el Testigo. Si bien la magnitud de la volatilización fue siempre superior para DMPP que para UREA, la diferencia entre ambos tratamientos fue sólo significativa en los días 7 y 14 ($P < 0,05$). Respecto a la cantidad de N volatilizada acumulada tras 28 días, las diferencias observadas fueron: DMPP > UREA > Testigo (Tabla 1, Figura 1). Si bien otros estudios también han demostrado que los inhibidores de la nitrificación incrementan las pérdidas por volatilización de NH_3



por la mayor permanencia del NH_4^+ en la solución del suelo, el caso particular del DMPP se describe como contrastante, dado que puede llegar a reducir las pérdidas, aunque, en general, no las modifica respecto a UREA (Lam *et al.*, 2017).

Tabla 1. Pérdidas de nitrógeno (N) por volatilización de amoníaco (NH_3) en un suelo franco-arcilloso ante diferentes fuentes de fertilización (F) y regímenes de precipitación (P).

Régimen (R)		Fertilización (F)	Días					
			1	4	7	14	21	28
Húmedo	Testigo	kg ha ⁻¹						
	UREA	0,8	0,8	0,8 d	0,8	0,9 ab	0,9	5,3
	DMPP	1,3	7,2	1,2 c	0,8	1,1 ab	1,1	12,7
Seco	Testigo	1,3	8,2	2,4 a	1,5	1,2 a	1,1	15,7
	UREA	0,8	0,8	0,8 d	0,9	0,8 bc	1,0	5,3
	DMPP	1,2	7,7	1,3 c	0,9	1,0 bc	1,0	13,0
		1,2	8,3	2,0 b	1,3	0,9 c	1,1	14,8
Promedios								
	Húmedo	1,1	5,4	1,5	1,0	1,0	1,0	11,2
	Seco	1,1	5,6	1,3	1,0	0,9	1,0	11,0
	Testigo	0,8 b	0,8 b	0,8	0,8 b	0,8	1,0	5,3 c
	UREA	1,3 a	7,4 a	1,3	0,8 b	1,1	1,0	12,9 b
	DMPP	1,3 a	8,3 a	2,2	1,4 a	1,0	1,1	15,2 a
ANOVA		valor P						
	R	0,2057	0,6044	0,074	0,5755	<0,0001	0,6396	0,6531
	F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7445	0,1797	<0,0001
	P x F	0,6466	0,8818	0,019	0,0793	0,0067	0,3933	0,5586

Respecto al suelo franco-arenoso, se observó efecto del régimen de precipitación los días 7 (con interacción con el tratamiento de fertilización) y 28 donde, en general, el régimen húmedo incrementó la volatilización de NH_3 respecto al seco (Tabla 2). A diferencia del suelo franco-arcilloso, se determinó una mayor volatilización de DMPP respecto a UREA en casi todos los momentos de muestreo (excepto el primero) y en el total acumulado (+17% en promedio) (Tabla 2).

En el suelo franco-arcilloso, los valores acumulados de N_{inorg} en el lavado presentaron una interacción entre la fuente de fertilización y el régimen de precipitación (Figura 1), donde no se observaron diferencias entre tratamientos en el régimen seco, pero sí en el húmedo. En este último, las pérdidas fueron mayores en UREA respecto al Testigo, pero no hubo diferencias al comparar a este último tratamiento con DMPP. Este resultado contrasta con los descriptos en un meta-análisis (n=103), donde en todos los casos el DMPP redujo las pérdidas por lavado respecto a UREA (Yang *et al.*, 2016).

En el suelo franco-arenoso, la magnitud de las pérdidas y las diferencias entre tratamientos fueron mucho más marcadas en comparación al suelo franco-arcilloso, debido a la baja capacidad de retención de N_{inorg} que tiene la arena (Gaines y Gaines, 1994). En dicho suelo se observó un contraste entre los tratamientos DMPP y

UREA hasta los 28 días de ensayo (Figura 1). Las diferencias fueron mucho más pronunciadas en el régimen húmedo que en el seco. Los valores acumulados de N_{inorg} lavado presentaron una interacción significativa entre el tratamiento de fertilización y el régimen de precipitación (Figura 1): los testigos presentaron valores bajos de pérdida, que fueron independientes al régimen de precipitación, mientras que los tratamientos fertilizados presentaron el siguiente orden decreciente de pérdidas acumuladas: UREA (Húmedo) > DMPP (Húmedo) > UREA (Seco) > DMPP (seco). Independientemente del régimen de precipitación, la reducción en pérdidas de N por lavado en DMPP respecto a UREA fue de 17%. Dicho valor es inferior al valor promedio cercano al 70% establecido por Yang *et al.* (2016).

Tabla 2. Pérdidas de nitrógeno (N) por volatilización de amoníaco (NH_3) en un suelo franco-arenoso ante diferentes fuentes de fertilización (F) y regímenes de precipitación (P).

		Días					
Régimen (P)	Fertilización (F)	4	7	14	21	28	Acumulado
		----- kg ha ⁻¹ -----					
Húmedo	Testigo	0,7	0,6 d	0,5	0,6	1,1	3,4
	UREA	17,0	3,3 c	0,8	0,7	0,9	22,9
	DMPP	16,5	5,5 b	1,8	1,1	1,1	26,0
Seco	Testigo	0,5	0,4 d	0,4	0,5	0,5	2,3
	UREA	15,5	3,3 c	0,8	0,7	0,5	20,9
	DMPP	18,1	4,6 a	1,9	1,1	0,7	26,7
Promedios							
	Húmedo	11,4	3,2	1,0	0,8	1,0 a	17,4
	Seco	11,4	2,8	1,0	0,8	0,5 b	16,6
	Testigo	0,6 b	0,5	0,4 c	0,6 b	0,8 ab	2,9 c
	UREA	16,3 a	3,3	0,8 b	0,7 b	0,7 b	21,9 b
	DMPP	17,3 a	5,1	1,8 a	1,1 a	0,9 a	26,3 a
ANOVA		----- valor P -----					
	R	0,9871	0,0056	0,7404	0,4657	<0,0001	0,1706
	F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0061	<0,0001
	P x F	0,0571	0,0237	0,2061	0,5149	0,1393	0,143

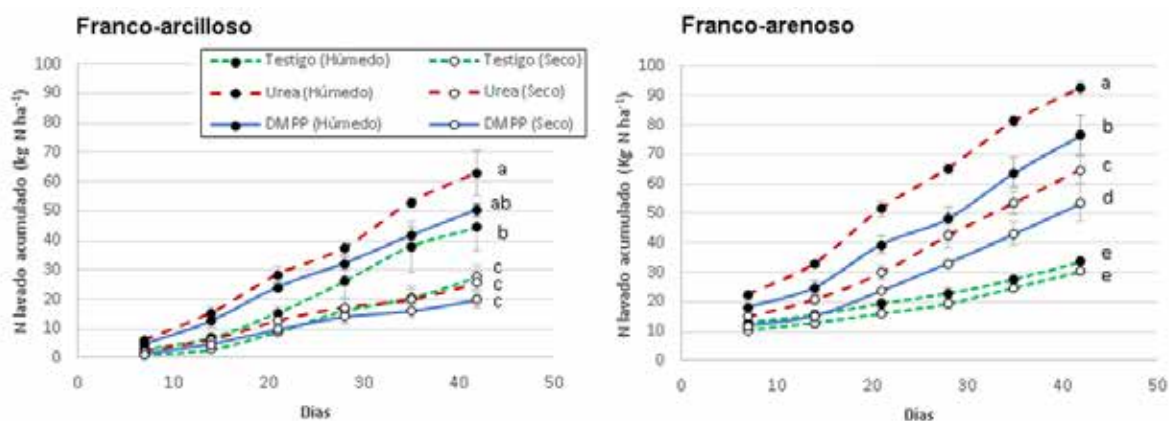


Figura 1. Nitrógeno (N) lavado acumulado en diferentes tratamientos de fertilización y regímenes de precipitación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos en el total acumulado de N lavado al finalizar el estudio dentro de cada suelo.

En el suelo franco-arcilloso, la proporción de N del fertilizante perdida por volatilización fue superior en los tratamientos con DMPP (10,0%) respecto a UREA (7,6%) ($P < 0,001$) sin que se observe efecto del régimen de precipitación ni interacción entre tratamientos (Figura 2). La volatilización representó la mayor parte de las pérdidas totales (63 al 100%), excepto para el caso de UREA en régimen húmedo, donde el lavado representó el 71% de las pérdidas. Si bien en dicho régimen de humedad el DMPP redujo el lavado en comparación a UREA, las pérdidas totales de N no se diferenciaron entre tratamientos de fertilización.

Al igual que en el suelo anterior, en el suelo franco-arenoso el uso de DMPP resultó en un aumento de las pérdidas por volatilización ($P < 0,001$) independientemente del régimen de precipitación respecto a UREA (Figura 2). Sin embargo, dado que en este suelo las pérdidas por lavado representaron la mayor parte de las pérdidas totales (entre 49 y 75%) y que el DMPP redujo dichas pérdidas respecto a UREA ($P < 0,001$), la mayor volatilización fue compensada y las pérdidas totales de N del fertilizante se redujeron 22% en el tratamiento con DMPP independientemente del régimen de humedad, respecto a UREA.

