

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 19 - Septiembre 2015

¿A dónde va el nitrógeno de la fertilización del maíz cuando hay estrés hídrico?	2
Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (<i>Spinacia oleracea L.</i>) cultivada en El Llano en Llamas de Jalisco, México	5
Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo	11
¿El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz?	18
Efectos del agregado de dolomita y fertilizantes Ca-Mg en el rendimiento de <i>Avena sativa L.</i> en suelos ácidos de la región templada argentina	22
Cursos y Simposios	26
Publicaciones Disponibles	27



En este número

- Destino del N de la fertilización del maíz bajo estrés hídrico
- Demanda de nutrientes en espinaca
- Rendimientos, balance y disponibilidad de nutrientes bajo diferentes estrategias de fertilización
- Deficiencia de Zn en maíz
- Dolomita y fertilizantes Ca-Mg en suelos ácidos

Editores :

Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

<http://www.ipni.net>

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • <http://Lacs.ipni.net>

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • <http://nla.ipni.net>

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

¿A dónde va el nitrógeno de la fertilización del maíz cuando hay estrés hídrico?

H. Rimski-Korsakov^{1,*}, M.S. Zubillaga¹, M.R. Landriscini², y R.S. Lavado^{1,3}

Introducción

La aplicación de fertilizantes tiene como objetivo que el cultivo absorba el o los nutrientes agregados e incremente su rendimiento y/o calidad. Sin embargo, no todo los nutrientes aportados siguen ese camino. Tomando como ejemplo el nitrógeno (N), normalmente es esperable que la recuperación del fertilizante no supere el 60%, aun cuando el cultivo alcance su potencial productivo (Macdonald et al., 1997; Rimski-Korsakov et al., 2012). El resto del nutriente aportado por el fertilizante puede ser perdido del sistema por volatilización, lixiviación y desnitrificación, o quedar en el suelo, formando parte de la materia orgánica o como nitrato y amonio. Esas formas de N remanente en el suelo a su vez pueden ser pérdidas más adelante o aprovechadas por cultivos futuros.

Cuando el cultivo fertilizado sufre algún estrés que afecta su crecimiento y rendimiento, el porcentaje de N recuperado por éste, es menor que el indicado en el párrafo superior (Rimski-Korsakov et al., 2009). En estas situaciones se incrementan los destinos del N alternativos al cultivo. Dado que el maíz (*Zea mays* L.) presenta una gran sensibilidad a las sequías y a su vez es el cultivo extensivo que recibe las mayores dosis de fertilizantes nitrogenados (Fertilizar, 2015; SIIA, 2015), el objetivo de este trabajo fue determinar el destino del N del fertilizante en situaciones de maíz fertilizado y sometido a estrés hídrico.

Metodología utilizada

Se realizó un ensayo de campo, con maíz (cv 'FAUBA 209'), en el predio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires ubicado en la ciudad de Buenos Aires (34° 36'S, 58° 29'O). Se trabajó sobre un suelo Argiudol vértico [MO: 3.5%, pH: 7.3, CE: 0.08 dS/m, P (Bray I): 17.1 ppm].

Se aplicó un diseño estadístico factorial (2x2) con bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Se establecieron dos niveles de fertilización (N0 y N140: 0 y 140 kg N ha⁻¹, respectivamente) y dos de agua recibida (-Agua y +Agua: 50 y 100% de los requerimientos hídricos, respectivamente).

La fertilización nitrogenada se realizó en V6 (Ritchie y Hanway, 1982) con nitrato de amonio incorporado. Se utilizó fertilizante marcado con ¹⁵N (isótopo no radiactivo) para distinguir los destinos del fertilizante. Para controlar el ingreso de agua de lluvia en las parcelas sometidas a estrés hídrico, se instaló un sistema compuesto por lonjas de nylon transparente móviles. Como consecuencia, las parcelas estresadas no recibieron prácticamente nada de

agua de lluvia, y se aportó el 50% de los requerimientos hídricos del cultivo mediante riego. Las parcelas no estresadas recibieron el 100% del agua requerida a partir de la lluvia y el riego.

En todas las parcelas se aplicaron 30 kg P ha⁻¹ (como superfosfato triple) al voleo. Las malezas, insectos y enfermedades fueron controlados cuando fue necesario. A madurez fisiológica se determinó la biomasa aérea del maíz (hojas + tallos + marlo + chala y granos). También se cuantificó el N acumulado en la planta proveniente del suelo y, en forma separada el proveniente del fertilizante.

Se midió el nivel de nitrato (0-150 cm) y de N orgánico (0-30 cm) a la siembra y a la cosecha del maíz. También se determinó la volatilización del amoníaco durante el ciclo del cultivo (Zubillaga et al., 2002).

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando ANVA factorial.

Resultados y discusión

Biomasa producida y acumulación de N en la planta

La fertilización incrementó la biomasa aérea total producida por el maíz sólo cuando la provisión de agua fue suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo (tratamiento N140+Agua) (**Figura 1**). El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí. Estos resultados son coincidentes con la conocida importancia primordial del agua en la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo (Otegui et al., 1995; Bohnert y Bressan, 2001), siendo el N el siguiente factor limitante (Álvarez y Grigera, 2005). El rendimiento en granos se incrementó significativamente en forma aditiva, por mayores niveles de los dos factores analizados (N140>N0 y +Agua>-Agua).

La concentración de N no difirió entre tratamientos en ninguno de los órganos estudiados. Por otro lado, el N (proveniente del suelo más el fertilizante) acumulado en la biomasa aérea total y también en los granos fue mayor con la fertilización y la mayor disponibilidad hídrica (efecto aditivo) (**Figura 2**). Aun así, en los tratamientos fertilizados, el N derivado del suelo representó en promedio el 74% de todo el acumulado en la biomasa aérea total a madurez fisiológica. Por otro lado, en dicho momento la recuperación del fertilizante en la biomasa aérea total fue significativamente mayor en el tratamiento que no tuvo estrés hídrico (**Figura 2**). Este efecto también fue significativo en los granos, donde se acumularon 26 y

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

² CERZOS-Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca

³ INBA (CONICET/FAUBA)

* Autor de contacto. Correo electrónico: rimski@agro.uba.ar

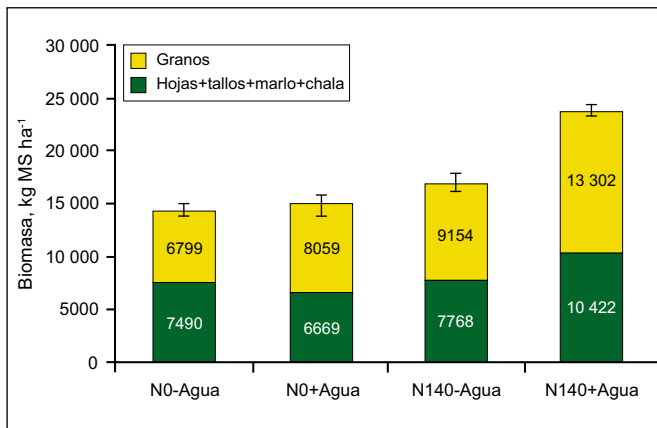


Figura 1. Producción de biomasa aérea a cosecha del maíz, dividida en hojas+tallos+marlo+chala y granos. Líneas: error estándar.

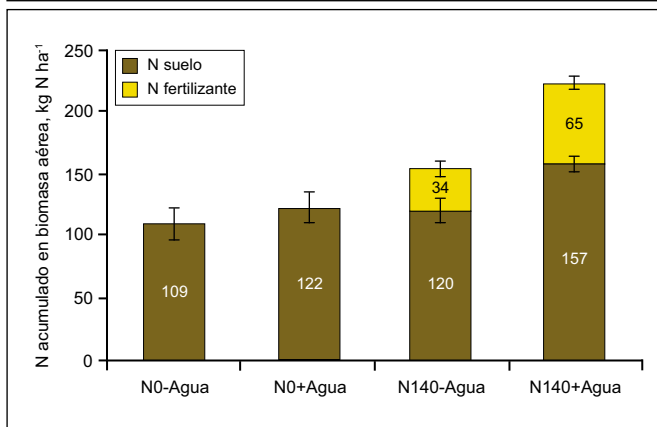


Figura 2. Nitrógeno acumulado a cosecha del cultivo de maíz derivado del suelo (N suelo) y del fertilizante (N fertilizante), en biomasa aérea total. Líneas: error estándar.

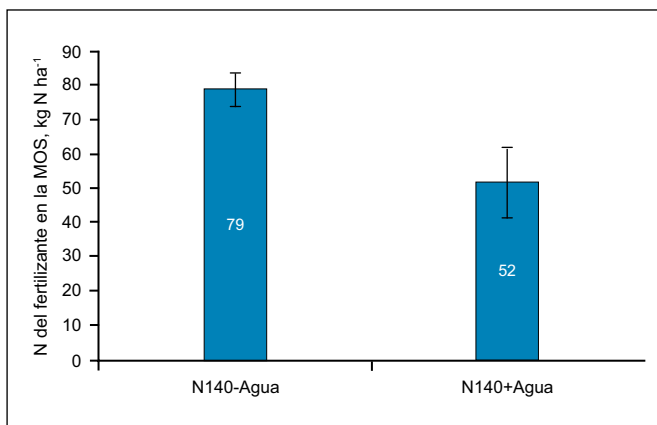


Figura 3. Nitrógeno derivado del fertilizante a cosecha del cultivo de maíz retenido en la materia orgánica del suelo (MOS). Líneas: error estándar.

49 kg ha⁻¹ de N proveniente del fertilizante en la plantas con y sin estrés hídrico, respectivamente. El resto de la biomasa no presentó diferencias significativas en el N proveniente del fertilizante acumulado en la misma.

Nitrógeno inmovilizado en la fracción orgánica del suelo

El contenido de N orgánico total en los primeros 30 cm del perfil del suelo no difirió entre tratamientos, siendo en promedio 0.14%. En cambio, el N proveniente del fertilizante en la fracción orgánica del suelo, fue mayor

en el tratamiento que sufrió estrés hídrico en relación al tratamiento que no sufrió ese estrés (**Figura 3**). Quedaron 79 y 52 kg N ha⁻¹ provenientes del fertilizante retenidos en dicha fracción en los tratamientos con y sin estrés hídrico, respectivamente. Los valores encontrados son algo mayores a los indicados por Reddy y Reddy (1993) y Portela et al. (2006) que detectaron entre un 10 y un 30% del N aplicado por fertilización en el componente orgánico, a madurez de un maíz desarrollado sin condiciones limitantes.

N inorgánico en el perfil del suelo y lixiviación de nitrato

El contenido total de nitrato hasta los 150 cm de profundidad sólo mostró diferencias significativas en los primeros 30 cm. En esa profundidad las parcelas que sufrieron estrés hídrico presentaron 22 kg N (como nitrato) más, que las parcelas no estresadas. Si de esos nitrato se consideran únicamente los provenientes del fertilizante, en esta profundidad se registraron 8 kg más de N en los tratamientos con estrés hídrico. Este mayor contenido de nitrato en el suelo tiene dos explicaciones, que suelen sumarse. Por un lado, ante un bajo movimiento del agua del suelo la pérdida por lixiviación fue muy baja (Gheysari et al., 2009). Por otro lado, en las parcelas con estrés hídrico la absorción por el maíz fue menor.

Volatilización de amoníaco

La volatilización acumulada durante el ensayo fue mayor cuando se aplicó fertilizante, pero no se registraron diferencias entre los tratamientos con y sin estrés hídrico. La volatilización en los tratamientos sin fertilizar representó la volatilización natural del suelo, que fue del orden de 3.2 kg N-NH₃ ha⁻¹, durante el periodo analizado. Por otro lado, los tratamientos fertilizados perdieron en promedio 7.1 kg N-NH₃ ha⁻¹. Este bajo nivel de pérdidas, en relación a lo mostrado en otros trabajos realizados en la Región Pampeana (Palma et al., 1998; Salvaggiotti, 2005), puede atribuirse a la fuente de fertilizante utilizada (nitrato de amonio) y a que al fertilizante fue incorporado en el suelo que se encontraba con un nivel adecuado de humedad.

Destinos del fertilizante durante el ciclo del maíz

Cuando no se aplicó estrés hídrico las plantas fueron el principal destino del fertilizante (47% del N suministrado), siendo la fracción orgánica del suelo el segundo destino en orden de importancia (37%) (**Figura 4**). En las plantas sometidas a estrés hídrico, la situación fue inversa, la fracción orgánica del suelo fue el principal destino del fertilizante (56%), seguido por la planta (24%). Las plantas estresadas hídricamente al tener una baja eficiencia de recuperación del fertilizante dejaron una mayor cantidad de N proveniente del fertilizante en el suelo. Este N fue inmovilizado principalmente en la fracción orgánica. El fertilizante remanente como nitrato residuales (0-150 cm de profundidad) fue mayor bajo estrés hídrico (8% vs. 3%). La volatilización representó un destino minoritario, sin observar diferencias ante la presencia o no de estrés hídrico (3%).

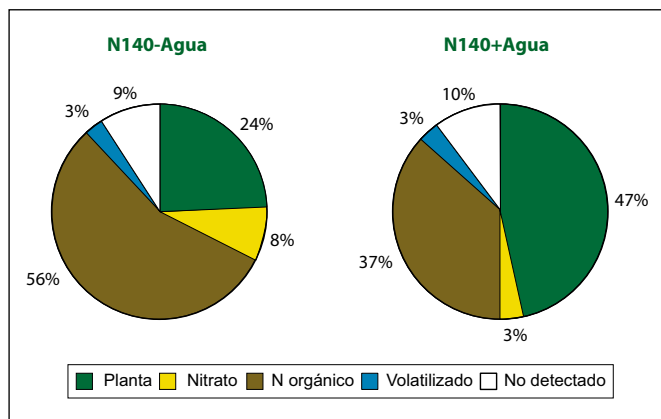


Figura 4. Destinos del N del fertilizante aplicado, expresado en forma relativa al total aplicado. Planta: N acumulado en la biomasa aérea total a cosecha; Volatilización: N-NH₃ volatilizado desde la fertilización hasta la cosecha del maíz; Nitrato: N-NO₃ (0-150 cm) a cosecha del maíz; N orgánico: N en el componente orgánico del suelo de 0-30 cm; No detectado: fracción no recuperada del total aplicado.

En los dos tratamientos fertilizados, se registró una fracción del N no recuperada, cercana al 10%. Entre los destinos posibles de la fracción no detectada se encuentran las raíces, que de acuerdo con experimentos previos, retuvieron alrededor del 3% del N aplicado por fertilización. El resto fue N emigrado del sistema por desnitrificación, perdido por lixiviación por debajo de la profundidad medida, otras salidas menores (fijación en arcillas), o resultó de imprecisiones experimentales propias de las metodologías utilizadas.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los encontrados en trabajos previos (Rimski-Korsakov et al., 2009; Rimski-Korsakov et al., 2012). Esto permite afirmar que en todos los casos cuando el maíz no sufrió estrés hídrico, la planta siempre fue el principal destino del fertilizante. En cambio, ante situaciones de estrés hídrico, la materia orgánica del suelo, pasa a ser el destino principal del fertilizante. En este experimento, el nitrato remanente en el suelo no resultó un destino preferente del N.

Este resultado es significativo, porque la retención del N del fertilizante en las fracciones orgánicas del suelo no implica una pérdida del sistema. Este destino le confiere una relativa residualidad al N del fertilizante que en condiciones normales es esperable que sea de corto plazo ya que es retenido principalmente en las fracciones de la materia orgánica más lábiles. Consecuentemente, una porción de ese N será aprovechada por el próximo cultivo y otra porción entrará nuevamente en el circuito del nitrato del suelo, por lo que parte se volatilizará, parte se lixiviará, parte seguirá otros destinos (desnitrificación, etc.) y parte volverá a la materia orgánica. Este proceso se mantendrá en cantidades cada vez más insignificantes, por algunos años.

