

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica



IAH 28 - Diciembre 2017

En este número

- Absorción de macronutrientes en sésamo
- Respuesta de chíá a la fertilización nitrogenada
- Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina
- Relevamiento de la fertilidad de los suelos pampeanos
- Cultivos de cobertura para maíz
- Soja de alto rendimiento

IAH 28 - Diciembre 2017

Autores:

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

International Plant Nutrition Institute

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
Peachtree Corners, Georgia 30092-2844 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439
Correo electrónico: atasistro@ipni.net
<http://mca.ipni.net>

Contenido

Absorción de macronutrientes en dos variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.) 3

Carlos Javier Villalba-Martínez, Rosa María-Sosa, y Elmira Oroa-Pfefferkorn

Respuesta de cuatro cultivares de chíá (*Salvia hispanica* L.) a la fertilización nitrogenada en el Petacal, Jalisco, México 8

Anacleto Sosa-Baldivia, Guadalupe Ruiz-Ibarra, Gerardo Víctor Gordillo-Sobrino, Jorge D. Etchevers-Barra, Maneesh Sharma, Xiaozhong Liu, Raúl Rene Robles-de la Torre

Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16 14

Gustavo A. Cruzate y Roberto R. Casas

Relevamiento de fertilidad de los suelos pampeanos ¿Qué nos dicen los análisis de suelo? 24

Amancay Herrera y Roberto Rotondaro

Cultivos de cobertura para maíz en el centro-sur bonaerense 28

Fernando Ross

Soja de alto rendimiento: Ganancia Genética y Limitación por nitrógeno 33

O. Ortez, F. Salvagiotti, J. Enrico e I. Ciampitti

Cursos y Simposios 40

Publicaciones Disponibles 41

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.

Misión del IPNI

La misión del IPNI es desarrollar y promover información científica sobre el manejo responsable de la nutrición de las plantas para el beneficio de la humanidad.

IPNI es una organización global con iniciativas enfocadas en la creciente necesidad mundial de alimentos, forrajes, combustibles, y fibras. Los programas de investigación y educación del IPNI desarrollan y promueven el Manejo Responsable de los Nutrientes a través de los 4 Requisitos (4R): aplicar la fuente y la dosis correcta en el momento y la forma correctos.



<http://www.ipni.net>

Absorción de macronutrientes en dos variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.)

Carlos Javier Villalba-Martínez^{1,*}, Rosa María-Sosa, y Elmira Orea-Pfefferkorn

- La determinación de la absorción de los nutrientes de las plantas es una herramienta útil para realizar prácticas de fertilización más precisas.
- En Paraguay, el sésamo (o ajonjolí) es un cultivo principalmente del pequeño productor y los resultados obtenidos en esta investigación podrían contribuir para aumentar los rendimientos agrícolas de este cultivo.
- La absorción de nitrógeno, fósforo y potasio, en promedio, resultó de 54, 4 y 5.1 kg por tonelada de grano producido, respectivamente.

Introducción

El sésamo, o ajonjolí, es una planta perteneciente a la familia *Pedaliaceae* que presenta un ciclo siembra-madurez de entre 80 a 130 días. En los últimos años ha ganado popularidad por su alta demanda a nivel internacional por ser un alimento proteico, además de contribuir a disminuir el colesterol sanguíneo (Rodríguez et al., 2006; Oviedo de Cristaldo, 2007; Sharma et al., 2012). La siembra de este cultivo fue incrementándose en Paraguay a partir del año 2000 y durante este periodo se han desarrollado e introducido variedades con el fin de aumentar la productividad agrícola. El rendimiento del sésamo oscila entre los 300 a 700 kg ha⁻¹, siendo un rubro cultivado por el pequeño productor (Klassen, 2006).

Para que un cultivo agrícola pueda alcanzar el rendimiento máximo, de acuerdo a la condición del agroecosistema, los factores de crecimiento y desarrollo deben encontrarse en sus niveles óptimos (Etchevers, 2000), entre ellos uno de los principales problemas es la baja disponibilidad de los elementos esenciales, principalmente los macronutrientes por ser los requeridos en mayor cantidad por las plantas (Mengel y Kirkby, 1987), razón por la cual se realizan prácticas de fertilización inorgánica para llegar a cumplir con los requerimientos de los cultivos y así elevar los rendimientos por hectárea (Galvis et al., 1993).