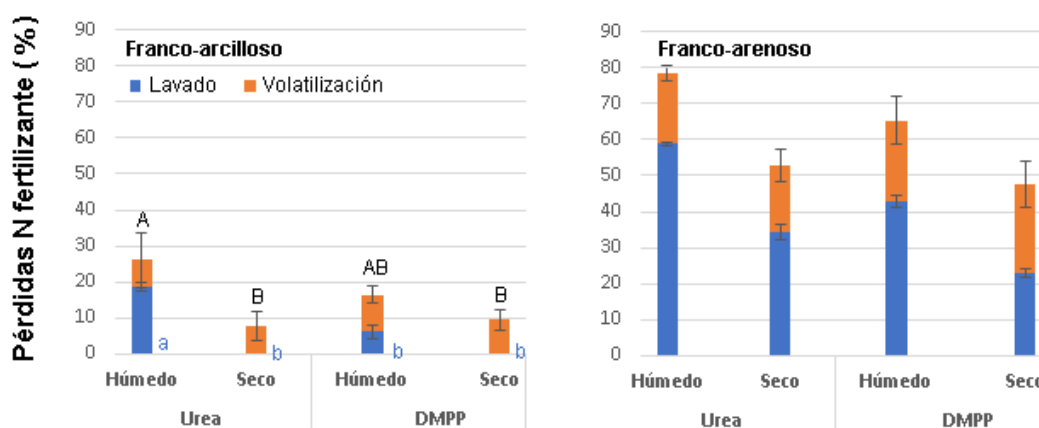


Figura 2. Pérdidas de nitrógeno (N) desde el fertilizante en diferentes tratamientos de fertilización y regímenes de precipitación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (minúsculas: lavado; mayúsculas: totales) dentro de cada suelo ($P < 0,05$) en el caso de que haya interacción entre tratamientos. Otras diferencias estadísticas se discuten en el texto.

La proporción de N perdida por lavado varió entre 0 y 58%, dependiendo del tipo de suelo y régimen de humedad. Este rango de valores demuestra, como fuera establecido por Wang *et al.* (2019), que no es correcto el criterio establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático para estimar el N perdido por lavado como una proporción estable (30%) del N aplicado (IPCC, 2006). Sin embargo, es necesario destacar

que el alcance de los resultados presentados en nuestro estudio se limita a la comparación del potencial de pérdida de N de las diferentes fuentes de fertilización, dado que la magnitud de dichas pérdidas no es extrapolable a las condiciones de campo. En este sentido, la temperatura estable, la ausencia de cultivos, la aplicación regular de una lámina de agua constante y la profundidad limitada de la columna de suelo son los principales factores que difieren de las condiciones reales.

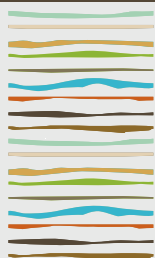
CONCLUSIONES

La capacidad de DMPP para reducir pérdidas por lavado respecto a UREA sin el inhibidor está altamente influenciada por las condiciones edafoclimáticas. En suelos con alto contenido de arcillas (alta CIC y baja conductividad hidráulica) y temperatura media de 25 °C, el uso de DMPP se justifica en ambientes de elevadas precipitaciones, donde la reducción en la cantidad de N_{inorg} lavado compensa el incremento en las pérdidas por volatilización de NH_3 . En suelos con dichas características, pero con bajas precipitaciones, no se observa un efecto significativo de DMPP sobre las pérdidas por lavado, aunque resulta en un incremento de la volatilización. Por otra parte, en suelos con alto contenido de arena (baja CIC y alta conductividad hidráulica) el uso de DMPP siempre resulta en reducciones totales de las pérdidas de N del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Boy-Roura, M, KC Cameron, & HJ Di. 2016. Identification of nitrate leaching loss indicators through regression methods based on a meta-analysis of lysimeter studies. *Environ. Sci. Pollution Res.* 23:3671-3680.
- Bremner, JM & DR Keeney. 1965. Steam distillation method for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta* 32:485-495.
- Díez-López, JA; P Hernaiz-Algarra; MA Sánchez & IC Martín. 2008. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. *Span. J. Agr. Res.* 294-303.
- Gaines, TP & ST Gaines. 1994. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25:2561-2570.
- IPCC, R. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the national greenhouse gas inventories program. https://www.ipcc-tfi.iges.or.jp/meeting/pdfiles/Washington_Report.pdf. Ultimo acceso: 20 de agosto de 2022.
- Kim, DG; S Sagar & P Roudier. 2012. The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 93:51-64.
- Lam, SK; H Suter; AR Mosier & D Chen. 2017. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N_2O emission: a double-edged sword? *Glob. Chang. Biol.* 23:485-489.
- Omara, P; L Aula; F Oyebiyi & WR Raun. 2019. World cereal nitrogen use efficiency trends: review and current knowledge. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 2:1-8.
- Peng, X; B Maharjan; C Yu; A Su; V Jin & RB Ferguson. 2015. A laboratory evaluation of ammonia volatilization and nitrate leaching following nitrogen fertilizer application on a coarse-textured soil. *Agron. J.* 107:871-879.
- Robertson, GP & PM Vitousek. 2009. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 34:97-125.
- Timilsena, YP; R Adhikari; P Casey; T Muster; H Gill & B Adhikari. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *J. Sci. Food Agric.* 95:1131-1142.
- Wang, Y; H Ying; Y Yin; H Zheng & Z Cui. 2019. Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 657:96-102.
- Yang, M; Y Fang; D Sun & Y Shi. 2016. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. *Sci. Rep.* 6:1-10.





DIAGNOSTICO DE FERTILIZACION FOSFORADA EN PASTURAS DE FESTUCA ALTA (*FESTUCA ARUNDINACEA SCHREB.*)

Wyngaard, N.^{1,2,*}, C. Crespo^{1,2}, P.M. Errecart², P.L. Cicore², C.I. Borrajo³, F.E. Fernandez⁴, G.D. Berone^{1,2}, N.I. Reussi Calvo^{1,2}, H.R. Sainz Rozas^{1,2}, M.A. Marino¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata;

² Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (CONICET-INTA Balcarce);

³ INTA-Cuenca del Salado;

⁴ Universidad Nacional de la Plata;

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

RESUMEN

La festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) es una pastura empleada a nivel mundial por su adaptabilidad a diferentes ambientes, cuya producción forrajera es limitada en ambientes con deficiencias de fósforo (P). El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de diferentes indicadores edáficos para predecir la respuesta en producción de materia seca de pasturas de festuca alta a la fertilización fosforada. Se llevaron a cabo ensayos a campo en tres localidades y dos años, donde se evaluaron dos tratamientos: T₀ (testigo sin aplicación de P) y T_P (100 kg P ha⁻¹). Se tomaron muestras de suelo previo a la fertilización donde se determinaron: P total (P_T), P extractable Bray y Olsen (P_{Bray} y P_{Olsen}, respectivamente), P orgánico (P_o), carbono orgánico total (C_T), carbono y P_o en la fracción gruesa (C_{FG} y P_{FG}, respectivamente) y liberación de CO₂ desde muestras rehumedecidas (F_{CO2}). Se determinó la respuesta a la fertilización (Rta), el rendimiento relativo (RR) y el rendimiento de T₀ de la festuca alta. La determinación de P_{Bray} y P_{Olsen} no permitieron caracterizar la disponibilidad de P en pasturas de festuca alta ya implantadas. El P_T y P_o se asociaron fuertemente con RR (R² = 0,62 y 0,61, respectivamente), P_T y C_T con Rta (R² = 0,30 y 0,35, respectivamente) y C_T con el rendimiento de T₀ (R² = 0,35). Los resultados de este trabajo sugieren que, en sistemas pastoriles sobre suelos con una alta relación P_o/P_T, variables asociadas a la fracción orgánica como P_T, P_o y C_T permiten diagnosticar con mayor precisión la deficiencia de P para festuca alta respecto a las extracciones químicas tradicionales (P_{Bray} y P_{Olsen}).

Palabras clave: fósforo extractable; fósforo orgánico; fracción particulada.

INTRODUCCION

El fósforo (P) es un macronutriente esencial cuya disponibilidad en los suelos frecuentemente limita la producción vegetal. La disponibilidad de P puede estimarse mediante el P extractable por los métodos de Bray y Kurtz (1945) (P_{Bray}) u Olsen et al. (1954) (P_{Olsen}), siendo este último utilizado generalmente en suelos calcáreos. Los suelos del sudeste de la región pampeana presentan bajos valores de P_{Bray} nativos (< 10 mg kg⁻¹) (García et al., 2015), por lo que es común observar respuesta a la fertilización con P. Sin embargo, P_{Bray} y P_{Olsen} solo consideran el aporte a la nutrición vegetal de la fracción inorgánica de P (P_i), que es el proceso dominante en la mayor parte de los suelos agrícolas, pero no en aquellos bajos pasturas perennes (Bunemann et al., 2012). Por tal motivo, surge la necesidad de evaluar indicadores de la disponibilidad de P que estimen el aporte del P orgánico (P_o) a la nutrición de las pasturas.

Dado que no todos los componentes de orgánicos del suelo poseen la misma labilidad, es común separar-

los físicamente en fracciones con distinta velocidad de ciclado: la fracción gruesa (FG) y la asociada a los minerales (Cambardella y Elliot, 1992). El P_o en la FG (P_{FG}) es más sensible al manejo que el P_o en el total del suelo y ha sido propuesto como un indicador del potencial de mineralización de P en los suelos (Wyngaard et al., 2016). Otro indicador de labilidad de fracciones orgánicas es la tasa de respiración producida tras el re-humedecimiento de muestras secas (F_{CO2}) (Franzluebbers et al., 2000). Sin embargo, F_{CO2} nunca ha sido evaluado como un indicador de la disponibilidad de P para pasturas.