Bibliografía

- Álvarez, R., y S. Grigera. 2005. Analysis of soil fertility and management effects on yields of wheat and corn in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agron. Crop Sci.* 191:321-329.
- Bohnert, H.J., y R.A. Bressan. 2001. Abiotic stresses, plant reactions and new approaches towards understanding stress tolerance. En: *Crop Science: Progress and Prospects*. Noesberger, J. et al. (Eds). CABI publishing, Wallingford, UK. pp. 81-100.
- Fertilizar. 2015. Estadísticas. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos%202013.pdf>
- Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Homaei, M.E. Asadi, y G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agric. Water Manag.* 96:946-954.
- Macdonald, A.J., P.R. Poulton, D.S. Powlson, y D.S. Jenkinson. 1997. Effects of season, soil type and cropping on recoveries residues and losses of ¹⁵N-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *J. Agric. Sci.* 129:125-154.
- Otegui, M.E., F.H. Andrade, y E.E. Suero. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Res.* 40:87-94.
- Palma, R.M., M.I. Saubidet, M. Rimolo, y J. Utsumi. 1998. Nitrogen losses by volatilization in a corn crop with two tillage systems in the Argentine Pampas. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis.* 29:2865-2879.
- Portela, S.I., A.E. Andriulo, M.C. Sasal, B. Mary, y E.G. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: ¹⁵N application in field lysimeters. *Plant Soil* 289:265-277.
- Reddy, G.B., y K.R. Reddy. 1993. Fate of Nitrogen 15 Enriched Ammonium Nitrate Applied to Corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:111-115.
- Ritchie, S.W., y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special report No 48.
- Rimski-Korsakov, H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2009. Effect of Water Stress in Maize Crop Production and Nitrogen Fertilizer Fate. *Journal of Plant Nutrition* 32:565-578.
- Rimski-Korsakov, H., G. Rubio, y R.S. Lavado. 2012. Fate of the nitrogen from fertilizers in field-grown maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 93:253-263.
- Salvagiotti, F. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros.
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). 2015. Siembra, Cosecha, Producción y Rendimiento. <http://www.siia.gov.ar/apps/siia/estimaciones/estima2.php>
- Zubillaga, M.S., M.M. Zubillaga, S. Urricariet, y R.S. Lavado. 2002. Effect of nitrogen sources on ammonia volatilization, grain yield and soil nitrogen losses in no-till wheat in an argentine soil. *Agrochimica* 46:100-107.

Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (*Spinacia oleracea* L.) cultivada en El Llano en Llamas de Jalisco, México

Anacleto Sosa^{1,3,*}, Jorge Muro¹, Gerardo Gordillo¹, Heather West², Xiaozhong Liu², Guadalupe Ruíz³, Jorge Etchevers⁴ y Juliana Padilla⁴

Introducción

La espinaca (*Spinacia oleracea* L.) es un cultivo anual de ciclo corto, el cual al aprovecharse por sus hojas requiere de altas cantidades de nutrientes para mantener su rápido crecimiento (Biemond et al., 1996) y adquirir el color verde oscuro que atrae a los consumidores (Branderberger et al., 2004). Al igual que otros vegetales de hoja, esta especie es poco eficiente en la recuperación de nutrientes, lo que conduce a que para lograr altos rendimientos se apliquen dosis de fertilización elevadas (Sajirani et al., 2012; Gutiérrez-Rodríguez et al., 2012). El hecho anterior, frecuentemente resulta en grandes pérdidas de los nutrientes aplicados al suelo por lixiviación, particularmente los de alta movilidad como nitrógeno (N), azufre (S) y boro (B) (Obreza y Morgan, 2011) y en la acumulación excesiva de nitratos y oxalatos en el órgano de interés económico los cuales son dañinos para el hombre (Libert y Franceschi, 1987). De acuerdo al SIAP (2015) en México se cultivan cerca de 55 hortalizas, las que al exhibir diferentes requerimientos nutrimentales (RNUTs) hacen difícil diseñar su programa de nutrición balanceada de forma sitio-específica. Una metodología que hoy día se utiliza ampliamente para generar normas de fertilización bajo un enfoque científico es el método racional simplificado (Sosa et al., 2012). Para usar esta herramienta agronómica, es indispensable previamente conocer los dos parámetros que se asocian con la demanda nutrimental del cultivo los cuales son el rendimiento máximo alcanzable (RMA) de la zona agrícola de interés y el requerimiento nutrimental (RNUT) de cada nutriente extraído. Para calcular la demanda nutrimental en hortalizas, en los últimos años en México se ha realizado mucho trabajo de investigación para determinar el RMA y los RNUTs expresados en kilos de nutriente por tonelada de producto comercial o de materia seca (MS) (Sosa et al., 2013b). Adicionalmente, mucha de la información relacionada con los RNUTs de las especies más importantes que se producen en todo el mundo ha sido recopilada (Ciampitti y García, 2007), e incluso en el internet ya existe una herramienta para calcular la demanda nutrimental de los cultivos, la cual se encuentra para su libre acceso en la página web del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) (García y Correndo, 2015). Con respecto a los RNUTs de espinaca, hasta la fecha en México no existe este tipo de información, de ahí que su fertilización todavía se realiza empíricamente lo que resulta en bajos rendimientos y/o en su sobre fertilización. Con base en lo anteriormente

expuesto, el objetivo de este estudio fue determinar el RMA y los RNUTs de 11 nutrientes para espinaca cultivada en la zona agrícola conocida como El Llano en Llamas de Jalisco, México.

Materiales y métodos

Localización del estudio

La presente investigación se realizó en el rancho El Petacal, propiedad de Nutrilite S. de R.L. de C.V. ubicado en el municipio de Tolimán, al noroeste del estado de Jalisco, México (19° 36' latitud Norte y 103° 48' longitud Oeste) a 1060 metros sobre el nivel del mar. Por su clima extremadamente seco, alta temperatura promedio durante el año (26 °C) y baja precipitación (menos de 400 mm), a esta región agrícola también se conoce como El Llano en Llamas (Rulfo, 1985). Durante las temporadas 2012-2013 y 2013-2014 se establecieron dos experimentos en donde se evaluaron 13 genotipos de espinaca los cuales presentan amplia variación en su potencial productivo (**Tabla 1**). El trabajo de campo se estableció en un suelo Luvisol alcalino (pH 8.4), el cual de acuerdo con el análisis químico realizado durante la temporada 2012-2013, presentó 2.1% de materia orgánica y una disponibilidad de P, K, Ca, Mg, S-SO₄, B, Fe, Mn y Zn de 14, 292, 2109, 1085, 56, 0.7, 41, 147, y 1.0 mg kg⁻¹, respectivamente determinada con el método Mehlich III.

Manejo agronómico del cultivo

Los 13 híbridos de espinaca evaluados se establecieron bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de 4 surcos de 1 m de ancho por 5 m de largo. La siembra fue manual a doble hilera utilizando 80 semillas m². La fertilización consistió de una aplicación basal de 10.6 t ha⁻¹ de composta (base seca) cuyo contenido nutrimental fue 2.4, 0.28, 0.45, 5.4, 0.6 y 0.08% para N, P, K, Ca, Mg y S; y 9480, 410, 129, 113 y 53 mg kg⁻¹ de Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente. El control de malezas se realizó mecánica y manualmente. Las plagas y enfermedades se controlaron mediante la aplicación oportuna de insecticidas y fungicidas autorizados para la producción orgánica, los cuales se caracterizaron por no aportar nutrientes al cultivo (OMRI, 2013). El riego se realizó tres veces por semana, programándolo cuando la tensión de la humedad presente en el suelo medida con tensiómetro fue igual o mayor a 20 centibares, utilizándose una lámina de 244 mm por temporada.

¹ Investigador de Amway-Nutrilite S. de R.L. Rancho el Petacal, Jalisco, México

² Investigador de Amway-Nutrilite. California, USA

³ Profesor del Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano, Jalisco, México

⁴ Profesor del Colegio de Postgraduados, Montecillos, México

* Autor de contacto. Correo electrónico: anacleto.sosa@amway.com

Tabla 1. Rendimientos, contenidos de materia seca y concentraciones nutrimentales en 13 genotipos de espinaca cultivados en El Petacal, Jalisco, México. Promedios de 3 repeticiones.

Genotipo	Rendimiento		Materia seca		Concentración nutrimental																					
	t ha ⁻¹		%		kg nutriente t ⁻¹ de materia seca																					
	T1	T2	T1	T2	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	B											
Bison F1	10.5	20.2 B	8.7	8.9	31 AB	39	2.4	3.1	85	73	12	11	8	15	2	3	207	546	90	87	207	178	33	23	82	84
Panther F1	12.6	25.6 AB	8.6	8.8	28 B	37	2.2	3.5	80	88	12	11	10	12	2	3	255	381	55	120	255	175	21	16	98	66
Python	9.0	20.7 B	9.3	9.5	31 AB	37	2.6	3.0	71	81	11	12	9	14	2	3	193	502	48	87	193	245	20	12	99	71
Roadrunner	12.2	23.9 AB	7.5	7.7	33 AB	39	2.5	3.2	88	74	13	11	7	12	2	3	273	611	68	103	273	185	25	23	93	57
Walibi	11.8	28.4 B	8.6	8.1	29 AB	40	2.2	3.4	74	71	10	12	8	15	2	3	200	581	55	71	200	168	19	18	85	72
Whale	11.1	18.0 B	7.9	7.6	32 AB	36	2.2	3.7	91	81	10	13	8	13	2	3	188	515	90	82	188	209	21	18	96	63
51-132 RZ	11.1	18.7 B	7.8	8.1	33 AB	37	2.5	3.0	88	85	10	13	8	13	2	3	154	533	51	147	154	269	17	28	89	64
51-143	9.9	20.4 B	8.6	8.3	30 AB	41	2.5	2.7	77	84	11	10	8	13	2	3	245	589	61	91	245	195	21	17	95	73
C4-026	11.4	33.8 A	7.5	7.9	32 AB	37	2.3	3.2	82	72	12	12	10	15	2	3	311	419	64	124	319	193	22	14	99	56
Squirrel	10.7	25.3 AB	8.3	8.7	34 AB	35	2.4	2.9	87	73	12	11	9	13	2	3	203	477	50	85	203	247	20	17	92	74
Spiros	10.7	27.9 AB	8.6	8.4	32 AB	40	2.3	3.3	83	78	11	12	8	14	2	3	199	482	87	73	199	171	21	18	84	58
Bejo 2866	10.4	24.7 AB	8.0	8.2	36 A	39	2.8	3.3	83	77	10	11	7	13	2	3	166	540	84	54	166	210	19	15	75	73
Renegade	9.2	23.7 AB	8.4	8.5	36 A	36	2.6	3.0	82	84	12	10	11	12	2	3	159	573	81	91	159	151	33	11	67	63
Media	10.8	23.9	8.2	8.4	32.3	37.9	2.4	3.2	82	79	10	12	7.2	13.4	2	3.0	206	517	72	93	207	200	22	18	87	67
Tukey 0.05 p	NS	13.09	NS	NS	8.3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	9.3	18.6	5.7	6.0	7.3	4.5	7.5	8.2	6.8	7.2	9.9	7.6	16.6	8.1	0	7.0	22.3	13.3	24.9	17.8	22.8	23.5	20.9	25.4	11.7	12.0

C.V.= Coeficiente de variación.

NS = No significativa.

T1 y T2 son las temporadas 2012-2013 y 2013-2014, respectivamente.

Parámetros evaluados

A la cosecha (65 días después de la emergencia), se determinó el peso fresco y se tomó una muestra de 1.0 kg, que se secó en un horno de circulación forzada de aire a 70 °C durante 48 h, se pesó y después de molida se determinó la concentración de macro y micronutrientes. El N se determinó por el método semimicro Kjeldahl modificado para incluir NO₃ (Bremner, 1965), en tanto que para determinar el resto de los nutrientes se realizó una digestión húmeda utilizando una mezcla de HNO₃ y HClO₄ (3:1) y un ICP para su cuantificación (A&L Western Laboratory, 2015). El RNUT de cada elemento se estimó dividiendo su cantidad total acumulada entre el rendimiento seco del cultivo. A todas las variables estudiadas se les realizó un análisis de varianza y a aquellas que presentaron diferencias estadísticas significativas se les realizó la prueba de separación de medias de Tukey. Finalmente, para estimar el efecto del potencial productivo del cultivo sobre los RNUTs se realizó un análisis de correlación entre el rendimiento de cada genotipo y el RNUT de cada nutriente.

Resultados y discusión

Rendimiento máximo alcanzable (RMA)

El rendimiento promedio en las dos temporadas de espinaca fue 17.4 t ha⁻¹ (Tabla 1), este valor es 18% mayor que la media nacional (11.9 t ha⁻¹) (SIAP, 2015); pero 34% menor que el promedio mundial (26.3 t ha⁻¹) (Simko et al., 2014). El potencial productivo de los genotipos evaluados fue más bajo en la primera temporada, esto a causa de que su siembra temprana (30 octubre del 2013) provocó que una fracción del crecimiento del cultivo coincidiera con temperaturas diurnas mayores a 32 °C que afectaron negativamente el rendimiento. Esto no ocurrió en la

temporada 2013-2014, ya que su establecimiento se hizo dentro de la fecha de siembra óptima (1-30 de diciembre). De los cultivares estudiados, el más productivo fue C4-026 que rindió 22.6 t ha⁻¹, este rendimiento supera en 41% a las 16.0 t ha⁻¹ que obtuvieron Sajirani et al. (2012) en Shiraz, Iran; pero es 12% menor al obtenido con el híbrido F-380 en Oklahoma, EEUU (25.7 t ha⁻¹) (Branderberger et al., 2004). Sin embargo es congruente con el RMA de la zona de estudio, en donde el promedio logrado en siembras de espinaca orgánica comercial es 21.5 t ha⁻¹ (Sosa, 2015).

Rendimiento de materia seca (MS) vs. requerimientos nutrimentales (RNUTs)

Aun cuando el rendimiento de los genotipos evaluados exhibió diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) (Tabla 1) en la temporada 2013-2014, de forma general, el RNUT de los once nutrientes estudiados no presentó asociación con esta variable (Tabla 2).

Una excepción fue el RNUT de N, el cual en el ciclo 2012-2013 además de presentar significancia estadística entre genotipos evaluados ($p < 0.05$), también se asoció con el rendimiento (Figura 1). Estos resultados indican que la aplicación de 10.6 t ha⁻¹ de composta en una sola temporada no asegura que los suelos de la región estudiada puedan estar en condiciones de cubrir la demanda de nutrientes del cultivo de espinaca, especialmente la del N; por lo tanto, para mejorar la fertilidad de estos suelos y con ello su productividad se requiere aplicar esta enmienda por al menos dos temporadas. La correlación negativa encontrada entre los dos parámetros anteriormente mencionados ($r = -0.80^{**}$) se asocia con el efecto de dilución (Bates, 1971) que presentan los cultivos que se cosechan en su etapa vegetativa (Greenwood et al., 1980). La escasa relación de los RNUTs de espinaca con su potencial

Tabla 2. Asociación entre rendimiento (t ha⁻¹ MS) y los RNUTs (kg o g nutriente t⁻¹ MS) de 11 nutrientes en espinaca cultivada durante la temporada 2013-2014 en El Llano en Llamas de Jalisco, México.