Las recomendaciones para la fertilización de los cultivos agrícolas específicas para un predio se realizan hoy en día utilizando el conocimiento, la experiencia y las recomendaciones de dosis medias regionales, y en algunos casos con recomendaciones de análisis químicos de suelos, sin conocer el requerimiento interno nutrimental del cultivo en estudio (Rodríguez, 1993). Los bajos rendimientos en los cultivos se deben frecuentemente a que la mayoría de los agricultores no utilizan o utilizan dosis bajas de fertilizantes (Castellanos et al., 2001), sin considerar el requerimiento interno del cultivo en estudio.

Una de las formas de estimar la dosis y momento de fertilización es por medio de la absorción nutrimental de los cultivos (Bertsch, 2005). La aplicación efectiva de esta técnica permite obtener información sobre la acumulación de los nutrientes en la biomasa total como

se ha realizado en varios cultivos hortícolas como el brócoli, lechuga, y fresa entre otros (Castellanos et al., 2001; Aguilar, 2011; Sosa et al., 2012). La concentración de nutrientes de los cultivos agrícolas varía de acuerdo a la edad, órgano vegetal, orientación y prácticas de manejo (Young y Koo, 1969; Bertsch, 2005); sin embargo, la tendencia general es que la concentración de N, P, K disminuyan conforme aumenta la edad, contrario a lo que sucede con el Ca²⁺, cuya concentración aumenta a medida que es mayor la edad de la hoja (Chadha et al., 1980; Benítez-Pardo et al., 2003).

Este tipo de información sobre la absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por el cultivo del sésamo, no se ha encontrado en el Paraguay, y podría ser de gran ayuda para los agricultores, contribuyendo a conocer la cantidad de fertilizante a aplicar para obtener altos rendimientos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento de dos variedades de sésamo y su concentración de N, P, y K en granos y biomasa cultivada en un suelo Ultisol bajo distintos manejos de fertilización NPK.

Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el Distrito de Dr. Juan Manuel Frutos, Departamento de Caaguazú, Paraguay, en la campaña 2016/2017, en un suelo caracterizado como Ultisol (López et al., 1995). La temperatura media anual es de 22 °C. Se realizó análisis de suelos, presentando un pH (H₂O) de 5.3, P Bray-1 13 ppm, materia orgánica 1.07%, y Ca 1.45 cmol/L, K 0.13 cmol/L, y Mg 0.13 cmol/L, intercambiables en acetato de amonio 1N pH 7. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en bloques completos al azar (DPDBCA), que estuvo compuesto por 2 variedades de sésamo y 3 dosis de N, P y K, con 4 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales. Los fertilizantes utilizados fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio, la aplicación fue dividida en dos momentos: a la siembra y posteriormente en forma de cobertura al voleo a los 35 DDS. Las parcelas principales correspondieron a las variedades de sésamo, el IP10 y el K2, y las dosis de fertilización constituyeron las subparcelas. La descripción de los tratamientos puede observarse en la **Tabla 1**.

¹ Universidad Nacional de Caaguazú, Ruta N° 8, Blas A. Garay, Km 138. Coronel Oviedo, Paraguay

* Autor de contacto. Correo electrónico: villalba.javierdgi@gmail.com

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el cultivo de sésamo, campaña 2016/2017.

Tratamientos	-----Variedades-----	
	IP10	K2
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg ha ⁻¹	
T1	30-15-20	30-15-20
T2	60-25-30	60-25-30
T3	80-30-40	80-30-40

Las variables evaluadas fueron: rendimiento de grano y biomasa aérea (tallos, hojas y vainas sin granos) en su madurez fisiológica como materia seca, concentración de N, P y K como porcentaje (%) en granos y biomasa. La absorción nutrimental fue calculada por la siguiente fórmula (Ec. 1) descrita por Rodríguez (1993):

$$\text{Absorción (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Concentración nutrimental (\%)} \times \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{100}$$

Ec. 1.