Entre las especies templadas perennes, la festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) es utilizada a nivel mundial por su adaptabilidad a diferentes ambientes (Tallowin et al., 1995), y su producción forrajera es afectada por la época del año, el P disponible y la fertilización (Reinbott & Blevins, 1997). El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de diferentes indicadores (P_{Bray} , P_{Olsen} , P_o , P_{FG} y F_{CO2}) para predecir la respuesta (producción forrajera) a la fertilización fosforada de pasturas de festuca alta implantadas (>2 años), creciendo en ambientes con limitaciones para la agricultura y con baja disponibilidad edáfica de P.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron cinco ensayos emplazados sobre pasturas establecidas en ambientes ganaderos de la Provincia de Buenos Aires, luego de realizar un corte de homogeneización y lograr una cubierta de 5 cm de altura de remanente. Los ensayos se repitieron en las primaveras de 2020 en Balcarce (1/9 – 23/10) y Rauch (3/9 – 3/11), y de 2021 en Balcarce (29/7 - 1/10), Rauch (4/8 – 5/10) y La Plata (12/8 – 5/10). En ninguno de los ensayos se observaron deficiencias hídricas durante el desarrollo del estudio. El diseño experimental de los ensayos fue en bloques completos aleatorizados con tres bloques y dos tratamientos: T_o (testigo sin aplicación de P) y T_p (100 kg P ha⁻¹). En ambos tratamientos se aplicó N (600 kg ha⁻¹) en forma de urea (46-0-0), mientras que el P como superfosfato triple (0-46-0). Ambos se aplicaron al voleo de manera superficial y al inicio de cada período experimental. El tamaño de cada unidad experimental fue de 1.5 m x4 m.

Se determinó la acumulación de forraje luego de 450 grados-día (aproximadamente 45 días) del corte de homogeneización, recolectando la biomasa aérea en un área de 0,1 m² a una altura aproximada de 5 cm sobre el nivel del suelo para simular la cosecha de los animales en pastoreo. El material se secó hasta peso constante y se pesó para establecer el rendimiento de forraje (kg ha⁻¹). La respuesta (Rta) a la aplicación de P se calculó como la diferencia de rendimiento del tratamiento T_p menos el de T_o . Por otra parte, el rendimiento relativo (RR) se determinó para cada sitio, estación y bloque como el cociente entre el rendimiento T_o dividido el promedio del rendimiento de T_p entre bloques.

Al inicio del ensayo se tomaron muestras compuestas de suelo (0 a 20 cm) de cada una de las unidades experimentales. Las muestras se secaron, molieron y tamizaron por un tamiz de 2 mm de apertura, y se utilizaron para la determinación de: P total (P_T) (Sommers & Nelson, 1972), P_{Bray} (Bray & Kurtz, 1945), P_{Olsen} (Olsen et al., 1954), P_o (Saunders & Williams, 1955), carbono orgánico total (C_T) (Schlichting et al., 1995) y F_{CO2} (Franzluebbers et al., 2000). Las muestras también se fraccionaron físicamente para obtener la FG según Salas et al. (2003), pero utilizando NaCl 5 mol L⁻¹ como dispersante. En la FG se determinó el contenido de C (C_{FG}) (Schlichting et al., 1995) y P_{FG} (Saunders & Williams, 1955). Con dicha información se calculó la relación entre C_T y P_o en el suelo sin fraccionar y fraccionado ($C_T:P_o$ y $C_{FG}:P_{FG}$, respectivamente).

Se establecieron análisis de correlación entre los predictores propuestos (P_T , P_{Bray} , P_{Olsen} , P_o , C_T , $C_T:P_o$, C_{FG} , P_{FG} , $C_{FG}:P_{FG}$ y F_{CO2}) entre sí y con las variables de cultivo (respuesta, RR y rendimiento T_o). En aquellos casos donde se observaron correlaciones significativas, se evaluaron modelos lineales de regresión simple para relacionar dichas variables. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de las variables edáficas determinadas en el total del suelo (sin fraccionar) se encontraron dentro de los valores medios establecidos por otros trabajos para suelos de la región pampeana (García et al., 2015; Bassi et al., 2021; Wyngaard et al., 2022) (Tabla 1). Sin embargo, los valores para la FG (Tabla 1) fueron superiores a aquellos reportados por otros estudios regionales (Wyngaard et al., 2013; Applehans et al., 2020),



lo que es esperable dado que en dichos estudios se trabajó sobre suelos cultivados, y no sobre suelos bajo pasturas.

Tabla 1. Variables edáficas propuestas como potenciales estimadores de la respuesta de la festuca a fertilización fosfatada en diferentes sitios (promedio \pm desvío estándar).

Sitio	P _T	P _{Bray}	P _{Olsen}	P _o	P _{FG}	C _T	C _T :P _o	C _{FG}	C _{FG} :P _{FG}	F _{CO2}
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
Balcarce	381 ± 29	8,6 $\pm 2,1$	11,3 $\pm 2,2$	292 ± 14	58,5 \pm 3,0	31,6 \pm 3,0	108,2 \pm 8,0	13,5 \pm 0,3	232 ± 16	400 ± 27
Rauch	230 ± 4	8,0 $\pm 1,2$	9,5 $\pm 0,3$	170 ± 12	38,4 \pm 7,8	17,42 \pm 0,1	103,0 \pm 7,5	7,3 $\pm 0,3$	198 ± 32	294 ± 68
La Plata	432 ± 19	5,8 $\pm 0,1$	10,9 $\pm 0,6$	418 ± 12	23,9 \pm 5,0	30,18 \pm 1,3	72,4 \pm 5,1	5,3 $\pm 0,7$	226 ± 16	287 ± 10

El P_o demostró una fuerte asociación con el P_T, representando en promedio el 82% del P_T, lo que es habitual en suelos no cultivados de la zona (García *et al.*, 2015) (Tabla 2). Tanto P_T como P_o presentaron una alta correlación con C_T, y dicha relación se mantuvo al analizar la FG. Otro estimador de la fracción orgánica lábil, el F_{CO2}, se correlacionó fuertemente con C_{FG}, como fuera descripto por Bassi *et al.* (2021). Al igual que en el presente estudio, Sainju *et al.* (2021) no observaron asociación entre F_{CO2} y P_o. Sin embargo, la estrecha relación observada entre F_{CO2} y P_{FG} (Tabla 2) no ha sido reportada en la bibliografía y promueve el estudio de F_{CO2} como indicador de disponibilidad de P desde la fracción orgánica, dada la relación que a su vez existe entre P_{FG} y la mineralización de P_o (Wyngaard *et al.*, 2016).

Respecto a los indicadores de disponibilidad de P basados en extractantes químicos, P_{Bray} a diferencia de P_{Olsen}, no es un indicador recomendado en suelos cuyo pH es superior a 7,40. Sin embargo, aunque el 50% de las unidades experimentales tuvieron valores de acidez activa por encima de dicho umbral (rango= 5,6 a 9,3, datos no mostrados), se observó una alta correlación entre P_{Bray} y P_{Olsen} (r= 0,85, Tabla 2).

La producción forrajera en los tratamientos sin fertilización con P está dentro de los valores descriptos para la región por Mattera *et al.* (2017) (Tabla 3). Aunque Rta alcanzó valores de hasta 1869 kg ha⁻¹ (+ 82% respecto al testigo), la diferencia entre los tratamientos con y sin aplicación de P no fue estadísticamente significativa en ninguno de los sitios debido a la alta variabilidad observada. En este sentido, el coeficiente de variación para la respuesta en producción de materia seca a la fertilización con P fue en promedio de 89% entre repeticiones de un mismo ensayo. En ciertos casos el RR tomó valores por encima de 100%, dado que los tratamientos testigo tuvieron un rendimiento superior a aquel con la dosis máxima de P aplicada (Tabla 3).

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre posibles indicadores de disponibilidad de P.

	P _T	P _{Bray}	P _{Olsen}	P _o	P _{FG}	C _T	C _T :P _o	C _{FG}	C _{FG} :P _{FG}	F _{CO2}
P _T	1									
P _{Bray}	-0,14	1								
P _{Olsen}	0,19	0,85*	1							
P _o	0,92*	-0,26	0,08	1						
P _{FG}	0,08	0,41	0,48	-0,21	1					
C _T	0,93*	-0,07	0,24	0,77*	0,4	1				
C _T :P _o	-0,27	0,26	0,15	-0,59*	0,83*	0,05	1			
C _{FG}	0,11	0,64	0,61	-0,18	0,92*	0,4	0,73*	1		
C _{FG} :P _{FG}	-0,1	0,52	0,26	-0,1	-0,16	-0,15	-0,17	0,21	1	
F _{CO2}	0,17	0,31	0,48	-0,03	0,88*	0,43	0,56	0,81*	-0,09	1

* significativo a un valor-p <0,005



Tabla 3. Producción forrajera de festuca alta y su respuesta y rendimiento relativo (RR) ante la fertilización fosforada en diferentes sitios y estaciones de crecimiento.

		Rendimiento T_0 kg ha ⁻¹	RR %
Balcarce	2020	5153 ± 1685	86 ± 27
	2021	6672 ± 1998	117 ± 24
Rauch	2020	4855 ± 815	76 ± 5
	2021	3125 ± 855	62 ± 7
La Plata	2021	5547 ± 1705	120 ± 49

Al evaluar los diferentes índices basados en extracciones químicas, se observó una correlación significativa entre P_{Bray} y Rta (Tabla 4). Sin embargo, la tendencia de dicha correlación no coincide con lo esperado para un indicador de disponibilidad de P, dado que la Rta a la fertilización con P debería disminuir al aumentar el valor de P_{Bray} en el suelo (Beegle, 2005). De esta manera, los índices basados en extracciones químicas no demuestran capacidad para predecir la respuesta de la festuca a la disponibilidad de P y a la fertilización. Si bien Hamel y Heckman (2006) observaron una buena capacidad predictiva de P_{Bray} sobre RR al fertilizar pasturas de festuca alta durante su implantación, nuestros resultados, obtenidos en pasturas implantadas, sugieren que los índices basados en extracciones químicas no demuestran capacidad para predecir la respuesta de la festuca a la disponibilidad de P y a la fertilización.