Nutriente	Ecuación de regresión	Coefficiente de determinación (R ²)	Coefficiente de correlación (r)
N	N = 37.0 + 0.00004 Y	0.009	0.04 ns
P	P = 3.1 + 0.048 Y	0.0045	0.067 ns
K	K = 91.3 - 6.34 Y	0.164	-0.404 ns
Ca	Ca = 13.34 - 0.889 Y	0.132	-0.363 ns
Mg	Mg = 11.88 + 0.77 Y	0.066	0.256 ns
S	S = 3.03 - 0.082 Y	0.022	-0.147 ns
Cu	Cu = 29.8 - 5.99 Y	0.228	-0.477 ns
Mn	Mn = 269.2 - 34.82 Y	0.127	-0.356 ns
Fe	Fe = 715.1 - 99.12 Y	0.269	-0.518 ns
Zn	Zn = 103.34 - 4.98 Y	0.053	-0.073 ns
B	B = 77.5 - 5.13 Y	0.052	-0.23 ns

Y = Rendimiento expresado en base seca (kg ha⁻¹).

productivo sugiere que independientemente de la cantidad de MS que esta especie produce, sus RNUTs de macro y micronutrientes (expresados en kg o g t⁻¹ de MS) no varían significativamente. Estos resultados son congruentes con los que han sido previamente reportados en maíz para grano (Heckman et al., 2003), maíz elotero (Heckman, 2007) y brócoli (Farnham et al., 2011). En relación con lo anterior, Rodríguez (1990) y Etchevers et al. (1991), desde hace más de 20 años sostienen que la variación de los RNUTs no es función del rendimiento sino de la capacidad del suelo para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo y aseguran que la variación significativa de los RNUTs y su asociación con el rendimiento solo se manifiesta cuando los cultivos se establecen en suelos de baja fertilidad. Aun cuando existen varios trabajos de investigación que apoyan la conclusión anterior, a la fecha está todavía sigue siendo puesta en duda (Davis, 2013). A este respecto, en un trabajo realizado por investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se determinó que en los últimos 38 años el potencial de rendimiento del brócoli incremento significativamente pero esto no sucedió con sus RNUTs (Farnham et al., 2013). Los resultados anteriores son congruentes con los obtenidos en este estudio y apoyan científicamente el supuesto de que cuando los cultivos crecen bajo condiciones edáficas no limitantes sus RNUTs son independientes del rendimiento (Rodríguez, 1990; Etchevers et al., 1991). En este contexto, el diseño de la fertilización de un cultivo con base en la demanda nutrimental es una herramienta apropiada para nutrir de forma balanceada los cultivos, particularmente

en hortalizas en las que es difícil obtener recursos para hacer investigación por su baja superficie cultivada.

Remoción de macro y micronutrientes (RMA)

El RMA determinado con el cultivar más rendidor (C4-026) fue 22.6 t ha⁻¹, equivalente a 1.74 t ha⁻¹ en base seca, lo que removió 60, 5, 134, 21, 22, 11, 7, 0.63, 0.16, 0.46, 0.03 y 0.14 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, Mn, Cu y B, respectivamente (**Tabla 1**). Para el promedio de todas las variedades estudiadas, por cada tonelada de MS producida, la espinaca removió del suelo 35, 3, 80, 11, 10, y 3 kg de N, P, K, Ca, Mg y S; así como 362, 204, 20, 83 y 77 g de Fe, Mn, Cu, Zn y B, respectivamente (**Tabla 3**). De los 11 RNUTs determinados para espinaca, algunos difieren de los reportados en otras partes del mundo. El RNUT de N es menor que el publicado por Osmond y Kang (2008) en Carolina del Norte y el propuesto por el laboratorio A&L (2015) en California. No obstante es muy similar (36 kg N t⁻¹ MS) al propuesto por Ciampitti y García (2007). En contraparte, el RNUT generado para K es 167% y 90% mayor al propuesto para las regiones de Carolina del Norte y California, EEUU, respectivamente; pero 11% menor que el reportado por Castellanos et al. (2002) para Guanajuato, México (90.4 kg K t⁻¹ MS) y muy similar al recomendado por Campbell (2013) para el Sureste de los EEUU.

El alto requerimiento de K determinado podría deberse a que la espinaca es capaz de extraerlo en exceso cuando crece en suelos con alto suministro como los de la zona estudiada (Sosa et al., 2013a) y de varias regiones de

Tabla 3. Requerimiento nutrimental (RNUT) de 11 nutrientes estudiados y su comparación con los reportados en otras regiones.

Nutrientes	----- Requerimiento nutrimental (RNUT) -----				
	Presente Estudio	Osmond y Kang, 2008* Carolina del Norte, EEUU	A&L, 2015 California, EEUU	Campbell, 2013 Región Sureste, EEUU	Castellanos et al., 2002* Guanajuato, México
kg t⁻¹ materia seca					
N	35	50	40	50	68
P	3	4	3	4	8
K	80	30	42	80	90
Ca	11	12	11	15	
Mg	10	5	9	10	
S	3	4	3	3	
g t⁻¹ materia seca					
Cu	20	20	11	15	
Mn	204	99	130	200	
Fe	362	ND	120	200	
Zn	83	99	33	75	
B	77	ND	44	60	

*RNUTs Estimados considerando un contenido de materia seca en espinaca de 8.3%.

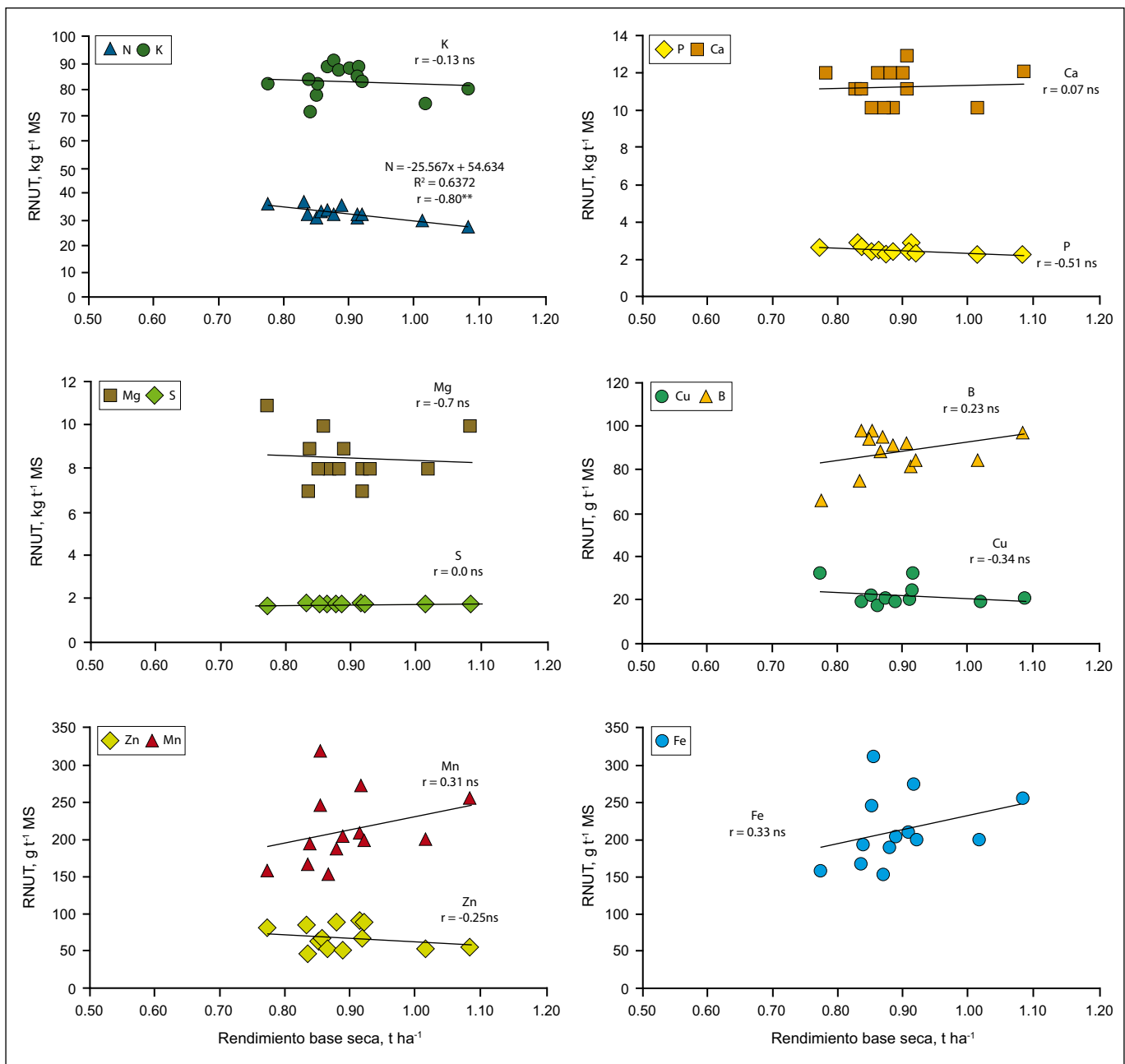


Figura 1. Rendimiento seco de espinaca y su relación con el RNUT de 11 elementos en 13 genotipos de espinaca cultivada durante la temporada 2012-2013 en el Llano en Llamas de Jalisco, México.

México (Núñez y Gavi, 1991; Sillanpää, 1982). A excepción del RNUT de P que reporta Castellanos et al. (2002) para Guanajuato, México, el valor de este parámetro determinado en este trabajo es congruente con los que se reportan en otras regiones (Tabla 3); lo que indica su alta confiabilidad para estimar su demanda. Los RNUTs de Ca, Mg, S y micronutrientes presentaron algunas diferencias con respecto a los existentes en la literatura; sin embargo pueden usarse con confianza ya que están dentro del rango de los valores de suficiencia recomendados para monitorear la nutrición de la espinaca en pre-cosecha (Osmond y Kang, 2008; A&L, 2015). Los RNUTs generados en este trabajo permitirán que a futuro podamos diseñar con alto grado de precisión el programa de fertilización de la espinaca, utilizando el método racional simplificado o la fertilización con base en la cantidad de nutrientes que remueve el cultivo.

Conclusiones

Bajo las condiciones de edafoclimáticas de El Llano en Llamas de Jalisco, México el RMA es de 22.6 t ha⁻¹ de espinaca fresca. Para lograr este potencial productivo, el cultivo removi6 del suelo 35, 3, 80, 11, 10, y 3 kg de N, P, K, Ca, Mg y S; así como 362, 204, 20, 83 y 77 g de Fe, Mn, Cu, Zn y B, por tonelada de MS producida, respectivamente. Con los RNUTs generados y el RMA de la regi6n de inter6s ser6 posible estimar la demanda de macro y micronutrientes en el cultivo de espinaca cultivada en M6xico y en otras zonas agr6colas del mundo.

Bibliografía

A&L (Western Laboratory). 2015. Sufficiency ranges for spinach (whole, mature leaves at pre-harvest stage). Modesto, California, USA. www.al-labs-west.com/ Consulta 4 febrero 2015.

- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation: a review. *Soil Sci.* 112:116-130.
- Biemond, H., J. Vos, y P.C. Struik. 1996. Effects of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen vegetables. 3. Spinash. *Netherland J. of Agricultural Science.* 44:227-239.
- Brandenberger, L., L.K. Wells, y M.M. Haigh. 2004. Yield and quality of spinach cultivars for spring production in Oklahoma. *Hortechonology.* 14(4):602-605.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: C.A. Black (Ed). *Methods of soil analysis, part 2- Agronomy 9.* ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Campbell, C.R. 2013. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the Southern region of the United States. *Southern Cooperative Series Bulletin No 394.* Raleigh, North Carolina, USA.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2002. Curso de interpretación de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Celaya, Guanajuato, México.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Archivo Agronómico No 12.* IPNI: 1-4. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083>.
- Davis, R.D. 2013. Comments on "Mineral concentration of broccoli florets in relation to year of cultivar release" by Mark W. Farnham, A.P. Keinath, and M. Grusak in *Crop Science* 2011 51:2721-2727. *Crop Sci.* 53:1827-1829.
- Etchevers, B.J.D., J. Rodríguez, y A.S. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra* 9:3-10.
- Farnham, W.M., A.P. Keinath, y M. Grusak. 2013. Response to the letter to the editor of *Crop Science* from Donald R. Davis regarding our research article entitled "Mineral concentration of broccoli florets in relation to year of cultivar release" published in *Crop Science* (2011 51:2721-2727). *Crop Sci.* 53:1830-1831.
- Farnham, W.M., A.P. Keinath, y M. Grusak. 2011. Mineral concentration of broccoli florets in relation to year of cultivar release. *Crop Sci.* 51:2721-2727.
- García, F.O., y A.A. Correndo. 2015. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes en cereales, oleaginosas, industriales y forrajeras. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>. Consulta 5 marzo, 2015.
- Greenwood, D.J., T.J. Cleaver, M.K. Turner, J. Hunt, K.B. Niendorf, y M.S. Loquens. 1980. Comparison of the effects of nitrogen fertilizer on the yield, content and quality of 21 different vegetable an agricultural crops. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 95:471-485.
- Gutierrez-Rodriguez, E., H.J. Lieth, J.A. Jernstedt, J.M. Labavitch, T.V. Suslow, y M.I. Cantwell. 2012. Texture, composition and anatomy of spinach leaves in relation to nitrogen fertilization. *J. Sci. Food Agric.* <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-2458.pdf>
- Heckman, J.R. 2007. Sweet corn nutrient uptake and removal. *Hortechonology.* 17(1):82-86.
- Heckman, J.R., J.T. Sims, D.B. Beegle, F.J. Coale, S.J. Herbert, T.W. Bruulsema, y W.J. Bamka. 2003. Nutrient removal by corn grain harvest. *Agron J.* 95:587-591.
- Libert, B., y R.V. Franceschi. 1987. Oxalate in crop plants. *J. Agric. Food Chem.* 35:926-938.
- Núñez, E.R., y F.R. Gavi. 1991. El potasio en la agricultura mexicana. Simposio del uso racional de los fertilizantes en América Latina. pp. 335-357. *Memorias. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), Fertimex y Adifal.* Querétaro, Querétaro, México.
- Obreza, A.T., y K.T. Morgan. 2011. Nutrition of Florida citrus trees. *Soil and Water Science Department. University of Florida.* Gainesville, Florida, USA. 96 p.
- OMRI (Organic Materials Review Insitute). 2013. Products list a directory of products for organic use: crop, livestock, processing & handling. Oregon, USA.
- Osmond, L.D., y J. Kang. 2008. Nutrients removal by crops in North Carolina. *SoilFacts.* North Carolina Cooperative Extension Service. North Carolina State University. 4 pp.
- Rodríguez, S.J. 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. *Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile.*
- Rulfo, J. 1985. *El Llano en Llamas.* Cátedra. Madrid, España. 181 p.
- Sajirani, E.B., M.J. Shakouri, y S. Mafakheri. 2012. Response of spinach (*Spinacia oleracea* L.) yield and nutrient uptake to urea and manure. *Indian J. Sci. and Technology.* 5(1):1953-1955.
- Sheikhi, J., y A. Rhonagui. 2012. Growth and macro and micronutrients concentration in spinash (*Spinacia oleracea* L.) as influenced by salinity and nitrogen rates. *Int. Res. J. of Appl. and Basic Sciences.* 3(4):770-777.
- SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pecuaria). 2015. <http://www.siap.org,consulta:1> de febrero, 2015
- Sillanpää, M. 1982. Micronutrients, and the nutrient status of soils. *Soil Bulletin No. 48.* FAO, Rome, Italy.
- Simko, I., R.J. Hayes, B. Mou, y J.D. McCreight. 2014. Lettuce and spinach. In: S. Smith, B. Diers, J. Specht, and B. Carver (Editors). *Yield gains in majors U.S. field crops.* ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI, USA. 53-85 p.
- Sosa, A. 2015. Actual status of spinach crop production on GAO, México. *Technical Report for Nutrilite-Amway Corporative.* Rancho El Petacal, Jalisco, México. 38 p.
- Sosa, A., A. Novela, J. Muro, A. Vega, G. Gordillo, y B. Augustin. 2013a. Benchmarking soil health on GAO, México. *Technical Report for Amway Corporative.* Rancho El Petacal, Jalisco, México. 23 p.
- Sosa, A., G. Ruíz, I. Bazante, A. Mendoza, J.D. Etchevers, J. Padilla, y J. Castellanos. 2013b. Absorción de nitrógeno, fosforo y potasio en zanahoria cultivada en el Bajío de México. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica.* 27-30. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/929B4ED2E397A70D05257C12005ECC52/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/929B4ED2E397A70D05257C12005ECC52/$FILE/Art%205.pdf)
- Sosa, A., J. Padilla, J. Ortiz, y J.D. Etchevers. 2012. Biomass accumulation and its relationship with the demand and concentration of nitrogen, phosphorus, and potassium in lettuce, *Comm. Soil Sci. Plant Analysis.* 43(1-2):121-133.

Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo

G.N. Ferraris^{1*}, M. Toribio², R. Falconi³ y F. Moriones²

Introducción

A nivel productivo, las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) no ocurren de manera aislada sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta a la fertilización y conocer su efecto sobre la fertilidad de los suelos. Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización NPS en la secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja (Mz-Sj-Tr/Sj-Ce/Sj). El proyecto se inició en la campaña 2006/07, con maíz como el primer cultivo, llegando a dos ciclos completos de la rotación en la campaña 2013/14. En este escrito se reporta el efecto de las diferentes estrategias de fertilización NPS sobre: 1) el rendimiento de Trigo/Soja 2013/14; 2) los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de ocho años (2006/07-2013/14); 3) la eficiencia de recuperación de P; y 4) la rentabilidad.

Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales, provincia de Buenos Aires, Argentina. Se planteó en un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones, integrando una rotación de seis cultivos en cuatro años (Mz-Sj-Tr/Sj-Ce/Sj). Cabe aclarar que en el segundo ciclo de la rotación se cambió Trigo/Soja por Cebada/Soja. Los tratamientos implicaron cinco manejos diferentes de fertilización, donde los fertilizantes fueron agregados en cobertura total al momento de la siembra (**Tabla 1**).

En la campaña 2013/14, los fertilizantes fosforados y azufrados se aplicaron al voleo al momento de la siembra del cultivo de trigo. Como fuentes de nutrientes se utilizaron superfosfato triple de calcio [0-46 (20 P)-0], superfosfato simple de calcio [0-20 (9 P)-0-12S] y urea granulada (46-0-0).

Determinaciones realizadas

En el suelo

Previo a la siembra de trigo se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, en cada uno de los bloques, se extrajo una muestra compuesta, que se usó para determinar pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P extractable (Bray I), N total, N-nitrato y S-sulfato.

En el cultivo

A cosecha se evaluaron el rendimiento de los cultivos y sus componentes, número y peso de los granos. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

Resultados y discusión

A. Efectos sobre los rendimientos anuales

Se determinaron diferencias significativas entre los rendimientos de todos los tratamientos entre 2006/07 y 2013/14 (**Figura 1**). En el maíz de 2006/07, los rendimientos máximos se alcanzaron en T4 y T5, los que a su vez superaron a T3, este a T2, y este a T1, respectivamente (**Figura 1a**). En 2007/08, los rendimientos máximos fueron en T5, superando a T2, T3 y T4, y estos a T1 (**Figura 1b**). En el ciclo siguiente, los cultivos estuvieron afectados por una fuerte sequía. En trigo, todos los tratamientos superaron al testigo, con el rendimiento máximo en T5. Los tratamientos de mayor fertilización permitieron leves mejoras en la concentración de proteína en grano. En la soja de segunda subsiguiente, T4 y T5 superaron a los tratamientos T1 y T2 (**Figura 1c**). En el ciclo 2009/10 no se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de cebada ($P > 0.10$), pero sí en soja de segunda, con el tratamientos T4 por encima de T2 y T5. A su vez, T4 y T3 superaron a T1 (**Figura 1d**). El comienzo de un nuevo ciclo de rotación en 2010/11 trajo rendimientos de maíz máximos en T3, T4 y T5, estos a su vez superaron a T2, y éstos a T1 (**Figura 1e**). Un resultado similar se determinó en 2011/12, donde todos los tratamientos superaron a T1 (**Figura 1f**). En la cebada de la campaña 2012/13, nuevamente todos los tratamientos superaron a T1, sin cambios significativos en el porcentaje de proteína. Las diferencias fueron más marcadas en soja de segunda, donde T3, T4 y T5 alcanzaron rendimientos significativamente superiores a T2, y éstos a los de T1 (**Figura 1g**). Finalmente, el Trigo de 2013/14 mostró rendimientos superiores en T5 vs T3, en T4 y T5 vs T2, y en T3, T4 y T5 vs T1, con una significativa ganancia de proteína. En soja de segunda, T3, T4 y T5 superaron a T1 (**Figura 1h**).

¹ Desarrollo Rural INTA Pergamino

² Profertil S.A. Investigación y Desarrollo

³ El Ceibo Cereales S.A.

* Autor de contacto. Correo electrónico: ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Tabla 1. Tratamientos y dosis (kg ha⁻¹) de N, P y S aplicados en promedio en los cultivos de Trigo/Soja – Maíz – Soja. En trigo y cebada se incluyen las demandas del doble cultivo, pero los fertilizantes fueron aplicados en su totalidad al primero. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2013/14, ocho años de ensayos.

Tratamiento	Criterio de fertilización	Maíz	Soja	Trigo	Soja 2da	Cebada	Soja 2da
Nitrógeno (N)							
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología uso actual	46	0	46	0	46	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	94	0	83	0	83	0
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	114	0	113	0	113	0
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	114	0	113	0	113	0
Fósforo (P)							
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología uso actual	16	16	16	0	16	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	30	22	16	15	16	15
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	30	26	20	22	20	22
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	46	42	36	22	36	22
Azufre (S)							
T1	Testigo sin fertilización	0	0	0	0	0	0
T2	Tecnología uso actual	0	0	0	0	0	0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	18	12	7	8	7	8
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	22	15	9	11	9	11
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	22	15	9	11	9	11

B. Efectos sobre los rendimientos acumulados, el balance de nutrientes y su nivel final en el suelo luego de ocho años: 2006/07 a 2013/14

La productividad acumulada de la secuencia –doce cultivos en ocho campañas– mantuvo su tendencia coherente en ampliar la diferencia entre tratamientos con el paso del tiempo. Así, mientras el testigo acumuló 36 924 kg grano ha⁻¹, el tratamiento T5 de reconstrucción llegó a 57 952 kg ha⁻¹, siendo la brecha de rendimiento de 57% (**Figura 2**). Esta brecha es superior a la observada por Correndo et al. (2015) en un ensayo de 14 campañas sobre un sitio de buena fertilidad en la secuencia maíz – soja – trigo/soja. Sin embargo, es

inferior a la que estos mismos autores determinaron en un ambiente de menor fertilidad inicial, cultivado con la secuencia maíz – trigo/soja.

Con los datos de concentración de nutrientes en grano, los rendimientos y la dosis aplicada de cada uno de ellos es posible estimar el balance para cada tratamiento (**Tabla 2**). El balance de N fue negativo para todas las estrategias, incluso considerando el aporte por fijación biológica (FBN). Aun ponderando los ingresos vía este mecanismo, los balances variaron desde -288 a -562 kg N ha⁻¹. Aunque el balance de N en los cultivos de gramíneas tiende a ser neutro o positivo (datos no mostrados), el cultivo de soja –al no fertilizarse con N– genera los mayores balances negativos, dado que la

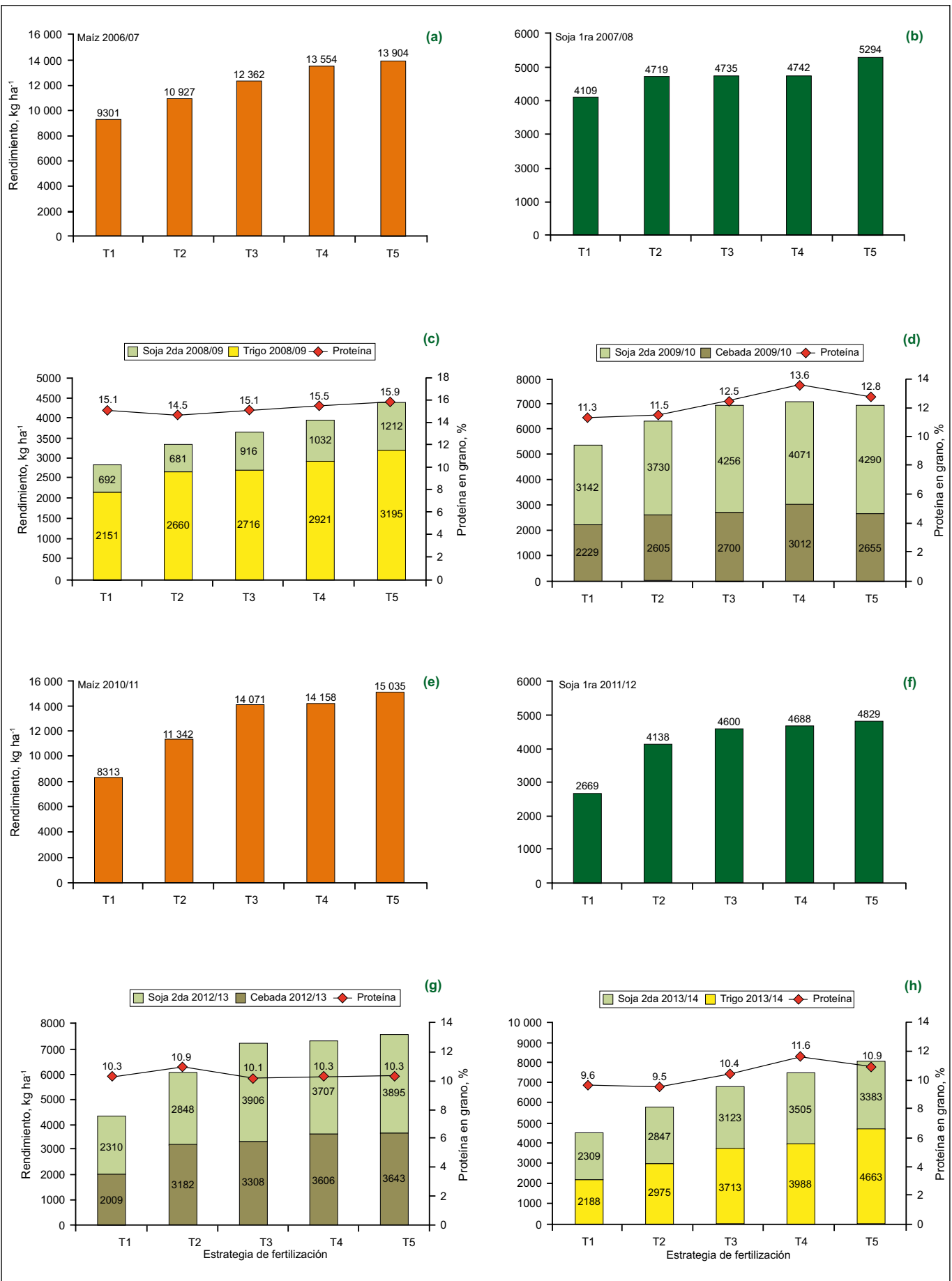


Figura 1. Rendimiento anualizado de diferentes estrategias de fertilización. Dentro de cada cultivo, letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Para los cultivos de trigo y cebada, se indican las concentraciones de proteína en grano. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2014/15.

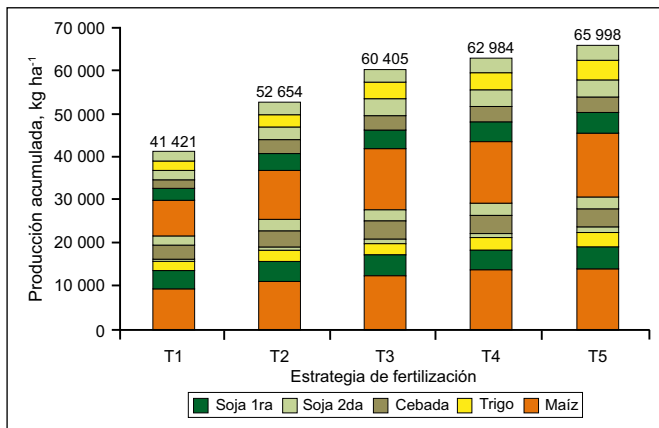


Figura 2. Producción por cultivo (kg ha⁻¹) de diferentes estrategias de fertilización acumulada en una secuencia maíz – soja – trigo/soja – cebada/soja – maíz – soja – cebada/soja – trigo/soja. Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2013/14.

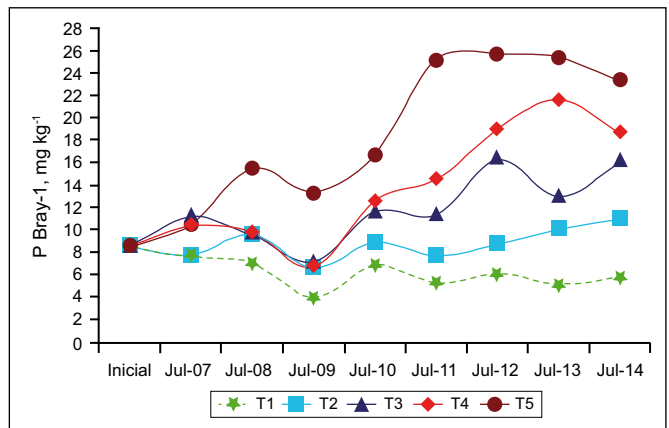


Figura 3. Evolución del P extractable en suelo (Bray-1, 0-20 cm) según estrategia de fertilización, luego de ocho campañas y doce cultivos. Los valores presentados son promedio de cuatro repeticiones.

FBN cubre aproximadamente la mitad de la demanda del cultivo (Collino et al., 2015).

En P y S, los tratamientos testigo y de tecnología de uso actual (T1, T2) reflejaron un balance negativo, mientras que en aquellos de reposición se sobreestimó la extracción del nutriente dando como resultado un balance positivo (T3, T4, T5) (Tabla 2). Esto estaría asociado a concentraciones en grano inferiores a las inicialmente estimadas. A modo de ejemplo, la concentración de P en grano de soja en nuestro experimento fue de 0.42%, frente al valor medio sugerido de 0.5% (IPNI, 2013). Concentraciones de P en grano inferiores a los valores tabulados, a partir de los cuales se diseñaron tratamientos de reposición, fueron observadas por Ventimiglia et al. (2012), quien bajo una secuencia de soja continua determinó una concentración de 0.29 a 0.35% de P en grano. Por su parte, Berardo (2003) propone concentraciones de P en grano de soja de 0.5% (0.4-0.6), similares a los máximos observados en nuestro experimento.