Tabla 4. Correlación entre variables edáficas y la Rta, RR y rendimiento de T_0 (Rto T_0)

	P_T	P_{Bray}	P_{Olsen}	C_T	P_o	C:P	C_{FG}	P_{FG}	$C_{\text{FG}} \cdot P_{\text{FG}}$	F_{CO_2}
Rta	-0,55*	0,45	0,06	-0,59*	-0,45	0,01	-0,15	-0,04	-0,26	0,01
RR	0,79*	-0,60*	-0,04	0,54	0,79*	-0,33	-0,07	-0,24	0,37	-0,16
Rto T_0	0,51	-0,36	-0,10	0,59*	0,34	0,16	0,26	0,12	0,39	-0,04

* significativo $p < 0,05$

Respecto a los indicadores de disponibilidad de P desde la fracción orgánica propuestos, P_T y P_o demostraron una significativa capacidad de predicción del RR (Tabla 4; Figura 1). Además, P_T tuvo una moderada capacidad de predecir la Rta (Tabla 4; Figura 1). Por otra parte, C_T presentó una moderada capacidad de predecir Rta y el rendimiento de T_0 (Tabla 4; Figura 1). De esta manera, solo P_T , P_o y C_T demostraron capacidad para ser utilizados en el diagnóstico de la disponibilidad de P para las pasturas de festuca. La determinación de C_{FG} y P_{FG} , si bien estima fracciones orgánicas más lábiles que la cuantificación en el suelo sin fraccionar, no aportó al diagnóstico. A diferencia de esta última observación, Appelhans *et al.* (2020, 2021) observaron que P_{FG} se asociaba a la respuesta a la fertilización con P de los cultivos de soja y maíz.

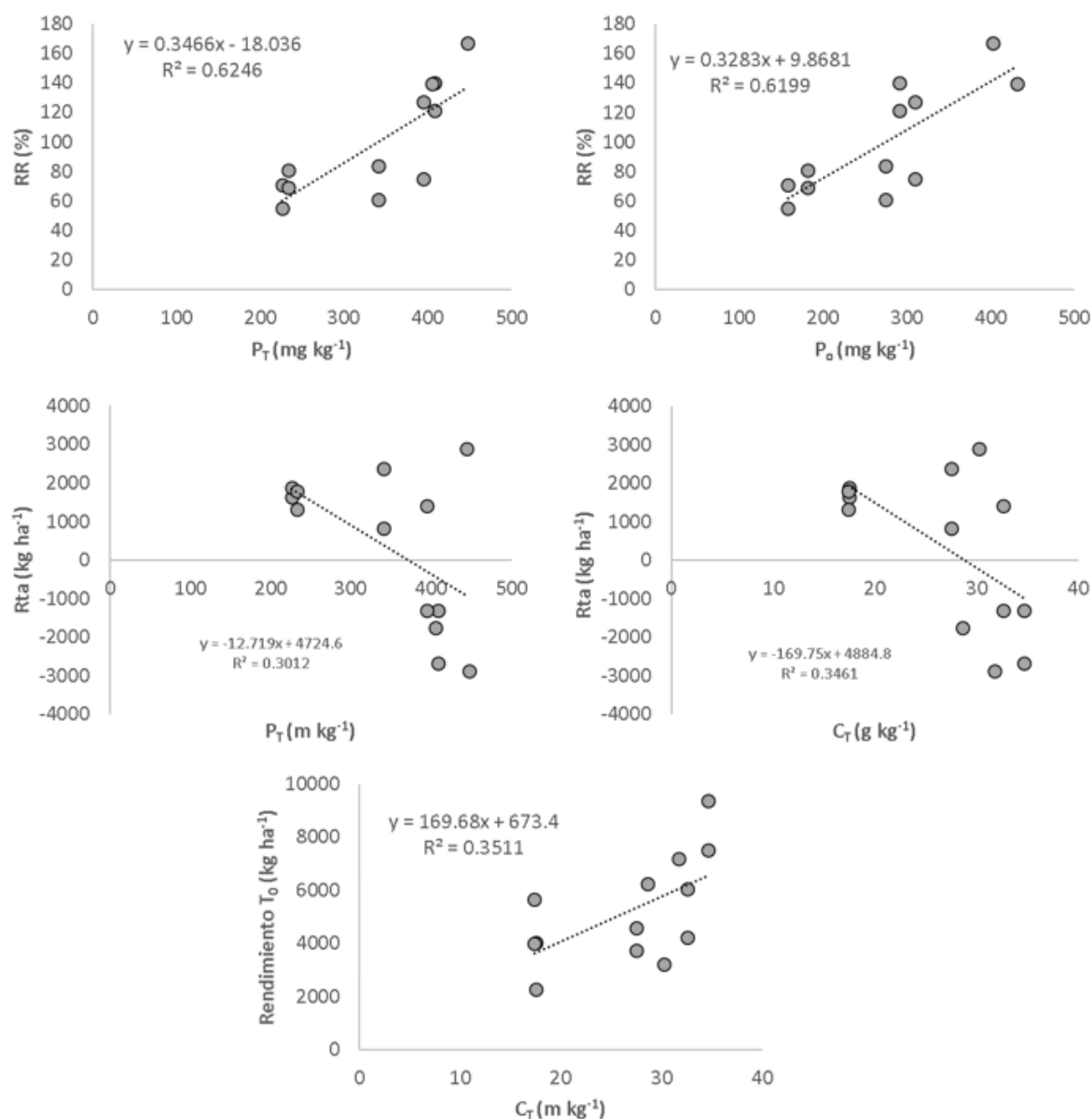


Figura 1. Asociación entre variables edáficas seleccionadas y el RR, Rta y rendimiento de T_0 (Rend T_0) en pasturas de festuca alta.

CONCLUSIONES

Las extracciones químicas de fracciones minerales lábiles de P no fueron capaces de predecir la disponibilidad de P en pasturas de festuca implantadas, donde la mineralización de P desde la fracción orgánica es el principal proceso de aporte de este nutriente para las plantas. De esta manera, otros indicadores que cuantifican o estiman dicha fracción (P_T , P_o y C_T) presentaron una moderada capacidad para predecir el rendimiento relativo, la respuesta a la fertilización con P o el rendimiento en suelos no fertilizados.

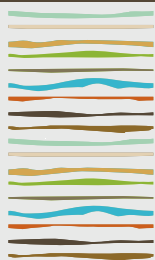
BIBLIOGRAFIA

- Appelhans, SC, PA Barbagelata, RJM Melchiori & F Gutierrez Boem. 2020. Assessing soil P fractions changes with long-term phosphorus fertilization related to crop yield of soybean and maize. *Soil Use Manag.* 36:524-535.
- Appelhans, SC, PA Barbagelata, RJ Melchiori, FH Gutierrez Boem & OP Caviglia. 2021. Is the lack of response of maize to fertilization in soils with low Bray1-P related to labile organic phosphorus? *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 21:612-621.
- Bassi, L, S Tourn, N Wyngaard, GV García, CC Crespo, W Carciochi, A Pizzuto, C Rivero, HR Sainz Rozas, GA Studdert. 2021. Flush



- de CO₂ como indicador de salud edáfica. XI Congreso sobre uso y manejo del suelo. Bahía Blanca. Diciembre 2021.
- Beegle, D. 2005. Assessing soil phosphorus for crop production by soil testing. En: Sims, T & AN Sharpley (Eds.). Phosphorus: Agriculture and the environment. Phosphorus: agriculture and the environment. American Society of Agronomy. Pp. 123-143.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-46.
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- 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, FO, LI Picone & IA Ciampitti. 2015. Fósforo. En: Echeverría, HE & FO García (Eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 229-264.
- Hamel, SC & JR Heckman. 2006. Predicting need for phosphorus fertilizer by soil testing during seeding of cool season grasses. *Hort. Sci.* 41:1690-1697.
- Mattera J, A Ré, J Otondo, M Bailleres, O Bertín, P Barletta, E Pacente, D Méndez, A Mayo & E Tranier Perez. 2017. Avances en Festuca Alta: Red de evaluación de INTA de Festuca Alta. Ediciones INTA, Pergamino, Argentina. 15 p.
- Olsen, SR, FS Watanabe, HR Cosper, WE Larson & LB Nelson. 1954. Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. *Soil Sci.* 78:141-152.
- Reinbott, TM & DG Blevins. 1997. Phosphorus and magnesium fertilization interaction with soil phosphorus: tall fescue yield and mineral elements. *J. Produc. Agr.* 10:260-265.
- R Core Team, 2018. R: a language and environment for statistical computing. En: project.org/, v. 3.5.2. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Salas, A, E Elliott, D Westfall, C Cole & J Six. 2003. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 181-189.
- Sainju, UM, D Liptzin & SM Dangi. 2021. Carbon dioxide flush as a soil health indicator related to soil properties and crop yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 85:1679-1697.
- Schlichting, E, HP Blume & K Stahr. 1995. Bodenkundliches Praktikum. Pareys Studentexte 81, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Alemania. 295 p.
- Sommers, L & D Nelson. 1972. Determination of total phosphorus in soils: A rapid perchloric acid digestion procedure. *Soil Science Society of America Journal*, 36:902-904.
- Tallowin, J, S Brookman & G Santos. 1995. Leaf growth and utilization in four grass species under steady state continuous grazing. *J. Agric. Sci.* 124:403-417.
- Wyngaard, N, A Vidaurreta, HE Echeverría & LI Picone. 2013. Dynamics of phosphorus and carbon in the soil particulate fraction under different management practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77: 1584-1590.
- Wyngaard, N, M Cabrera, K Jarosh & E Bunemann. 2016. Phosphorus in the coarse soil fraction is related to soil organic phosphorus mineralization measured by isotopic dilution. *Soil Biol. Biochem.* 96: 107-118.
- Wyngaard, N, C Crespo, H Angelini, M Eyherabide, G Larrea, NI Reussi Calvo, W Carciochi & H Sainz Rozas. 2022. The effect of agriculture on topsoil carbon stocks is controlled by land use, climate, and soil properties in the Argentinean Pampas. *Catena* 212, 106126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106126>





XXVIII
Congreso
Argentino
de la Ciencia
del Suelo
Buenos Aires 2022



Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente

QUALIDADE TECNOLÓGICA E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FONTES NITROGENADAS

Xavier, M.F.N.^{1*}, R.A. Flores², R.T. do Carmo¹, N.P.R. Reges¹, M.L. Lima³ e F.S.R. de Lima¹

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

²Professor da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³Professor do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Roraima, Amajari, Roraima, Brasil;

*Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74.690-900, maxuel.xavier@discente.ufg.br

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma alternativa para o setor de biocombustíveis, por causa do grande potencial de produção de etanol e subprodutos. O adequado manejo nutricional contendo nitrogênio e silício surge como alternativa viável e sustentável para a produção da soqueira de cana-de-açúcar. O presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de colmos e da qualidade tecnológica da soqueira da cana-de-açúcar, em função da aplicação foliar de silício e fontes nitrogenadas. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2021/2022, após a brotação da segunda soqueira, em área comercial de cana-de-açúcar pertencente a Usina Goiasa®, no município de Bom Jesus de Goiás, GO, Brasil. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitrato associado ao DMPA) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹), divididas em três pulverizações, com quatro repetições. A fonte de silício aplicada foi o silicato de potássio, onde as concentrações potássicas nas soluções foram equilibradas em todos os tratamentos. Foram avaliados os teores de sólidos solúveis do caldo (°Brix), açúcares totais recuperáveis (ATR), produção de açúcar (TAH) e a produção de colmos (TCH). Os teores de °Brix e ATR responderam à aplicação de Si, independentemente da fonte de N aplicada no solo. Quando aplicado o Nitrato como fonte nitrogenada houve maior produção de TAH e TCH, independentemente da dose de Si. A aplicação de Si promoveu incrementos na produção de colmos e de açúcar, em ambas as fontes nitrogenadas avaliadas. De modo geral, a aplicação de Si a partir de 450 até 900 g ha⁻¹ de Si são viáveis agronomicamente para a produção da soqueira da cana-de-açúcar, cabendo um estudo de retorno econômico para a avaliação da melhor dose de custo/benefício.

Palavras chave: *Saccharum officinarum*, açúcar teórico recuperável, soqueira de cana-de-açúcar, manejo nutricional.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma alternativa para o setor de biocombustíveis, por causa do grande potencial de produção de etanol e subprodutos. Além disso, a agroindústria sucroalcooleira nacional diferente das observadas nos outros países, trabalha numa conjunção positiva e sustentável (CONAB, 2021) e apresenta crescimentos substanciais na sua produção nos últimos anos, principalmente em áreas de Cerrado (Scarpere et al., 2016).

O Si é um elemento benéfico, importante para o crescimento e desenvolvimento da planta, no entanto sua falta não é classificada como um fator limitante (Korndörfer & Souza, 2018). Os efeitos benéficos que o Si proporciona as plantas são tanto estruturais como de defesa da planta, tais como redução ao acamamento;



modulação da arquitetura das plantas (folhas mais eretas, reduzindo o autossombreamento); aumenta a proteção contra pragas e doenças (Epstein, 1994; Marschner, 2011).

O nitrogênio (N) desempenha importância no metabolismo das plantas e nos ciclos biogeoquímicos, devido a sua alta versatilidade nas reações de oxirredução e sua presença em vários estados da oxidação (Epstein & Bloom, 2005). É constituinte estrutural de nucleotídeos, proteínas, lipídios e de alguns sacarídeos, além disso é um elemento regulatório de várias reações metabólicas (Façanha et al., 2013).

Bem como, o Si influencia de forma positiva nos aspectos nutricionais do N, sendo eles assimilação, absorção e remobilização (Haddad et al., 2018; Gou et al., 2020). O Si pode proporcionar o crescimento mais eficiente das plantas expostas a altas doses de N, pelo efeito antioxidante do Si, mitigando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), melhorando a eficiência hídrica e fotossintética (Viciedo et al., 2019; Campos et al., 2020).

Nesse sentido, tem-se a importância do manejo sustentável de produção da cana-de-açúcar, podendo o mesmo estar relacionado com um adequado manejo da nutrição mineral das plantas, visando otimizar o uso dos fertilizantes nitrogenados e inserir o elemento benéfico silício no pacote tecnológico. Com isso, objetivou-se avaliar a qualidade tecnológica e produtividade de cana-de-açúcar, em função da aplicação de silício e fontes nitrogenadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2021/2022, após a brotação da segunda soqueira, em área comercial de cana-de-açúcar pertencente a Usina Goiás®, no município de Bom Jesus de Goiás, GO, Brasil (18°08'32,7"S e 49°36'21,8"W, 605 m de altitude). O clima da região é caracterizado como quente e úmido, do tipo Aw (Köppen & Geiger, 1928). O solo presente neste estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos et al., 2018), de textura muito argilosa (argila: 620 g kg⁻¹; silte: 130 g kg⁻¹; areia: 250 g kg⁻¹). O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitrato + DMPSA) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹), com quatro repetições. As doses de Si foram divididas em três pulverizações, durante o ciclo da cultura. Os cultivos em faixa que caracterizam os tratamentos eram de 27 m de largura e 45 m de comprimento, totalizando 1.125 m² e uma área total do experimento de 1,22 ha, sendo as quatro repetições dentro de cada faixa contendo o tratamento, com quatro pontos dentro destas áreas.

A adubação nitrogenada foi de 120 kg ha⁻¹, sendo as fontes ureia (45% N) e Nitrato® (nitrato de amônio e cálcio: 27% N, 4% Ca e 2% Mg) + DMPSA/ENTEC® (inibidor de nitrificação). A fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio® (164,4 g L⁻¹ de K₂O e 137,0 g L⁻¹ de Si) estabilizado com 10% de Sorbitol®. A dose do aditivo DMPSA® foi de 3,1 L t⁻¹ de fertilizante. Em cada tratamento contendo Si, as concentrações de K na forma de cloreto de potássio (KCl) P.A., foram balanceadas para eliminar o efeito desse nutriente na solução. Aos 40 dias após o corte (DAC), foi realizada a primeira aplicação dos tratamentos de Si, após isso, foram realizadas mais duas aplicações com intervalo de 30 dias. O volume da calda aplicada foi de 150 L ha⁻¹ e as pulverizações foram realizadas com um pulverizador autopropelido da marca John Deere®, modelo M4025, contendo uma barra de 27m.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a CTC-4. A colheita da área (primeira soqueira) foi realizada no dia 08/10/2021 e logo após 40 dias foi implantado o presente estudo. A recomendação para fertilização mineral do solo foi realizada segundo Sousa & Lobato (2004), com 150 kg ha⁻¹ de K₂O e Rein et al. (2015) com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados manualmente com as fontes KCl (60% K₂O) e CROPLEX (12% N, 40% P₂O₅, 25% S e 1% Zn), respectivamente.

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada para avaliação da produção de colmos (TCH), açúcar (TAH) e a qualidade tecnológica da cultura. Para isso, foi considerada a área útil de cada parcela (três linhas centrais de dois metros), a qual após o corte foi separado os colmos das folhas.

Durante a colheita da segunda soqueira da cana-de-açúcar, foram coletadas um feixe de plantas contendo



dez colmos de cana industrializáveis da parte central, de aproximadamente 1 m. A análise tecnológica da cana foi realizada segundo os procedimentos propostos por Consecana (2006), para os teores de sólidos solúveis do caldo (°Brix) e açúcares totais recuperáveis (ATR).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Para os dados significativos foi realizado o estudo da regressão linear e polinomial. A escolha do modelo de regressão foi baseada na significância dos coeficientes de regressão e no maior valor do coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que houve efeito das fontes nitrogenadas para as variáveis ATR, TAH e TCH, conforme pode ser observado na Tabela 1. Os melhores resultados foram obtidos com o uso do Nitrato, independentemente da dose de Si aplicada. Quando se avalia o efeito da pulverização foliar contendo silício, todos os parâmetros analisados foram afetados, independentemente da fonte nitrogenada aplicada (Tabela 1). O °Brix e ATR aumentaram com o maior fornecimento de Si para as plantas, sendo os maiores valores obtidos com o uso das maiores doses aplicadas (Figuras 1a e 1b).

Mediante desdobramento das interações, tem-se resultados semelhantes para TAH e TCH, pois em ambas as médias utilizando a fonte nitrogenada Nitrato sobressai em comparação a Ureia, a partir da dose de 450 g ha⁻¹ de Si. Na TAH, tem-se ajustes quadráticos positivos para ambas fontes de nitrogenadas, tanto para o Nitrato (16,27 t ha⁻¹ na dose de 1100 g ha⁻¹ de Si), como para a Ureia (14,91 t ha⁻¹ na dose de 842,86 g ha⁻¹ de Si) (Figura 1c).