La evolución en el tiempo de la concentración de P Bray-1 en suelo (Figura 3) reflejó las tendencias observadas en los balances de Tabla 2. Incrementos muy notables en

el P Bray-1 como resultado de un balance positivo de P fueron documentados por Mallarino y Prater (2007), quienes postulan que la tasa de incremento de P en suelo es superior en el rango medio de disponibilidad, y que una vez alcanzado un nivel alto es necesario agregar mayores dosis de P para mantener/aumentar su concentración en el suelo, por el permanente pasaje de P en solución o adsorbido a fracciones más estables.

Los niveles de MO, N total y el pH no manifestaron cambios importantes, aunque el testigo fue el tratamiento con menores niveles finales de MO más bajo y pH más alto, de acuerdo con su menor aporte de residuos, menor exportación de bases y la ausencia de efecto acidificante de los fertilizantes (Tabla 3). Es probable que los plazos abarcados por esta experiencia sean todavía breves para reflejar efectos de mayor magnitud. Apoyando estos resultados, el promedio de cinco sitios de una red conducida por los grupos CREA en el sur de Santa Fe mostró luego de 13 años una caída de MO de 3.1 a 2.7%, y un incremento en el pH de 5.7 a 6.1 en el tratamiento testigo, en comparación con la fertilización permanente con NPS (Boxler et al., 2013).

Tabla 2. Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha⁻¹) para los diferentes tratamientos durante la secuencia 2006/07 a 2013/14. Los datos de rendimiento y extracción de nutrientes en grano fueron ajustados a 13% de humedad. Cuando se pondera el N aportado por fijación biológica de N (FBN), se considera que el 50% en leguminosas proviene de esa fuente.

Tratamiento	Agregado				Extracción			Balance			
	N (Fertilizante)	N (FBN)	P	S	N	P	S	N (Fertilizante)	N (FBN)	P	S
kg ha ⁻¹											
T1	0	509	0	0	1071	111	41	-1071	-562	-111	-41
T2	276	616	128	0	1323	152	49	-1047	-431	-24	-49
T3	454	662	230	120	1488	169	62	-1034	-372	61	58
T4	599	698	291	154	1585	179	63	-986	-288	112	91
T5	599	694	419	154	1639	196	68	-1040	-346	223	86

Tabla 3. Análisis de suelo (0-20 cm) luego de ocho campañas, y su comparación con el nivel al inicio del experimento. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	MO %	pH	N total %	N-NO ₃ ⁻ 0-40 cm kg ha ⁻¹	P Bray-1 mg kg ⁻¹	S-SO ₄ ⁻² mg kg ⁻¹
Inicial	2.38	5.6	0.119	17.8	8.5	13.8
T1	2.62	5.60	0.131	20.0	5.8	8.2
T2	2.67	5.45	0.133	18.3	11.0	8.2
T3	2.55	5.45	0.127	20.4	16.1	9.5
T4	2.62	5.40	0.131	20.6	18.6	8.4
T5	2.64	5.45	0.132	22.6	23.2	8.5

La relación entre el balance de P (**Tabla 2**) y el P Bray-1 determinado en el suelo al final de la cosecha (**Figura 3**, **Tabla 3**) permite estimar la tasa de cambio en función de la extracción o reposición del nutriente. En la **Figura 4**, la inversa de la pendiente que relaciona estos parámetros indica la dosis de P o balance negativo necesario para variar en 1 mg kg⁻¹ el nivel del análisis de P Bray-1 en el suelo. De acuerdo con este análisis, por cada 5.4 kg P ha⁻¹ por sobre o debajo de lo extraído por cosecha, el nivel de P en suelo cambiaría en una unidad. Esta tasa de cambio ha bajado en los últimos años, luego de alcanzar un máximo en 2009, luego del tercer año de ensayo. Es probable que la acumulación de fracciones lábiles de P sature cargas positivas y disminuya así la adsorción del P aportado mediante fertilización, permitiendo ganancias de P marcadas en las estrategias ubicadas en el lado positivo del balance. En otros experimentos fue observado un rango de variación relativamente estable a lo largo del tiempo

(Messiga et al., 2010). La pendiente de la relación entre nivel final de P y balance es más consistente y presenta mayor ajuste en el rango de balance negativo en comparación con el lado positivo, donde se observa una mayor variabilidad de datos (**Figura 4**). En algunos casos, particularmente provenientes de los años 2012, 2013 y en menor medida 2014, pareciera dividirse la pendiente, siendo de menor magnitud en los procesos de ganancia de P que en los de pérdida. Este comportamiento dual fue observado por Ciampitti (2009), a partir de ensayos conducidos en el sur de Santa Fe, sobre suelos similares a los de este sitio experimental. Sin embargo, si en el presente ensayo se dividiese la pendiente de la relación en dos tramos (de balance de P negativo y positivo), no diferirían de una pendiente única, por lo que se decidió mantener esta última ($P > 0.10$).

Eficiencia de recuperación de P según cultivo y estrategia de fertilización

En función de la dosis de P aplicada, los rendimientos y la concentración de P en grano se calculó la eficiencia de recuperación del fertilizante aplicado. La absorción de P en planta entera se estimó a partir de los valores de P en grano y los índices de cosecha de P propuestos por IPNI (2013).

La eficiencia de recuperación de P en planta entera osciló entre 0.24 y 0.36, siendo menor en la medida en que aumentó la dosis aplicada (**Figura 5**). Estos valores se encuentran dentro del rango de 0.10 a 0.35 propuesto por diferentes autores (Ciampitti, 2009; Johnston y Syers, 2009; Rubio et al., 2008). Los cultivos mostraron una capacidad variable de recuperación del fertilizante aplicado (**Figura 6**). El comportamiento general muestra una mayor eficiencia en cultivos de verano con relación a los de invierno, entre los de primera siembra. En campañas climáticamente similares, el maíz del quinto año asimiló mayor proporción de fertilizante que el del primero, probablemente a causa de la acumulación de fracciones lábiles de P con las sucesivas fertilizaciones. En cambio, la soja absorbió en planta una proporción similar entre la campaña 2007/08 y 2011/12, aunque

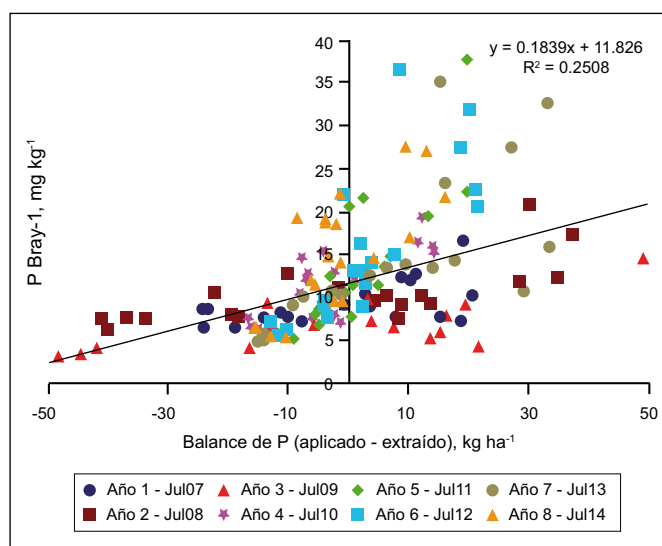


Figura 4. Relación entre el nivel de P extractable en suelo a cosecha (0-20 cm, mg kg⁻¹) luego de ocho años y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha⁻¹) determinado en cada tratamiento. Campañas 2006/07 a 2013/14. La inversa de la pendiente indica la cantidad de P que es necesario agregar (o retirar) para variar la concentración de P en suelo en 1 mg kg⁻¹.

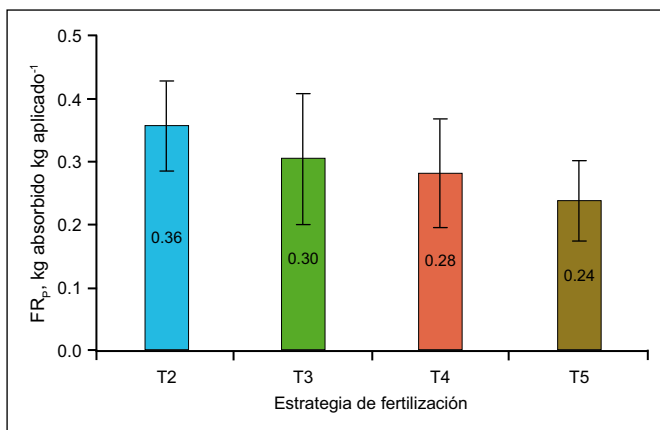


Figura 5. Fracción de fósforo recuperada en planta entera según estrategia de fertilización. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2013/14.

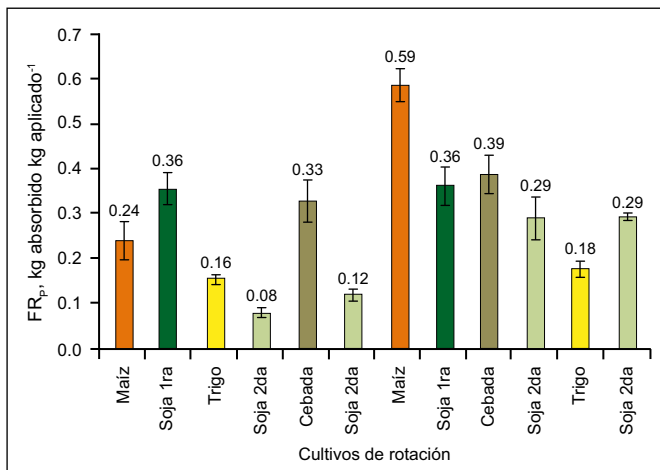


Figura 6. Fracción de fósforo recuperada en planta entera según cultivo. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media. Ensayo de larga duración, Arribeños, General Arenales. Campañas 2006/07 a 2013/14.

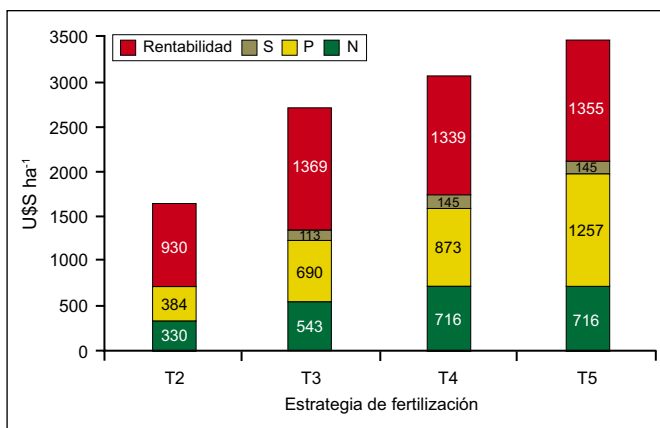


Figura 7. Ingreso adicional de las estrategias de fertilización y su distribución en inversión en fertilizantes nitrogenados, fosforados, azufrados y la rentabilidad de la fertilización. Valores expresados en US\$ con precios de insumos, cereal y gastos de comercialización actualizados a noviembre de 2014.

esta última fue notoriamente más seca que la primera. La soja de segunda fue el cultivo con menor eficiencia de captura del P agregado en la secuencia –fue aplicado antes del cultivo de invierno– afectado por la mayor capacidad de la gramínea para absorber nutrientes, su siembra en segundo lugar después de la fertilización, y los periodos secos que suele atravesar un cultivo de segunda sin barbecho previo. Por último, el trigo y la soja de la campaña seca 2008/09 recuperaron muy poco fertilizante en comparación con la cebada/soja de los ciclos húmedos 2009/10 y 2012/13, o la misma secuencia de trigo/soja en la campaña 2013/14 (**Figura 6**). El rango de valores de eficiencia de recuperación de los fertilizantes reportados por la bibliografía es muy amplio, y está influenciado por factores de suelo y cultivo tales como textura, nivel de P inicial, pH, presencia de Calcio (Ca) y carbonatos, precipitaciones, dosis aplicada y rendimiento del cultivo, entre otros factores.

Rentabilidad de la fertilización

En la **Figura 7** se muestra la distribución del ingreso entre inversión en fertilizantes y rentabilidad de la fertilización, acumulada luego de 8 años, actualizando los precios de cereal y fertilizantes a noviembre de 2014. La fertilización fue económicamente rentable. La estrategia de mínima o uso actual (TUA-T2) alcanzó menor rentabilidad que aquellas de reposición o reconstrucción. Estas últimas evidenciaron una rentabilidad similar entre sí. De este modo, el T3 (Reposición PS para rendimientos moderados) expresó mayor retorno a la inversión, pero el aporte adicional especialmente de P para reconstrucción significa una capitalización, por el mayor nivel de P en suelo y los aportes de carbono (C) adicionales derivados de mayores rendimientos. Otros autores mencionan la conveniencia económica de la fertilización. En un análisis realizado para soja, el cultivo cuya respuesta es más ajustada, Miguez y Daverede (2015) destacan la conveniencia económica de fertilizar con P aun cuando sólo se pondere la respuesta del primer año. Correndo et al. (2015), sobre ensayos de la Red CREA sur de Santa Fe, destacan la conveniencia económica en el largo plazo de la reposición con NPS, aunque esta adquirió mayor dimensión en sitios con fuerte degradación inicial y secuencias intensivas de cultivo que aseguran una demanda permanente de nutrientes en el tiempo.

Consideraciones finales

- Las estrategias de fertilización impactaron en los rendimientos, modificaron el balance de nutrientes y este a su vez correlacionó fuertemente con los niveles finales de P en suelo.
- Las diferencias en producción de granos entre estrategias se amplían campaña tras campaña. Así, la diferencia entre los tratamientos T5 y T1 alcanza luego de 8 años y 12 cultivos un 59.3%.

- Para P y S, estrategias pensadas como de reposición finalmente resultaron ser de reconstrucción. Por este motivo, antes de evaluar la viabilidad técnica y económica de un esquema de fertilización, es importante cuantificar los niveles de entrada y salida de nutriente para un sistema productivo y ambiente en particular.
- Diferentes dosis de aplicación de nutrientes generaron cambios previsible de su disponibilidad en el suelo. Luego de ocho años de experimentación, la tasa de cambio fue de 1 mg kg⁻¹ de P Bray (0-20 cm) por cada 5.43 kg P ha⁻¹ de diferencia entre agregado y extracción. La relación cambia ligeramente año tras año, con una tendencia a disminuir evidenciando una acumulación de fracciones lábiles en el suelo. Sin embargo, la relación se tornó más robusta y no se verificaron cambios sustanciales desde el sexto año en adelante.
- La recuperación media de P en planta entera –estimando un índice de cosecha de referencia– alcanza alrededor de un 30% del P aplicado, en coincidencia con los valores mencionados en la bibliografía.
- La fertilización resultó económicamente rentable. Las estrategias de reposición y reconstrucción (T3, T4 y T5) resultaron con rentabilidades equivalentes, aun sin considerar la capitalización en nutrientes ante balances más positivos como consecuencia de las mayores dosis de aplicación en todos los nutrientes.

Bibliografía

Berardo, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio “El fósforo en la agricultura Argentina”. INPOFOS. Rosario, 8 y 9 de mayo del 2003.

Boxler, M., F.O. García, A. Correndo, S. Gallo, R. Pozzi, M. Uranga, F. Bauschen, H. Rivero, N. Reussi Calvo, y A. Berardo. 2013. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos. Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados de la campaña 2012/13: Maíz, 25 pp. Disponible on-line www.ipni.net/lacs

Ciampitti, I.A. 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. M.Sc. thesis. FA-UBA. Buenos Aires, Argentina. XX p.

Collino, D., F. Salvagiotti, A. Peticari, C. Piccinetti, G. Ovando, S. Urquiaga, y R.W. Racca. 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationship with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil*, April 2015. DOI: 10.1007/s11104-015-2459-8.

Correndo, A., M. Boxler, y F. García. 2015. Análisis económico del manejo de la fertilización con enfoque en el largo plazo. *Ciencia del Suelo* 33(2). En prensa.

Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot. 2012. 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*. 6:2-6.

Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. *Actas CD Simposio Fertilidad 2015*. pp. 137-142. “Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro”. Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur – Fertilizar AC.

IPNI. 2013. Cálculo de requerimientos nutricionales. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes en cereales, oleaginosas, industriales y forrajeras. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. Disponible on line <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>.

Johnston, A., y J.K. Syers. 2009. A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture. *Better Crops/Vol. 93* (2009, No 3).

Mallarino, A.P., y J. Prater. 2007. Corn and soybean grain yield, P removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. *Proceeding 19th Annual Integrated Crop Management Conference*, Ames, Iowa State University.

Messiga, A.J., N. Ziadi, D. Plenet, L.E. Parent, y C. Morel. 2010. Long-term changes in soil phosphorus status related to P budgets under maize monoculture and mineral P fertilization. *Soil Use and Management*, 26, 354-364.

Miguez, F., e I. Daverede. 2015. Análisis económico de rotaciones y fertilización en soja. pp. 155-158. *Actas del Simposio Fertilidad 2015. Sesión de Posters*. Cd-ROM.

Rubio, G., M.J. Cabello, F.H. Gutiérrez Boem, y E. Munaro. 2008. Estimating available soil P increases after P additions in Mollisols. *Soil Science Soc. Amer. J.* 72:1721-1727.

Ventimiglia, L., L. Torrens Baudrix, y M. Saks. 2012. Fósforo en la monocultura sojera: efecto de la dosis, forma y momento de aplicación sobre el balance nutricional. *Informaciones Agronómicas Hispanoamérica* 6:23-26.

¿El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz?

Pablo A. Barbieri^{1,2}, Hernán R. Sainz Rozas^{1,2,5}, Hernán E. Echeverría^{1,5}, Fernando Salvagiotti¹, Pablo Barbagelata¹, Miriam Barraco¹, Juan C. Colazo¹, Gustavo Ferraris¹, Héctor S. Sánchez¹, Raúl H. Cáceres Díaz¹, Nahuel I. Reussi Calvo^{3,5}, Gabriel Esposito⁴, Mercedes Eyherabide¹ y Braian Larsen⁵

Introducción

La producción de granos en la región pampeana se ha incrementado sustancialmente durante los últimos años. A su vez, la intensificación de la actividad agrícola, la falta de rotaciones con pasturas y la mayor frecuencia del cultivo de soja han producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica (MO) de los suelos de la región pampeana y extrapampeana (Sainz Rozas et al., 2011), los que en algunos casos, dependiendo del tipo de suelo y textura, presentan solo el 50% de su nivel original (Alvarez, 2001; Lavado, 2006). Además, esta caída en los niveles de MO se ha producido fundamentalmente a expensas de la disminución de las fracciones más lábiles, que son las que poseen mayor capacidad de liberar nutrientes (Brady y Weil, 1999). El agotamiento de dichas fracciones explicaría la respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N) (Echeverría y Sainz Rozas, 2005) y, en menor medida, a azufre (S) (Urricarriet y Lavado, 1997; Reussi Calvo et al., 2008), pudiendo también generar condiciones de deficiencias de zinc (Zn) (Catlett et al., 2002). A su vez, el pH de los suelos y los niveles de fósforo (P) extractable (Bray y Kurtz, 1945; P-Bray) han disminuido por la actividad agrícola (Sainz Rozas et al., 2013). La disminución del pH y del P-Bray podrían generar aumentos en la disponibilidad de Zn para los cultivos (Wang y Harrell, 2005; Alloway, 2009).

La deficiencia de micronutrientes puede limitar las funciones metabólicas de las plantas, más allá de ser requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento y desarrollo. Las deficiencias de Zn son menos frecuentes que las de N, P y S en los suelos de la región pampeana, ya sea por no manifestarse en forma aguda, o porque debido a la falta de investigación, no se las ha detectado e informado (Fontanetto et al., 2009). Sin embargo, la mayor exportación de Zn en grano, la escasa o nula aplicación del mismo y la mayor frecuencia de soja en las rotaciones, podrían generar condiciones de deficiencia de este micronutriente. En un relevamiento de suelos de aptitud agrícola de la región pampeana realizado en la década del '80, se determinó que los contenidos de Zn se ubicaban por debajo de la media internacional y próximos a los umbrales de deficiencia, pudiendo ser limitantes para el cultivo de maíz (Sillanpaa, 1982). Más recientemente, se determinó que los niveles de Zn en suelos bajo agricultura han disminuido notablemente

respecto de la situación prístina (70%), determinándose que el 50% de las muestras (n = 550) mostraron valores iguales o menores a 0.9 mg Zn kg⁻¹ (Sainz Rozas et al., 2013), valor considerado como crítico para la normal producción de los cultivos por la bibliografía internacional (Sims y Johnson, 1991).

El desarrollo de métodos adecuados de diagnóstico para evaluar la disponibilidad de Zn es clave para un manejo racional del mismo. El extractante más utilizado es el ácido dietileno triamino penta acético (DTPA) propuesto por Lindsay y Norvell (1978). El mecanismo de acción de este extractante es a través de la formación de complejos con los cationes solubles del suelo, lo que provoca el desplazamiento de aquellos que se encuentran en los sitios de intercambio y formando complejos con la MO. Melgar et al. (2001), trabajando en el noreste de Buenos Aires y el sudeste de Santa Fe, informaron respuesta al agregado de Zn (5 de 14 sitios), aunque la misma no se asoció con el Zn extractable por Mehlich-3 (M3). Es válido destacar que se ha informado una elevada relación entre las cantidades extraídas por DTPA y M3, aunque esta última extrae entre dos y tres veces más Zn que el DTPA (Rodríguez et al., 2005). Esto sugeriría que además del Zn extractable podría ser necesario incluir en los modelos de diagnóstico otras variables de suelo relacionadas con la disponibilidad de Zn, tales como MO, pH y P extractable (Bray y Kurtz, 1945; P-Bray).

En Molisoles de la región pampeana, se determinó una baja relación ($r^2 = 0.01-0.04$) entre el Zn-DTPA y variables de suelo como MO, pH y P-Bray (Sainz Rozas et al., 2013), lo que indica la existencia de baja correlación entre las mismas. Por el contrario, Esposito et al. (2010), para Molisoles del sur de Córdoba, informaron una elevada asociación ($r^2 = 0.83$) entre Zn-DTPA y MO. Por lo tanto, es necesario contar con información proveniente de estudios de respuesta a la aplicación de Zn en los cuales se evalúe la relación entre estas variables y si su inclusión en un modelo múltiple (Zn-DTPA+MO+pH+P-Bray), permite un mejor diagnóstico de la disponibilidad de Zn que la utilización de una única variable (Zn-DTPA).

El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización con Zn en la región pampeana y extrapampeana, y desarrollar un método de diagnóstico de la disponibilidad de Zn para el cultivo.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA
² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET
³ Laboratorio de Suelos FERTILAB
⁴ Universidad Nacional de Río Cuarto, UNRC
⁵ Universidad Nacional de Mar del Plata, UNMdP
* Autor de contacto. Correo electrónico: sainzrozas.hernan@inta.gov.ar

Materiales y métodos

Durante las campañas 2009-2014 se realizaron 51 ensayos de fertilización con Zn en el cultivo de maíz en la región pampeana y extrapampeana (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, San Luis y Chaco). En la **Tabla 1** se presenta los estadísticos descriptivos de las variables edáficas de los sitios experimentales. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados (DCBA) con dos niveles de Zn (con y sin aplicación) y la fuente fue ZnSO₄. La fertilización con Zn fue aplicada al suelo, junto con la semilla o en forma foliar en estadíos de V2 o V6, siendo esta última la aplicación más frecuente. La dosis al suelo fue de 3 a 4 kg Zn ha⁻¹, a la semilla de 0.1 a 0.15 kg Zn ha⁻¹, y la foliar de 0.4 a 0.7 kg Zn ha⁻¹. En todos los sitios antes de la siembra se realizó un muestreo de suelo (0-20 cm) en donde se determinó: pH, MO (Walkey y Black, 1934), P-Bray y contenido de Zn-DTPA, según la metodología propuesta por Lindsay y Norvell (1978).

Se aplicaron las mejores prácticas de manejo para cada región tanto en híbridos, densidad de plantas, espaciamento entre hileras y control de malezas e insectos. Todos los experimentos fueron fertilizados con N, P y S, de manera que estos no limiten el rendimiento.

Se determinó el rendimiento en grano ajustado al 14% de humedad. El rendimiento relativo (RR) del tratamiento sin Zn (Zn0) se calculó como el cociente entre el rendimiento en grano promedio del tratamiento Zn0 dividido por el rendimiento promedio del tratamiento fertilizado con Zn (+Zn) multiplicado por 100:

$$RR = [(Zn0 / +Zn) * 100]$$

El análisis de la varianza se realizó mediante el uso del programa PROC MIXED incluido en SAS 9.2 (SAS Inst., 2008). Los datos fueron analizados usando un diseño en parcelas divididas en donde la parcela principal fue el sitio experimental y la sub parcela los tratamientos de fertilización con Zn. Se trabajó con un nivel de probabilidad de 0.10. Se realizaron análisis de regresión entre el RR y las variables edáficas medidas utilizando las rutinas del programa SAS 9.2 (SAS Inst., 2008). La normalidad de los datos fue testeada usando el test de Shapiro y Wilk al 0.05. También se utilizó el método estadístico propuesto por Cate y Nelson (1971) para evaluar la relación entre el RR y el contenido de Zn-DTPA en presiembr.

Resultados y discusión

Los suelos de los sitios en donde se llevaron a cabo los experimentos mostraron amplia variación en las propiedades edáficas, particularmente en el caso del P-Bray y del Zn-DTPA (**Tabla 1**). Todas las variables mostraron distribución no-normal, particularmente el P-Bray y el Zn-DTPA (**Tabla 1**), por lo que estas fueron transformadas por Log₍₁₀₎ antes de ser utilizadas como variables predictivas del RR.

El rendimiento en grano fue afectado por la interacción sitio x tratamiento de fertilización (P ≤ 0.01), debido

a la variación de la respuesta según combinación sitio-año (entre -725 y 2430 kg ha⁻¹). Se determinó respuesta significativa a la fertilización con Zn en 13 de los 51 sitios, lo que representa el 25% de los casos. El incremento promedio en los sitios con respuesta significativa fue de 1032 kg ha⁻¹, con un rango de 305 a 1990 kg ha⁻¹ (**Figura 1**). Estos sitios con respuesta mostraron valores de Zn-DTPA en suelo que oscilaron de 0.5 a 1.3 mg kg⁻¹.

Es importante destacar que la respuesta no fue afectada por el rendimiento de cada sitio (**Figura 1**), dado que la misma no se relacionó con el rendimiento máximo de cada sitio (+Zn; P ≥ 0.63; r² = 0.02). Esto sugiere que, como para otros nutrientes de baja movilidad (por ejemplo P), la mejora en el rendimiento por incidencia de otros factores (por ejemplo agua) no produce mayor respuesta en condiciones de baja disponibilidad de Zn. Este efecto sería atribuido al incremento del crecimiento del sistema radicular y, por ende, de la capacidad de exploración

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del pH, materia orgánica (MO), fósforo extractable (P-Bray) y del Zn extractable con DTPA (Zn-DTPA) del horizonte superficial (0-20 cm de profundidad) de los sitios experimentales (n = 51).

Estadísticos	----- Variables de suelo -----			
	pH	MO %	P-Bray	Zn-DTPA -----mg kg ⁻¹ -----
Promedio	6.06	3.22	25.6	1.52
Mediana	5.93	2.36	16.3	1.10
Valor mínimo	5.30	0.75	4.90	0.13
Valor máximo	7.90	7.35	193	7.07
Coefficiente de variación (%)	8.30	55.6	119	84.5

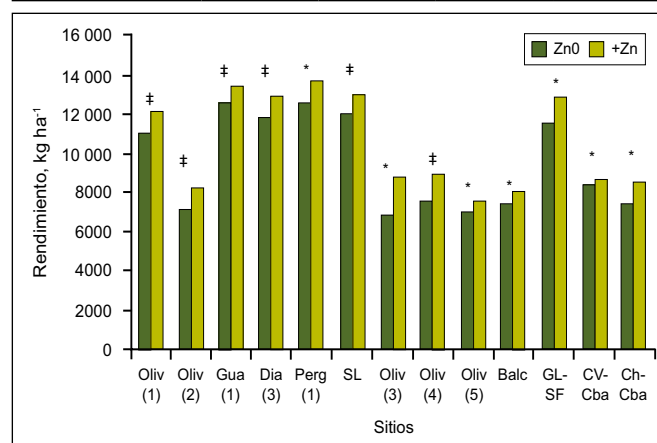


Figura 1. Rendimiento del tratamiento sin Zn (Zn0) y con el agregado de Zn (+Zn) en los sitios con respuesta al agregado de Zn (13 de 51 sitios). Oliv = Oliveros (Santa Fe); Gua = Gualaguay (Entre Ríos); Dia = Diamante (Entre Ríos); Perg = Pergamino (Buenos Aires); SL = San Luis; Balc = Balcarce (Buenos Aires); GL-SF = Villa Cañas (General López, Santa Fe); CV-Cba = Cuatro Vientos (Córdoba); Ch-Cba = Chaján (Córdoba). ‡, *: Significativo al 0.10 y 0.05, respectivamente.

Tabla 2. Modelo de regresión múltiple para predecir el rendimiento relativo (RR) debido a la aplicación de Zn en suelos de la región pampeana y extrapampeana.

Variable dependiente	Variable	Valor del parámetro	p valor	r ² parcial	r ² total
RR (%)	Intercepto	69.2	0.001		0.23
	Log ₍₁₀₎ Zn-DTPA [†]	5.57	0.020	0.20	
	Log ₍₁₀₎ MO [‡]	5.64	0.080	0.03	

Variables seleccionadas de acuerdo al procedimiento stepwise al 0.10 de nivel de probabilidad.
[†] Zn extractable con DTPA (mg kg⁻¹).
[‡] Materia orgánica (%).

del suelo por mejoras en las condiciones de crecimiento (Gutiérrez Boem y Steinbach, 2012).

Se determinaron asociaciones significativas ($p \leq 0.05$) entre la concentración de Zn-DTPA con la MO y el P-Bray, mientras que la misma no se relacionó con el pH del suelo (Figura 2). No obstante dichas asociaciones fueron bajas, por lo que estas variables podrían ser utilizadas

en un modelo múltiple para predecir la respuesta a la aplicación de Zn. Sin embargo, cuando se relacionó el RR con las variables de suelo solo el Zn-DTPA y la MO contribuyeron significativamente, aunque ambas variables solo explicaron el 23% del RR (Tabla 2). Es válido destacar que aun cuando algunos sitios mostraron valores muy elevados de P-Bray, esta variable no influyó sobre el RR, aunque se ha informado que una elevada disponibilidad de P puede incrementar la respuesta a Zn en suelos con contenidos deficientes o cercanos a los umbrales críticos (Havlin et al., 2005) o incrementar la adsorción del mismo sobre óxidos e hidróxidos de Fe (Wang y Harrell, 2005). La escasa asociación entre el RR y el Zn-DTPA puede ser debida al efecto de otros factores edáficos (textura, temperatura, compactación, disponibilidad de agua, actividad biológica) sobre la movilidad y absorción de nutrientes poco móviles como el Zn. En este sentido, Astiz Imaz et al. (2014) informaron que la inoculación de plantas de maíz con micorrizas indígenas incrementó la asimilación de Zn respecto a plantas no inoculadas. Esto indica que para un mismo nivel de disponibilidad de Zn, la variación de la actividad biológica puede causar diferencias en la absorción de Zn y, por lo tanto, en la magnitud de la respuesta al agregado del mismo. No obstante, la concentración de Zn-DTPA fue eficiente para separar sitios de probable respuesta de aquellos de respuesta improbable, ya que el 75% del total de sitios se ubicó en los cuadrantes positivos. El umbral para el logro del 97% de RR fue de 1 mg kg⁻¹ (Figura 3).