Já para o TCH, houve também de forma correlata ao TAH ajustes quadráticos positivos. Para as fontes de nitrogênio as produtividades máximas foram de 95,11 e 91,81 t ha⁻¹ nas doses de 970,00 e 912,50 g ha⁻¹ de Si, respectivamente para o Nitrato e a Ureia (Figura 1d). Segundo Datnoff et al. (2001), os incrementos na produção podem variar de 11 a 20% na cana-soca, mas no presente estudo a produtividade obtida com a aplicação de 450 g ha⁻¹ de Si (93,69 t ha⁻¹) foi de aproximadamente 94% superior, quando comparada à média obtida sem a aplicação de Si (48,42 t ha⁻¹).



Tabela 1. Qualidade tecnológica e produtividade da cana-de-açúcar, em função das fontes de nitrogênio e aplicação foliar de Si. Bom Jesus de Goiás, GO. 2021/2022.

Tratamento	°Brix	ATR	TAH	TCH
Fonte de N (F)	----- %-----	-----kg t ¹ -----	-----t ha ¹ ----- -----	
Nitratop	23,06	168,73 b	13,58 a	80,42 a
Ureia	23,52	173,24 a	12,11 b	70,36 b
F	3,29 ^{ns}	19,37 ^{**}	116,38 ^{**}	298,21 ^{**}
Doses Si (Si) (g ha ⁻¹)				
0	23,01 b	166,93 c	8,10 e	48,42 e
450	22,60 b	164,85 c	15,45 a	93,69 a
900	22,88 b	166,38 c	14,80 b	89,01 b
1350	23,76 a	173,05 b	14,06 c	81,22 c
1800	24,21 a	183,72 a	11,82 d	64,58 d
F	5,59 ^{**}	45,98 ^{**}	386,22 ^{**}	824,30 ^{**}
Efeitos da Interação				
F x Si	0,93 ^{ns}	2,13 ^{ns}	94,88 ^{**}	153,29 ^{**}
Média	23,29	170,98	12,84	75,39
C.V.	2,97	1,64	2,90	2,12

Em que: °Brix – teor de sólidos solúveis do caldo; ATR – açúcares totais recuperáveis; TAH – toneladas de açúcar por hectare; TCH – toneladas de colmos por hectare. ^{ns}, ^{**} e * - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey e, significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

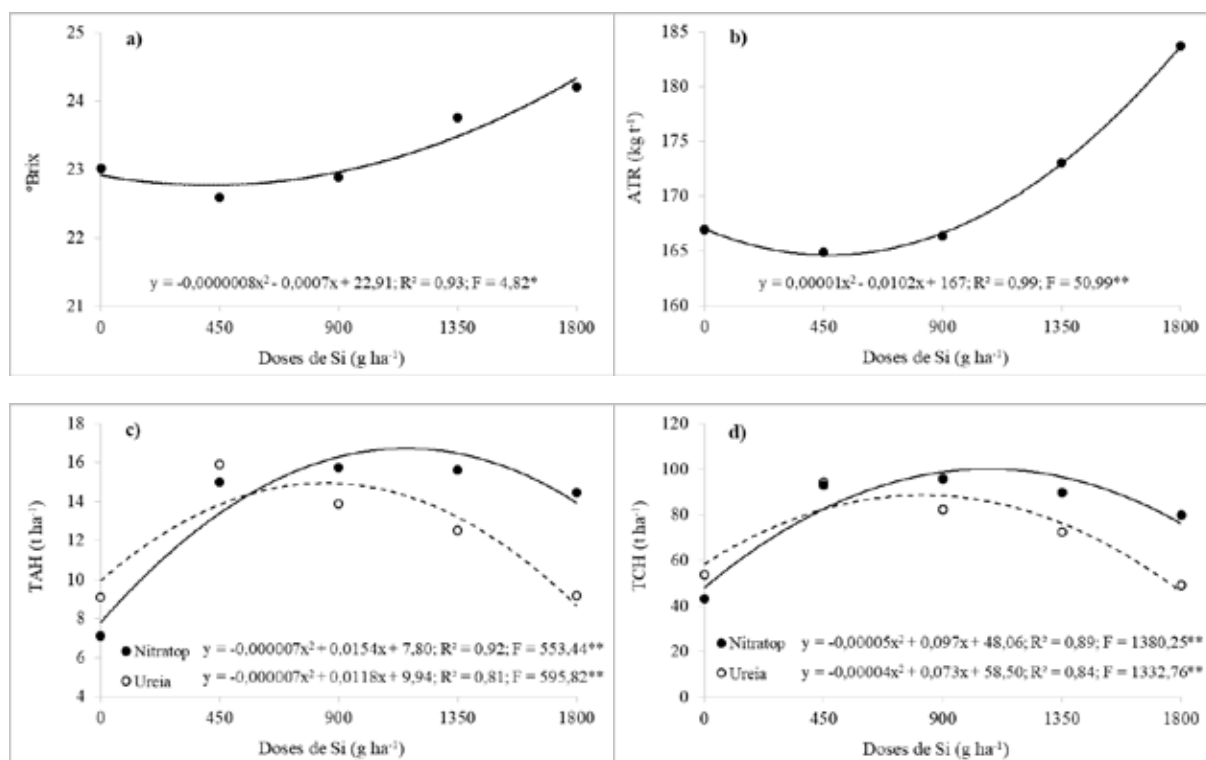


Figura 1. Qualidade tecnológica e produtividade da cana-de-açúcar, em função das fontes de nitrogênio e aplicação foliar de Si. Bom Jesus de Goiás, GO. 2021/2022.

A aplicação de Si é benéfica e proveitosa principalmente para a produtividade de várias culturas, especialmente as acumuladoras ($>10 \text{ g kg}^{-1}$) deste elemento nos seus órgãos (Shen et al., 2014), como a cana-de-açúcar (Ma et al., 2001). Sendo que essa presença favorece tanto o crescimento como a produção de biomassa (Savant et al., 1999; Brassioli et al., 2009; Yan et al., 2018).

De modo geral, para o TAH e o TCH, o Nitrato apresentou melhores resultados em relação à Ureia. Além disso, a Ureia requer aplicação de doses superiores de Si para obtenção do máximo potencial dessas variáveis, quando comparada ao Nitrato, que pode otimizar o Si aplicado e converter isso em produção. No entanto, é importante realizar uma avaliação econômica para avaliar qual fonte é mais vantajosa quando se trata da relação custo/benefício no sistema de produção da soqueira.

CONCLUSÕES

Os teores de °Brix e ATR responderam à aplicação de Si, independentemente da fonte de N aplicada no solo. Quando aplicado o Nitrato como fonte nitrogenada houve maior produção de TAH e TCH, independentemente da dose de Si. A aplicação de Si promoveu incrementos na produção de colmos e de açúcar, em ambas as fontes nitrogenadas avaliadas. Logo, a aplicação de Si a partir de 450 até 900 g ha^{-1} de Si são viáveis agronomicamente para a produção da soqueira da cana-de-açúcar, cabendo um estudo de retorno econômico para a avaliação da melhor dose de custo/benefício.

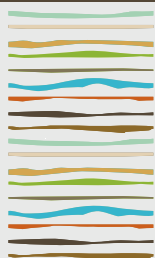
BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. Experimentação agrônômica e agroestat: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP. 396 pp.
- Brassioli, FB; RM Prado & FM Fernandes. 2009. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. *Bragantia* 68(2):381-387.
- Campos, CNS; GB Silva Júnior; RM Prado; CHO David; JP Souza Junior & PE Teodoro. 2020. Silicon mitigates ammonium toxicity in plants. *Agronomy Journal* 112(2):635-647.
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). 2021. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Brasília 8(3):1-63.
- Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo (CONSECANA-SP). Manual de instruções. 2006. 5. ed. Piracicaba: CONSECANA. 111 pp.
- Datnoff, LE; GH Snyder & GH Korndörfer. 2001. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier. 403 pp.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91(1):11-17.
- Epstein, E & AJ Bloom (Eds). 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspective. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates. 400 pp.
- Façanha, AR; LP Canellas & LB Dobbs. 2013. Nutrição mineral. In: Kerbauy, GB (Ed). *Fisiologia vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. pp. 33-50.
- Gou, T; L Yang; W Hu; X Chen; Y Zhu et al. 2020. Silicon improves the growth of cucumber under excess nitrate stress by enhancing nitrogen assimilation and chlorophyll synthesis. *Plant Physiology and Biochemistry* 152:53-61.
- Haddad, C; M Arkoun; F Jamois; A Schwarzenberg; JC Yvin et al. 2018. Silicon promotes growth of *Brassica napus* L. and delays leaf senescence induced by nitrogen starvation. *Frontiers in Plant Science* 9:516.
- Köppen, W & R Geiger. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes.
- Korndörfer, GH & SR Souza. 2018. Elementos benéficos. In: Fernandes, MS; SR Souza & LA Santos (Eds). *Nutrição mineral de plantas*. 2. ed. Viçosa: SBCS. pp. 563-598.
- Ma, JF; Y Miyake & E Takahashi. 2001. Silicon como um elemento benéfico para as plantas agrícolas. In: Datnoff, LE; GH Snyder & GH Korndörfer (Eds). *Silicon in agriculture*. Amsterdam: Elsevier Science. pp. 17-39.
- Marschner, H (Ed). 2011. *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. San Diego: Academic Press. 651 pp.
- Rein, TA; DMG Sousa; JDG Santos Júnior; R Nunes & GH Korndörfer (Eds). 2015. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no Cerrado. Planaltina: Embrapa. 12 pp.



- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumbrreras et al. (Eds). 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Savant, NK; GH Korndörfer; LE Datnoff & GH Snyder. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of Plant Nutrition* 22(12):1853-1903.
- Scarpore, FV; TAD Hernandez; ST Ruiz-Corrêa; OT Kolln; GJC Gava et al. 2016. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. *Journal of Cleaner Production* 12(5):4576-4584.
- Shen, X; X Xiao; Z Dong & Y Chen. 2014. Silicon effects on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of peanut under aluminum stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 36:3063-3069.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds). 2004. Cerrado: correção e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416 pp.
- Viciedo, DO; RM Prado; RL Toledo; LCN Santos; AC Hurtado; LLT Nedd & LC Gonzalez. 2019. Silicon supplementation alleviates ammonium toxicity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 19:413-419.
- Yan, GC; M Nikolic; MJ Ye; ZX Xiao & YC Liang. 2018. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture* 17(10):2138-2150.





CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E FISIOLÓGICAS Da CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FONTES NITROGENADAS

Xavier, M.F.N.^{1*}, R.A. Flores², R.T. do Carmo¹, R.G. de Sousa³, M.L. Lima⁴ e F.S.R. de Lima¹

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia (Solo e Água), Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

²Professor Adjunto da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

³Discente de Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil;

⁴Professor do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Roraima, Amajari, Roraima, Brasil;

*Avenida Esperança S/N, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP 74.690-900, maxuel_xavier@discente.ufg.br

RESUMO

O silício é um elemento benéfico amplamente estudado nas diferentes culturas, sendo observado incrementos no desenvolvimento, produção e rendimento das lavouras, principalmente quando estão sob condições de estresses bióticos e abióticos. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar as características biométricas e fisiológicas da soqueira de cana-de-açúcar, em função da aplicação de silício e fontes nitrogenadas. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2021/2022, após a brotação da segunda soqueira, em área comercial de cana-de-açúcar pertencente a Usina Goiasa®, no município de Bom Jesus de Goiás, GO, Brasil. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitratop com DMPSA) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹), com quatro repetições. A fonte de silício aplicada foi o silicato de potássio, onde as concentrações potássicas nas soluções foram equilibradas em todos os tratamentos. Os parâmetros biométricos avaliados foram a altura de plantas e o diâmetro do colmo, enquanto que os fisiológicos foram o índice balanceado de nitrogênio, teor de clorofila, flavonóis e antocianina. Não houve diferença entre as fontes nitrogenadas para os parâmetros fisiológicos e biométricos da soqueira. No entanto, os teores de clorofila, altura e diâmetro do colmo responderam às aplicações de Si, independentemente, da fonte nitrogenada aplicada no solo. A aplicação de dose próxima a 900 g ha⁻¹ de Si, divididas em três pulverizações, promoveram melhores teores de clorofilas, bem como o diâmetro do colmo das plantas, sugerindo ser a dose indicada para promover melhor desenvolvimento da cultura.

Palavras chave: *Saccharum officinarum*, balanço de nitrogênio, produção de soqueiras, Cerrado.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a sua produção mais que dobrou nas últimas décadas, com finalidade de atender às demandas globais de bioenergia para reduzir a dependência do petróleo bruto e atenuar as mudanças climáticas (Bordonal et al., 2018).

O silício (Si) atenua estresses bióticos e abióticos das plantas, mantendo ou elevando seu potencial produtivo (Ma & Yamaji, 2006). A maior parte absorvida de Si é depositada nas paredes celulares, espaços intercelulares e no retículo endoplasmático, na forma de sílica amorfa hidratada (SiO₂·nH₂O) (Taiz et al., 2017).

O nitrogênio (N) constitui vários compostos nas plantas, principalmente os ácidos nucleicos, aminoácidos e clorofila. Com isso, sua presença é necessária nas principais reações bioquímicas em microrganismos e plantas, logo, tornando o N um dos elementos demandados em maiores quantidades nas plantas cultivadas (Epstein & Bloom, 2005).



Nesse sentido, ressalta-se a importância de um devido manejo sustentável de produção da cana-de-açúcar, podendo o mesmo ter estreita relação com um adequado manejo da nutrição mineral das plantas, visando otimizar o uso dos fertilizantes de fonte nitrogenada, inserir o elemento benéfico silício no sistema de produção de soqueiras. Com isso, objetivou-se avaliar as características biométricas e fisiológicas da cana-de-açúcar, em função da aplicação de silício e fontes nitrogenadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2021/2022, após a brotação da segunda soqueira, em área comercial de cana-de-açúcar pertencente a Usina Goiás®, no município de Bom Jesus de Goiás, GO, Brasil (18°08'32,7"S e 49°36'21,8"W, 605 m de altitude). O clima da região é caracterizado como quente e úmido, do tipo Aw (Köppen & Geiger, 1928). O solo presente neste estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos et al., 2018), de textura muito argilosa (argila: 620 g kg⁻¹; silte: 130 g kg⁻¹; areia: 250 g kg⁻¹). O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2x5, composto por duas fontes de nitrogênio (Ureia e Nitrato + DMPA) e cinco doses de silício (0, 450, 900, 1350 e 1800 g ha⁻¹), com quatro repetições. As doses de Si foram divididas em três pulverizações, durante o ciclo da cultura. Os cultivos em faixa que caracterizam os tratamentos eram de 27 m de largura e 45 m de comprimento, totalizando 1.125 m² e uma área total do experimento de 1,22 ha, sendo as quatro repetições dentro de cada faixa contendo o tratamento, com quatro pontos dentro destas áreas.

A adubação nitrogenada foi de 120 kg ha⁻¹, sendo as fontes ureia (45% N) e Nitrato® (nitrato de amônio e cálcio: 27% N, 4% Ca e 2% Mg) + DMPA/ENTEC® (inibidor de nitrificação). A fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio® (164,4 g L⁻¹ de K₂O e 137,0 g L⁻¹ de Si) estabilizado com 10% de Sorbitol®. A dose do aditivo DMPA® foi de 3,1 L t⁻¹ de fertilizante. Em cada tratamento contendo Si, as concentrações de K na forma de cloreto de potássio (KCl) P.A., foram balanceadas para eliminar o efeito desse nutriente na solução. Aos 40 dias após o corte (DAC), foi realizada a primeira aplicação dos tratamentos de Si, após isso, foram realizadas mais duas aplicações com intervalo de 30 dias. O volume da calda aplicada foi preparado com 150 L ha⁻¹ e as pulverizações foram realizadas com o auxílio de um pulverizador autopropelido da marca John Deere®, modelo M4025, contendo uma barra de 27 m.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a CTC-4. A colheita da área (primeira soqueira) foi realizada no dia 08/10/2021 e logo após 40 dias foi implantado o presente estudo. A recomendação para fertilização mineral do solo foi realizada segundo Sousa & Lobato (2004), com 150 kg ha⁻¹ de K₂O e Rein et al. (2015) com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados manualmente com as fontes KCl (60% K₂O) e CROPLEX (12% N, 40% P₂O₅, 25% S e 1% Zn), respectivamente.

A altura do colmo foi mensurada com o auxílio de uma trena métrica, compreendendo uma medida de comprimento do colmo desde a sua inserção na superfície do solo até o colarinho da folha +1, conforme metodologia proposta por Oliveira et al. (2010). Na avaliação do diâmetro do colmo, as medições foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital, obtendo-se medidas no terço médio de cada colmo. Tais medições foram realizadas aos 150, 240 e 305 DAC.

A medição de teor de clorofila, flavonóis, antocianinas e índice balanceado de nitrogênio (NBI, valor obtido por meio da razão entre clorofila e flavonóis), foram realizadas no aparelho da marca Force A®, modelo DUAL-LEX Scientific™, em folhas +1 (Oliveira et al., 2010), tendo-se evitado leituras na nervura central da folha.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F utilizando o software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Para os dados significativos foi realizado o estudo da regressão linear e polinomial. A escolha do modelo de regressão foi baseada na significância dos coeficientes de regressão e no maior valor do coeficiente de determinação.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante efeito isolado das diferentes datas de avaliação, observa-se que influenciou significativamente os teores de NBI, clorofila, flavonóis e antocianina. Bem como, as fontes de nitrogênio não influenciaram em nenhuma destas variáveis, somente a clorofila foi influenciada pela aplicação foliar de Si (Tabela 1).

Dessa forma, tanto o NBI como a clorofila, foram superiores quando avaliados aos 150 DAC, em comparação a 240 e 305 DAC. Ao passo que os flavonóis sobressaíram na avaliação aos 240 DAC, da mesma forma que a antocianina, que prevaleceu com teores superiores até o final do ciclo (305 DAC) (Tabela 1).

Apesar da clorofila ser constituída pelo nitrogênio (Epstein & Bloom, 2005), as duas fontes testadas não apresentaram teores distintos significativamente. Ao passo que as doses de Si aplicadas via foliar obtiveram um ajuste quadrático positivo, resultando no teor máximo de 35,37 mmol m⁻² com a dose de 950 g ha⁻¹ de Si (Figura 1a).

Nesse sentido, mediante efeito positivo do Si com o teor de clorofila, tem-se segundo Flores et al. (2019), que fisiologicamente o Si atua na redução da taxa transpiratória, incremento da produção de clorofila, modulação eficiente da expressão de proteínas relacionadas a síntese de proteínas, redução de homeostase, proteínas de regulação e assimilação de CO₂/fotossíntese.

A altura de plantas foi influenciada pelas datas de avaliação, doses de Si e pela interação entre as datas de avaliação x fontes de nitrogênio (Tabela 1). Perante as doses de Si aplicadas, verifica-se um ajuste linear crescente (Figura 1b). Com base na interação entre as datas de avaliação x fontes de nitrogênio, observa-se que as maiores alturas para ambas fontes nitrogenadas foram obtidas aos 305 DAC. Além de que aos 150 e 240 DAC, as altura não diferiram entre as fontes de nitrogênio (Tabela 2).