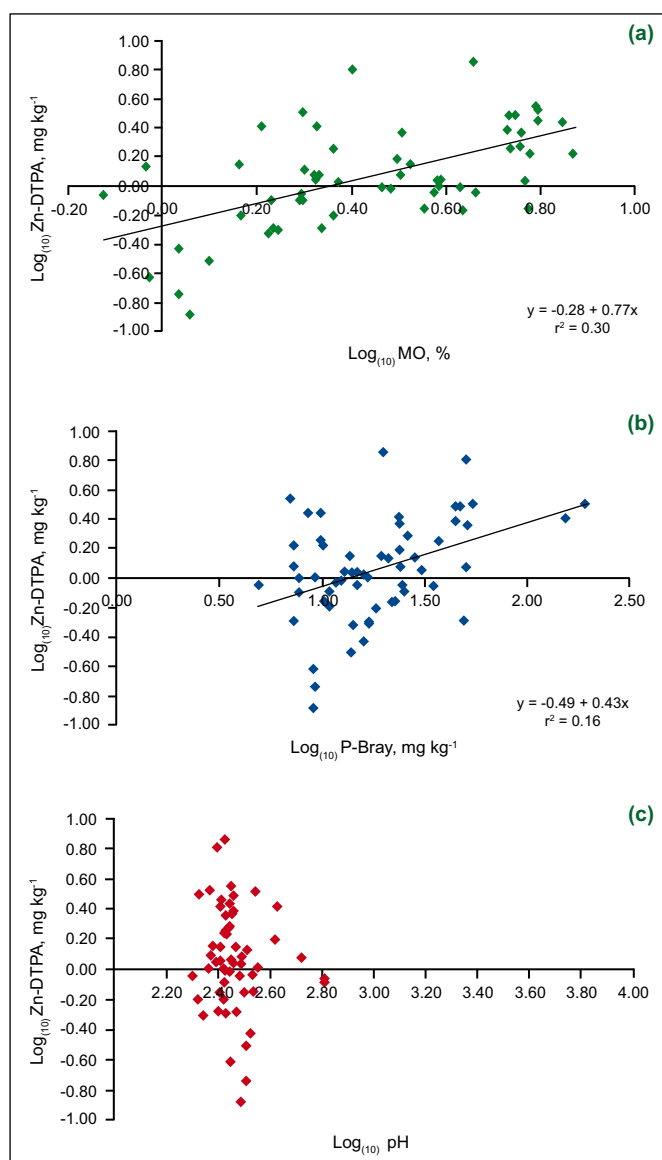


Figura 2. Relación entre el Zn-DTPA y la concentración de MO (a), P-Bray (b) y el pH (c) del suelo en presiembra (0-20 cm) en los 51 sitios.

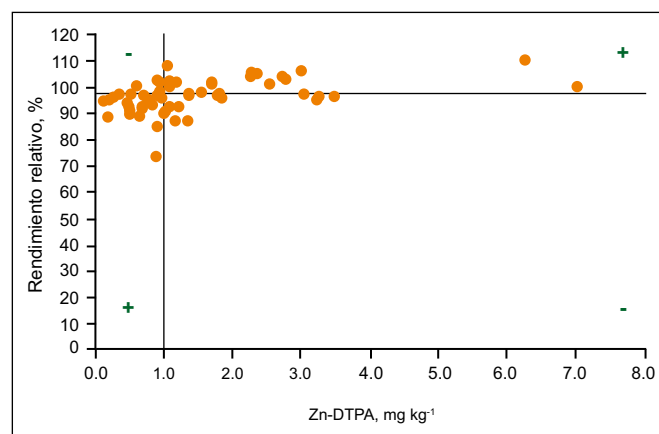


Figura 3. Relación entre el rendimiento relativo (RR) del tratamiento sin Zn (Zn0) y la concentración de Zn-DTPA en el suelo (0-20 cm) en presiembra.

La concentración crítica determinada es cercana al rango de valores críticos (0.85 a 0.90 mg kg⁻¹) informado para el cultivo de maíz y soja (Lindsay y Norvell, 1978; Havlin y Soltanpour, 1981; Anthony et al., 2012).

Los resultados de este estudio constituyen un avance para el diagnóstico de la disponibilidad de Zn y el manejo de la fertilización, dado que hasta el momento no se disponía de información local que sintetizara resultados que abarquen un amplio rango de condiciones edafoclimáticas. En particular, se validaron los umbrales de Zn en el suelo que generalmente se emplean en otras zonas productivas a nivel mundial.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que la disponibilidad de Zn podría limitar el rendimiento del cultivo de maíz. La concentración de Zn-DTPA en el suelo permitió separar adecuadamente sitios con y sin deficiencia de dicho nutriente.

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto INTA PNSUELO-1134024 y por el proyecto de la FCA-UNMdP 15/A464-AGR 464/14. Se agradece al laboratorio de suelos FERTILAB por su colaboración en el análisis de las muestras.

Bibliografía

- Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environ. Geochem. Hlth.* 31:537-548.
- Astiz Imaz, P., P.A. Barbieri, H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, y F. Covacevich. 2014. Indigenous mycorrhizal fungi from Argentina increase Zn nutrition of maize modulated by Zn fertilization. *Soil Environ.* 33:23-32.
- Anthony, P., G. Malzer, S. Sparrow, y M. Zhang. 2012. Soybean yield and quality in relation to soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 104:1443-1458.
- Alvarez, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century Model. *Soil Use and Man.* 17(2):62-66.
- Brady, N.C., y R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soil.* 20th ed. Prentice-Hall, New Jersey, USA. 881 p.
- Bray, R.H., y L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cate R., y L. Nelson. 1991. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35(4):658-660.
- Catlett, K.M., D.M. Heil, W.L. Lindsay, y M.H. Ebinger. 2002. Soil chemical properties controlling zinc +2 activity in 18 Colorado soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1182-1189.
- Echeverría, H.E., y H.R. Sainz Rosas. 2005. Nitrógeno. En: H.E. Echeverría, y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 69-95.
- Espósito G.P., G. Balboa, C.A. Castillo, y R. Balboa. 2010. Disponibilidad de zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el sur de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gialivera, C. Negro, y L. Belotti. 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA Argentino. *Mejores Prácticas de Manejo. Simposio Fertilidad 2009* (Santa Fe, Rosario, may 13-14). pp. 109-118.
- Gutiérrez Boem F.H., y H.S. Steinbach. 2012. Leyes de la fertilidad. En: Álvarez R., P. Prystupa, M.B. Rodríguez, C.R. Álvarez (eds.). *Fertilización de cultivos y pasturas: diagnóstico y recomendación en la región pampeana.* Editorial Facultad Agronomía, Buenos Aires, Argentina. 656 p.
- Havlin, J.L., y P.N. Soltanpour. 1981. Evaluation of the NH₄HCO₃-DTPA soil test for iron and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:70-75.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson. 2005. Basic micronutrients. In: *Soil Fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.* 7th ed. pp. 244-297.
- Lavado, R. 2006. La región Pampeana: Historia, características y uso de sus suelos. En: Álvarez R. (ed.) *Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos"* Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-11.
- Lindsay, W.L., y W.A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- Melgar, R., M. Lavandera, M. Torres Duggan, y L. Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas Intensivos de producción de maíz. *Ciencia del suelo* 19:109-114.
- Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2008. Usefulness of Foliar Nitrogen-Sulfur Ratio in Spring Red Wheat. *Journal of Plant Nutrition.* 31:1612-1623.
- Rodríguez, P., M.J. Lema, G. González, y S. González Pimentel. 2005. Evaluación del reactivo Mehlich-3 como extractante multielemental. [on line] <<http://www.efa-dip.org/comun/publicaciones/comunicaciones/2005/Mehlich.pdf>> [consulta: 25 de Febrero 2015]
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rozas, H.R., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, P. Barbieri, H.P. Angelini, G.E. Larrea, G. Ferraris, y M. Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? *Actas del Simposio Fertilidad 2013. IPNI-FERTILIZAR.* Rosario, 22 a 23 de Mayo de 2013.
- SAS Institute. 2008. *SAS/STAT user's guide, Version 9.2.* SAS Inst., Cary, NC.
- Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bulletin* 48. pp. 169-179.
- Sims, J.T., y G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In *Micronutrients in agriculture (Book series 4):* 427-476. Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman, y M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Winsconsin, USA.
- Urricariet, S., y R.S. Lavado. 1997. Respuesta del maíz a fertilizaciones balanceadas en suelos deteriorados. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. III: 219-224.
- Walkley, A., y 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.
- Wang, J.J., y D.L. Harrel. 2005. Effect of ammonium, potassium, and sodium cations and phosphate, nitrate, and chloride anions on zinc sorption and lability in selected acid and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1036-1046.

Efectos del agregado de dolomita y fertilizantes cálcico-magnésicos en el rendimiento de *Avena sativa* L. en suelos ácidos de la región templada argentina

D. Ferro^{1,*}, G. Millán, V. Merani, N. Machetti, L. Larrieu, L. Nughes, y M. Vázquez

Introducción

La seguridad alimentaria y nutricional es un tema de preocupación mundial. Se estima que la población podría llegar a 9000 millones de habitantes en el 2050. Paralelamente, el 40% de las tierras cultivables del mundo se encuentran degradadas, proceso que puede agravarse por el cambio climático. En razón de ello, los países desarrollados debieran duplicar su producción para lograr suplir sus necesidades (FIDA, 2011). Lo descripto señala la necesidad de concientizar acerca de la importancia de la conservación de las tierras productivas.

La acidificación de los suelos es una limitante a la producción de los cultivos, principalmente en zonas tropicales. América Latina cuenta con el 81% de su superficie en dicha condición de acidez, mientras que en África esa cifra alcanza el 56% y en Asia el 38% (IAEA, 2000). Dentro de las consecuencias de esta problemática pueden mencionarse la disminución de la disponibilidad de nutrientes básicos y de los nutrientes que varían su solubilidad en función del pH, la aceleración de la alteración de los minerales edáficos, propensión a estructuras inestables, y toxicidad de aluminio (Al), entre otras (Azcarate et al., 2012).

La acidez se origina naturalmente durante la pedogénesis y puede aumentar por el mecanismo de “bomba de protones” que utilizan los vegetales en el proceso de absorción de nutrientes. También a través de ácidos provenientes de la actividad industrial, el uso de fertilizantes de reacción ácida, y el aumento de la oxidación de restos orgánicos, entre otros (Vázquez y Pagani, 2015). En los últimos tiempos se ha observado una tendencia a la acidificación de suelos de la región pampeana argentina (Vázquez, 2011), causada principalmente por la elevada extracción de bases sin reposición (Gelati y Vázquez, 2004) y el uso de fertilizantes de reacción ácida (Esterlich et al., 2012).

Con el objetivo de aumentar la reacción básica del suelo se ha utilizado desde épocas muy antiguas la práctica del “encalado”. La misma consiste en la aplicación de enmiendas como calcita, óxido o hidróxido de calcio, dolomita o yeso, entre otros (Vázquez, 2007). Las mismas tienen como objetivo adicional incrementar el pH, la incorporación de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg), deficitarios en estas condiciones. Esta práctica adolece de la dificultad de la deriva en la aplicación debido a la finura del material que es necesaria para su mejor disolución.

Otro problema es la lenta disolución de los productos, aun con material fino, debido a la baja solubilidad de los carbonatos. Otra forma de tratar esta problemática, particularmente en situaciones con ausencia de toxicidad de Al, es incorporar los cationes mencionados mediante fertilización vía suelo o foliar. La fertilización foliar tiene la ventaja de corregir las demandas de los nutrientes durante estadios críticos de los cultivos, superando la restricción que significan la insolubilización o inmovilización que dichos elementos sufren en algunos suelos. Sin embargo, la tasa de absorción y transporte a través de las hojas depende del tipo y movilidad del elemento que se trate (Salas, 2002). En relación a ello, el Ca posee una velocidad de absorción foliar mucho menor que el Mg. Bertsch (1995) estima entre 2 a 5 horas para que se absorba el 50% del producto magnésico, mientras que para el cálcico la demora sería de entre 1 y 2 días. Es por esta razón que el Ca suele proveerse mediante fertilizantes vía suelo. Sin embargo, es común encontrar fertilizantes foliares de este elemento.

El objetivo de este trabajo es comparar el efecto sobre el rendimiento de avena de dosis equivalentes a 0 y 1500 kg ha⁻¹ de dolomita, respecto de 40 kg ha⁻¹ de Ca y 10 kg ha⁻¹ de Mg, a través de fertilizantes vía suelo y foliar, respectivamente.

Materiales y métodos

Se realizó un ensayo en invernáculo de 4 meses de duración, utilizando macetas de 2 L. Se seleccionaron cinco suelos contrastantes por su textura (capacidad buffer) (**Tabla 1**). Los suelos gruesos pertenecieron a la localidad de Lincoln (Li) y 25 de Mayo (25M), mientras que los más finos a Chascomús (Ch), Belgrano (Be) y Los Hornos (LH), todos de la provincia de Buenos Aires. Todos los suelos empleados tenían un pH moderadamente a fuertemente ácido, a excepción de Be, cuya calificación es de ligeramente ácido (Schoeneberger et al., 2000). Dado que la avena tiene un pH óptimo entre 5.5-7 (Porta et al., 1999), todos los suelos tenían una condición dentro del límite inferior de esta propiedad, a excepción del suelo de Be. La condición de saturación básica es normal en todos los casos, aunque se evidencia una relativamente baja relación Ca/Mg, con la excepción del suelo de Ch. Se trata de suelos no salinos.

Se mantuvieron las macetas a 90% de la capacidad de campo. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones. Se incluyeron en total seis tratamientos:

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP

* Autor de contacto. Correo electrónico: daniel_ferro91@hotmail.com

Tabla 1. Análisis químico de los suelos de los diferentes sitios experimentales (0-20 cm).

Suelo	CIC	Ca	Mg	Na	K	Saturación de bases %	Relación Ca/Mg	pH	C.E. dS m ⁻¹	P Bray mg kg ⁻¹
25 de Mayo	12.6	6.6	1.5	0.5	0.9	75.8	4.4	5.5	0.4	30
Lincoln	13.0	6.9	1.7	0.5	1.2	78.5	4.1	5.7	0.3	16
Chascomus	19.2	11.4	1.6	0.5	1.5	78.0	7.1	5.5	0.4	7
Los Hornos	19.9	11.6	2.1	0.5	1.8	80.1	5.6	5.7	0.6	39
Gral. Belgrano	20.1	11.2	2.6	0.5	1.7	79.1	4.4	6.2	0.5	46

Tabla 2. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Fuente	Dosis
Testigo	-	-
D1500	Dolomita comercial (CaCO ₃ •MgCO ₃ , 52 y 45.5%, respectivamente) (Granulometría: < 75 µm: 27 %, 75-250 µm: 40.5 %, > 250 µm: 32.5 %)	780 y 682 kg ha ⁻¹ de Ca y Mg, respectivamente (1500 kg ha ⁻¹ de dolomita comercial)
S40	Fertilizante líquido magnésico vía suelo (30% Mg): ASP MagFlo [®] + Ca(NO ₃) ₂	40 y 6.50 kg ha ⁻¹ de Ca y Mg, respectivamente
S60		60 y 9.75 kg ha ⁻¹ de Ca y Mg, respectivamente
F40	Fertilizante foliar (3% N, 8% Ca, 1.3% Mg) de S. Ando & Cía S.A. [®]	40 y 6.50 kg ha ⁻¹ de Ca y Mg, respectivamente
F60		60 y 9.75 kg ha ⁻¹ de Ca y Mg, respectivamente

de dolomita comercial, dos dosis de fertilizante líquido al suelo, dos dosis de fertilización foliar, y un testigo (**Tabla 2**).