Tabela 1. Índice balanceado de nitrogênio (NBI), clorofila, flavonóis, antocianina, altura e diâmetro da cana-de-açúcar, em função das datas de avaliação (150, 240 e 305 DAC), fontes de nitrogênio e aplicação foliar de Si. Bom Jesus de Goiás, GO. 2021/2022.

Tratamento	NBI	Cloro- fila	Flavo- nóis	Anto- cianina	Altura	Diâ- me- tro
Datas (D)	-----mmol m ⁻² -----				-----m-----	---- mm- ----
150 DAC	17,03 a	36,51 a	2,20 b	0,44 b	2,63 c	26,13 b
240 DAC	13,40 c	32,42 b	2,46 a	0,52 a	2,83 b	26,50 b
305 DAC	15,49 b	31,93 b	2,13 b	0,52 a	3,11 a	27,61 a
F	12,08**	7,82**	11,83**	8,99**	71,01**	9,43**
Fonte de N (F)						
Nitratop	15,44	34,23	2,27	0,50	2,85	26,48
Ureia	15,17	33,01	2,26	0,49	2,87	27,02
F	0,21 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,13 ^{ns}	3,43 ^{ns}
Doses Si (Si) (g ha⁻¹)						
0	14,20	30,40 b	2,23	0,51	2,79 b	25,97 b
450	15,53	35,37 a	2,31	0,49	2,92 a	26,51 b
900	16,48	34,69 a	2,23	0,49	2,87 a	27,32 a
1350	14,91	34,94 a	2,41	0,49	2,79 b	26,88 a
1800	15,41	32,70 b	2,14	0,48	2,93 a	27,06 a
F	1,54 ^{ns}	3,19*	2,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	3,55**	2,60*
Efeitos da Interação						
D x F	0,63 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,85 ^{ns}	4,58*	1,18 ^{ns}
D x Si	1,09 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,99**
F x Si	2,01 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}
D x F x Si	1,42 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Média	15,31	33,62	2,26	0,49	2,86	26,75
C.V.	24,19	18,89	15,62	20,61	6,33	5,95

Em que: DAC – dias após o corte. ^{ns}, ** e * - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey e, significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

No diâmetro do colmo, houve interação entre as datas de avaliação e as doses de Si, resultando em ajuste quadrático negativo aos 150 DAC e linear crescente aos 240 DAC. Pois, somente no final do ciclo (305 DAC), que houve um ajuste quadrático positivo que resultou no diâmetro máximo de 28,62 mm na dose de 850 g ha⁻¹ de Si (Figura 1c).



Tabela 2. Desdobramento da altura de plantas da cana-de-açúcar, em função da interação entre as datas de avaliação e as fontes de nitrogênio. Bom Jesus de Goiás, GO. 2021/2022.

Fonte de N/Datas	150 DAC	240 DAC	305 DAC
Nitratop	2,88 Ba	2,65 Ca	3,04 Ab
Ureia	2,79 Ba	2,62 Ca	3,19 Aa

Em que: DAC – dias após o corte. Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Nos estudos desenvolvidos por Silva & Prado (2021), os resultados obtidos demonstraram efeito significativo e benéfico do Si tanto nas variáveis biométricas altura de plantas como no diâmetro do colmo, da quarta soqueira de cana-de-açúcar, aos nove e doze meses após a brotação. Entretanto, Fonseca (2011), Borges (2012) e Nóia (2015), não constatarem efeitos significativos para o diâmetro de colmo em ambas avaliações realizadas aos 4, 9 e 12 meses, com cultivo de na cana-planta, segunda e terceira soqueira, respectivamente.

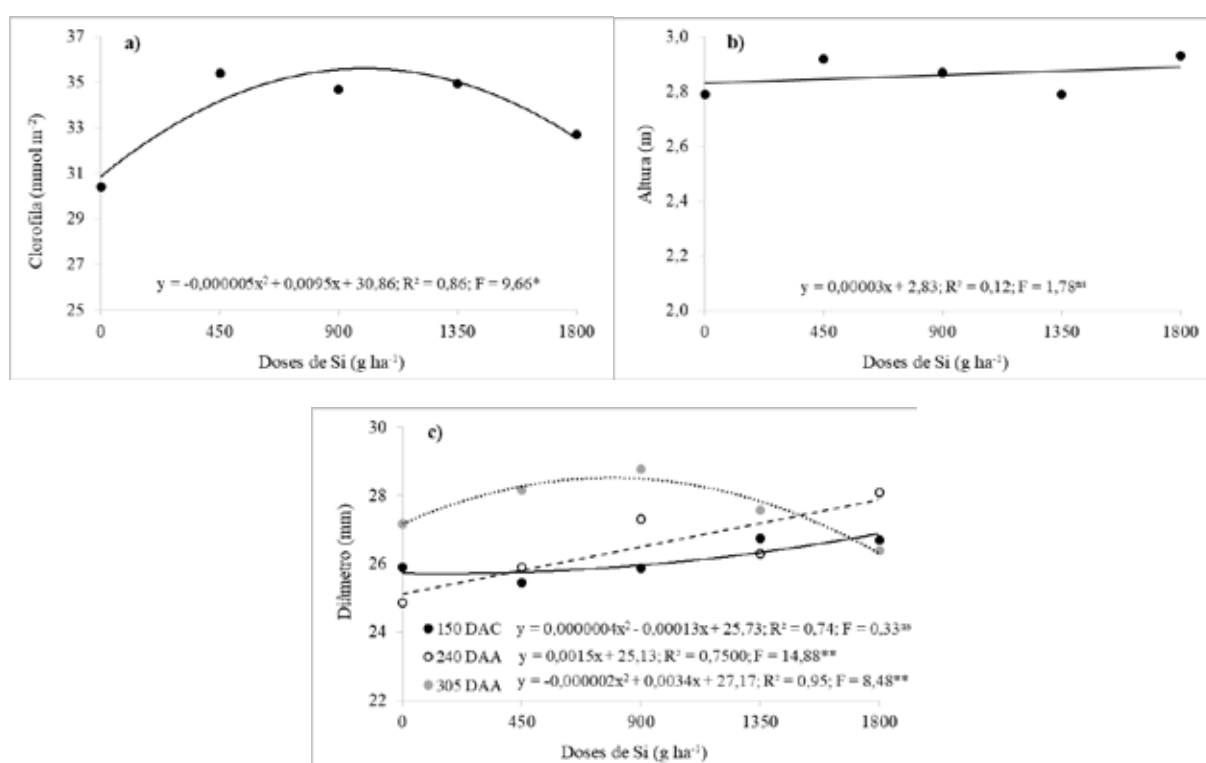


Figura 1. Clorofila (A) e altura de plantas (B), em função da aplicação foliar de Si. Diâmetro do colmo (C), em função da interação entre as datas de avaliação e a aplicação foliar de Si. Bom Jesus de Goiás, GO. 2021/2022.

CONCLUSÃO

A aplicação de dose próxima a 900 g ha⁻¹ de Si, divididas em três pulverizações promoveram melhores teores de clorofilas, bem como o diâmetro do colmo das plantas, sugerindo ser a dose indicada para promover melhor desenvolvimento da cultura.

BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, JC & W Maldonado-Júnior (Eds). 2015. Experimentação agrônômica e agroestat: sistema para análise estatística de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP. 396 pp.
- Bordonal, RO; JLN Carvalho; R Lal; EB Figueiredo; BG Oliveira & N La Scala JR. 2018. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 38(13):1-23.
- Borges, BMMN. 2012. Resposta da segunda soqueira da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio na presença e ausência de silício.



- 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, Brasil.
- Epstein, E & AJ Bloom (Eds). 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspective. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates. 400 pp.
- Flores, RA; JP Souza Junior; AS Santos; FJR Cruz; CDS Campos; GB Silva Junior & RM Prado. 2019. Importância do silício na bioquímica e fisiologia das plantas. *In*: Flores, RA; PP Cunha; RL Marchão & MF Moraes (Eds). Nutrição e adubação: de grandes culturas no Cerrado. 620 pp. Goiânia: Gráfica UFG. pp. 77-96.
- Fonseca, IM. 2011. Atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da cana-planta em função da aplicação de nitrogênio e de escória de siderurgia. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, Brasil.
- Köppen, W & R Geiger. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes.
- Ma, JF & N Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11(8):392-397.
- Nóia, NRC. 2015. Resposta da terceira soqueira da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio na presença e ausência de silício. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, Brasil.
- Oliveira, ECA; RI Oliveira; BMT Andrade; FJ Freire; MA Lira Júnior & PR Machado. 2010. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(9):951-960.
- Rein, TA; DMG Sousa; JDG Santos Júnior; R Nunes & GH Korndörfer (Eds). 2015. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no Cerrado. Planaltina: Embrapa. 12 pp.
- Santos, HG; PKT Jacomine; LHC Anjos; VA Oliveira; JF Lumberreras et al. (Eds). 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 356 pp.
- Sousa, DMG & E Lobato (Eds). 2004. Cerrado: correção e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416 pp.
- Silva, GP & RM Prado. 2021. Crescimento da soqueira da cana-de-açúcar em relação à adubação nitrogenada associada ao uso de corretivos. *Acta Tecnológica* 14(2):47-56.
- Taiz, L; E Zeiger; IA Moller & A Murphy. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 858 pp.





Actas Tomo 2

XXVIII CACS

15 al 18 de noviembre de 2022

Buenos Aires – Argentina

www.congreso2022.suelos.org.ar

ISBN 978-987-48396-7-1