A todos los tratamientos se les aplicó una dosis equivalente a 50 kg N ha⁻¹ mediante NH₄NO₃. La fertilización foliar se llevó a cabo en forma fraccionada en 3 oportunidades (3/8, 1/9 y 29/9/14). La dolomita y el fertilizante vía suelo fueron mezclados con el mismo previo al ensayo. El 7/7/14 se sembraron 50 semillas por maceta para, luego de la germinación, seleccionar 9 plantas/maceta de *Avena sativa* L. Se realizaron 2 cortes de la parte aérea vegetal y se determinó peso seco (60 °C) (15/9 y 29/10/2014). Los resultados fueron evaluados estadísticamente [ANOVA, comparaciones múltiples (Tukey), correlación de variables] (Di Rienzo et al., 2011).

Resultados y discusión

Los resultados del análisis estadístico de la materia seca obtenida para cada suelo se ilustra en la **Figura 1**. Los tratamientos no tuvieron un comportamiento similar entre los diferentes suelos ni en los dos cortes, aun dentro de un mismo suelo. En el primer corte (**Figura 1a**), el tratamiento con dolomita fue el que mostró mayor variabilidad en la respuesta del vegetal entre los suelos. Este tratamiento arrojó valores superiores al Testigo (Los Hornos), comparables (25 de Mayo, Lincoln) y por debajo de él (Chascomús, Belgrano), sin un patrón asociado estrictamente a la textura del suelo. Al tratarse de un producto de baja solubilidad y mediar sólo,

prácticamente, 2 meses entre la aplicación y la cosecha, este comportamiento puede adjudicarse a la falta de solubilización del producto. Si se observa la **Figura 1b** de los resultados obtenidos 1 mes más tarde (segundo corte), puede decirse que existe una tendencia a mayores rendimientos con este tratamiento, lo que confirmaría la hipótesis descripta. Si se analizan los resultados de la suma de ambos cortes (**Figura 1c**), se aprecia que D1500 produjo resultados significativamente superiores al testigo ($p < 0.05$) en los suelos texturalmente más arenosos (Li, 25M) y en Los Hornos (LH). La aplicación de dolomita en los suelos texturalmente finos no presentó un único patrón de comportamiento.

En relación a los tratamientos con aplicación de fertilizantes, tanto vía suelo como foliar, en la totalidad de los casos no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) respecto del Testigo en el primer corte, aun habiendo recibido 2 aplicaciones previas. En el segundo corte, con otra aplicación foliar mediante, se manifestó una tendencia a un mayor rendimiento de materia seca con el empleo del fertilizante foliar respecto del aplicado al suelo. Este hecho puede deberse a la disponibilidad inmediata de los elementos aplicados por vía foliar. No debe dejarse de lado el hecho de que los suelos con condición de acidez y presencia de coloides (arcilla, materia orgánica) desplazan el equilibrio de los cationes hacia los sitios de intercambio, reduciendo la disponibilidad en el corto plazo de las bases aportadas vía

Conclusiones

Los distintos tratamientos no tuvieron un comportamiento similar en su incidencia sobre la materia seca en los diferentes suelos. El encalado produciría efectos positivos sobre la materia seca total cosechada en la mayor parte de los casos (4 de los 5 suelos), aún en el corto plazo. En 3 de los 5 suelos, el tratamiento con 1500 kg ha⁻¹ de dolomita produjo el mayor incremento de materia seca total, no asociándose estrictamente este resultado con las propiedades químicas edáficas evaluadas. Este efecto podría ser magnificado en el mediano-largo plazo debido a la escasa solubilidad inicial de este tipo de enmiendas. Los tratamientos con fertilización vía suelo o foliar, no se diferenciaron en su incidencia sobre el total de materia seca entre sí ni produjeron incrementos respecto del Testigo.

Bibliografía

Azcarate P., N. Kloster, y G. Pérez Habiag. 2012. Reacción del suelo: pH. En: Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. Alberto Quiroga y Alfredo Bono (editores). Ed. INTA. Anguil. pp. 19-24.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Esterlich, C., J. Ossola, L. Juan, M. Vázquez, y G. Millán. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el pH en dos suelos de la Pradera Pampeana. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, abril, Mar del Plata, Argentina.

FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola). 2011. El futuro de la seguridad alimentaria y nutricional mundial. Disponible en: http://www.ifad.org/pub/factsheet/food/foodsecurity_s.pdf. Ultimo acceso: noviembre de 2014.

Gelati P. y M. Vázquez. 2004. Exportación agrícola de nutrientes básicos en la zona N de la provincia de Buenos Aires y el costo de su remediación. Acta Segundas Jornadas de la Asoc. Argentino Uruguayana de Economía Ecológica (ASAUEE), 12-13/11, Lujan, Argentina. pp. 28-29.

IAEA (International Atomic Energy Agency). 2000. Management and conservation of tropical acid soils for sustainable crop production. En: International Atomic Energy Agency. Viena, Austria.

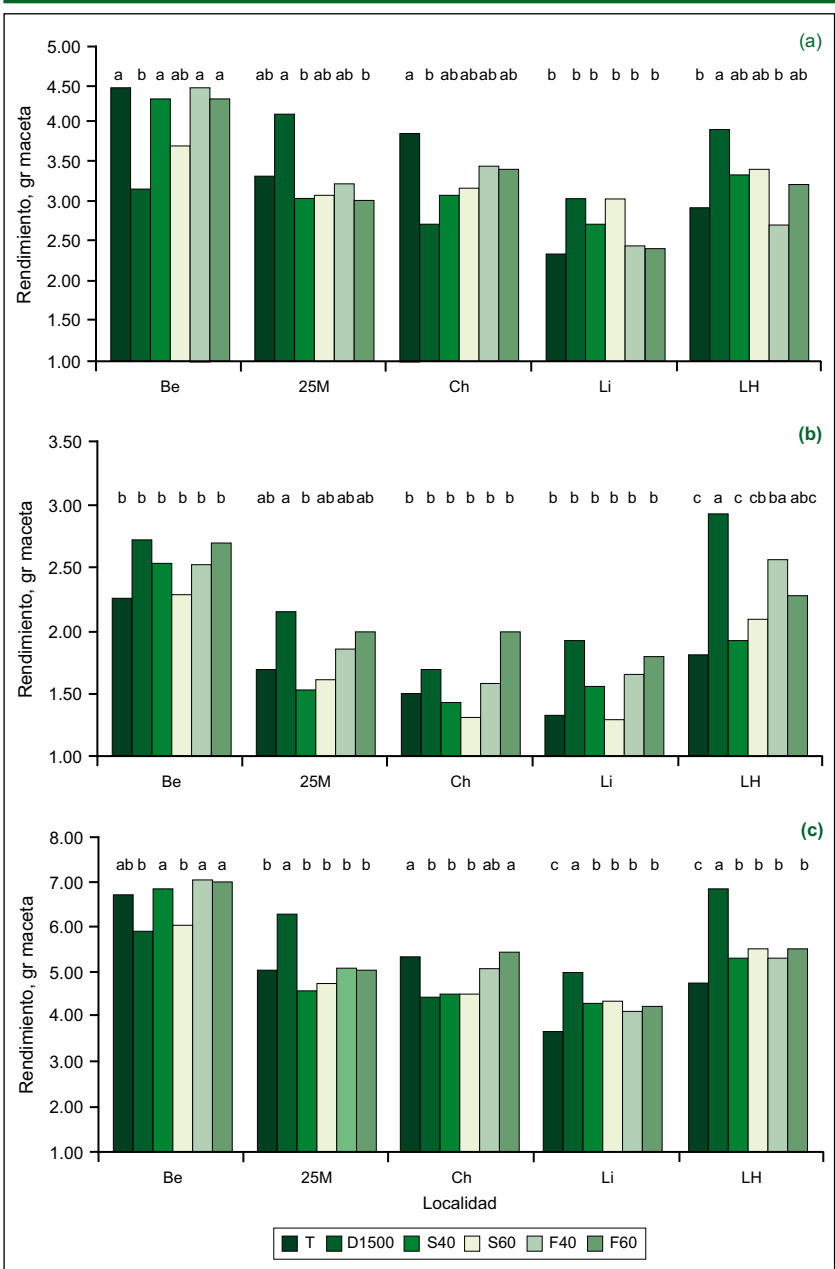


Figura 1. Peso seco aéreo según tratamiento y tipo de suelo. T: testigo, D1500: dolomita 1500 kg ha⁻¹, S40: fertilizante vía suelo 40 kg Ca ha⁻¹; S60: fertilizante vía suelo 60 kg Ca ha⁻¹; F40: fertilizante foliar 40 kg Ca ha⁻¹; F60: fertilizante foliar 60 kg Ca ha⁻¹. Be: Belgrano; 25M: 25 de Mayo; Ch: Chascomús; Li: Lincoln; LH: Los Hornos. a: 1er corte. b: 2do corte. c: sumatoria de ambos cortes. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos dentro de cada suelo (p < 0.05).

suelo. En la sumatoria de ambos cortes, los tratamientos con fertilización, ya sea foliar o vía suelo, arrojaron valores similares entre si (p < 0.05).

Los resultados obtenidos muestran una considerable variabilidad de respuestas de producción de acuerdo al tratamiento empleado para abordar la problemática, sin embargo, puede generalizarse que el encalado produciría efectos positivos en la mayor parte de los casos, aún en el corto plazo. Paralelamente, la residualidad de los correctores básicos y su acción sobre otras propiedades edáficas, por ejemplo de naturaleza física, los señalarían como más apropiados (Vázquez et al., 2009).

Porta, J., M. López Acevedo, y C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente Cap. 10:217-236. 2da Ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 849 p.

Salas, R. 2002. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. En: Fertilización Foliar: principios y aplicaciones. Ed. Meléndez G., Molina E. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Cap 2:7-18. 142 p.

Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocky, E.C. Benhamy, W.D. Broderson. 2000. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Instituto de Suelos, Centro de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Traducción en español del "Field Book for Describing and Sampling Soils", 1998. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Dpto. de Agricultura EEUU, Lincoln, Nebraska 9 p).

Vázquez, M. 2007. Calcio y Magnesio del suelo. Encalado y enyesado. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría, H., F. García. INTA, 2da reimpression. 1ra Ed. Cap. 8:181-188. 525 p.

Vázquez M., A. Terminiello, A. Duhour, M. García y F. Guilino. 2009. Efecto de correctores de acidez sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pradera pampeana. Ciencia del Suelo 27(1):67-76.

Vázquez, M. 2011. Causas de la acidificación en el ámbito templado argentino, consecuencias y avances para su diagnóstico. Simposio Fertilidad 2011. IPNI y Fertilizar Asoc. Civil. Rosario. 18-19 Mayo, Rosario, Santa Fe. Argentina. Actas. pp. 13-29.

Vázquez, M., A. Pagani. 2015. Calcio y magnesio del suelo. Encalado y enyesado. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Echeverría, H., F. García (ed.). Cap. 11:317-355. Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina.



XXI Congreso Latinoamericano
de la Ciencia del Suelo

XV Congreso Ecuatoriano
de la Ciencia del Suelo

“Todos los Suelos en la Mitad del Mundo”
El suelo, soporte de la diversidad de paisajes, vida y cultura

Quito-Ecuador
Hotel J.W. Marriott
24-28 de Octubre de 2016



Cursos y Simposios

1. Fertilizer Latino Americano 2016

Organiza : Argus FMB, CRU
Lugar : Cartagena, Colombia
Fecha : Enero, 27-29, 2016
Información : fmb.conferences@argusmedia.com
<http://argusmedia.com/Spanish/Events/Argus-Events/Americas/FLA/Home>

2. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACs-UNRC
Lugar : Río Cuarto, Córdoba, Argentina
Fecha : Junio 27-Julio 1, 2016
Información : <http://congresosuelo2016.org.ar>

3. XII Conferencia Internacional de Agricultura de Precisión

Organiza : ISPA-IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Julio 31-Agosto 3, 2016
Información : <https://www.ispag.org/icpa>

4. Conferencia InfoAg 2016

Organiza : IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Agosto, 2-4, 2016
Información : <http://www.infoag.org>

5. III Simposio Nacional de Sorgo – I Conferencia Internacional de Sorgo

Organiza : AIANBA
Lugar : Pergamino, Buenos Aires, Argentina
Fecha : Agosto, 3-4, 2016
Información : <http://simposiodesorgo.com.ar>

6. Simposio Brasileño de Educación del Suelo

Organiza : SBCS
Lugar : Sao Paulo, SP, Brasil
Fecha : Septiembre, 7-10, 2016
Información : <http://www.sbc.org.br>
<http://viiiisbes.fflch.usp.br>

7. 13^{avo.} Congreso Internacional de Cítricos

Organiza : IAC-IAPAR
Lugar : Foz de Iguazú, PR, Brasil
Fecha : Septiembre, 18-23, 2016
Información : icc2016@fbeventos.com
<http://www.icc2016.com>

8. XVIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo

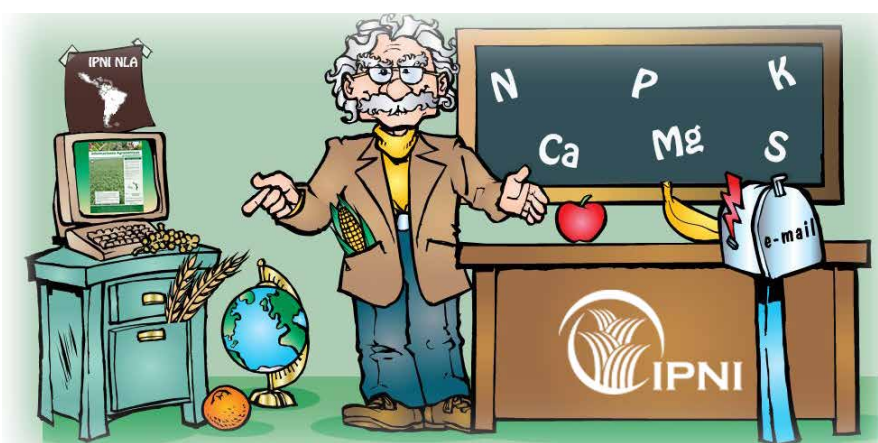
Organiza : SCCS
Lugar : Villa de Leyva – Colombia
Fecha : Octubre, 5-8, 2016
Información : oficinappal@sccsuelo.org
<http://www.sccsuelo.org>

9. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 24-28, 2016
Información : info@secsuelo.org
<http://www.secsuelo.org>

10. 7^{ma.} Conferencia de la Iniciativa Internacional de Nitrógeno

Organiza : Universidad de Melbourne
Lugar : Melbourne, Australia
Fecha : Diciembre, 4-8, 2016
Información : <http://www.ini2016.com>



Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Título de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.</p> <p>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz: Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p>	45.00
<p>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p>	45.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	45.00
<p>4R de la Nutrición de Plantas. El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del "MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES" es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.</p>	40.00
<p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p>Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p>Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p>Nutrición de la Caña de Azúcar: Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p>	8.00
<p align="center">Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	