Los análisis químicos se realizaron en Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) donde se cuantificó N por el método micro Kjeldahl (Bremner, 1965). Para la determinación de P y K la digestión se realizó vía húmeda con HNO₃-H₂O₂ 4:1 (Westerman et al., 1990) y la cuantificación de estos se realizó por absorción atómica en el caso del K y en el caso del P se determinó por colorimetría.

Las variables agronómicas y la concentración de nutrientes fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) y clasificación de medias mediante el test de Duncan (P ≥ 0.05) utilizando el programa Statistical Analysis System software, versión 9.2 (SAS Institute Inc., 2007).

Resultados y discusión

En las condiciones en que se llevó a cabo la investigación, la interacción entre las variedades y los niveles de NPK no resultó estadísticamente significativa para ninguna de las variables estudiadas. Por tanto, los resultados a continuación son descritos y comparados en función de los factores principales (variedad y dosis NPK).

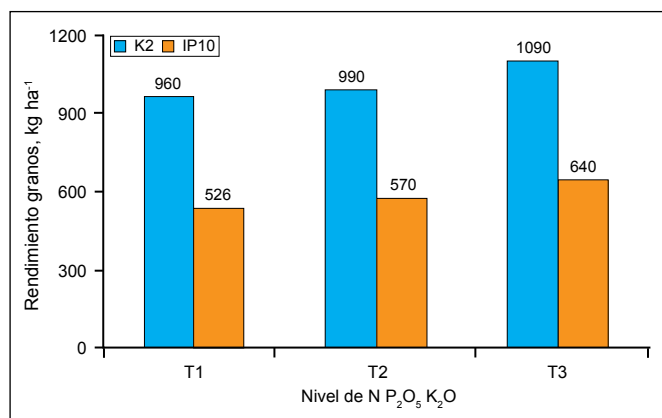


Figura 1. Efecto de la aplicación de N P K en el rendimiento de grano de dos variedades de sésamo.

Rendimiento

Para la variable rendimiento de granos, la aplicación de NPK no presentó diferencias estadísticas significativas para las variedades estudiadas. En la **Figura 1** se puede observar la tendencia de los resultados obtenidos.

Como se ilustra en la **Figura 1** existe un incremento gradual en el rendimiento de granos en las dos variedades con la aplicación de NPK, siendo la fertilización no significativa en esta investigación, pero al comparar el rendimiento de las dos variedades se observan diferencias estadísticas (P ≤ 0.05, **Tabla 2**).

Tabla 2. Rendimiento promedio de grano, para las dos variedades de sésamo.

Variedades	Rendimiento de grano kg ha ⁻¹
K2	1040a ¹
IP10	640b

¹ Los valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (p < 0.05) según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Mazzani (1999), en una investigación de fertilización con 140 kg de N, 180 kg de P y 140 Kg de K en sésamo, obtuvo rendimientos promedios de 324 y 1079 kg ha⁻¹ en variedades de ciclo corto y largo, respectivamente. Nuestros resultados coinciden con los de este autor para la variedad K2 pero no para la variedad IP10.

Cristaldo y Paredes (2001) estudiaron, en un suelo franco arcilloso, dosis crecientes de fertilizantes en sésamo, obteniendo un rendimiento de 1663 kg ha⁻¹ con la aplicación de 72.5 kg de N, 48 kg de P₂O₅ y 27 kg de S, resultado que se encuentra por encima de los obtenidos en esta investigación.

Cabral (2008), al realizar la caracterización agronómica de cuatro variedades de sésamo sembradas en el Departamento Central, obtuvieron los siguientes rendimientos: variedad INIA 1875 kg ha⁻¹, Dorado 1433 kg ha⁻¹, Escoba 910 kg ha⁻¹ y Mbarete 518 kg ha⁻¹. Los resultados obtenidos en la variedad K2 en esta investigación son similares al Dorado y Escoba, en cambio el rendimiento obtenido por la IP10 es similar a Mbarete. Pineda (2009), evaluó el efecto de la aplicación de NPK en sésamo de la variedad ICTA R-198, tipo ramificado observándose diferencias significativas, obteniendo con 60 kg N, 30 kg P, 50 K kg ha⁻¹ al suelo, el mayor rendimiento con 851 kg ha⁻¹ datos que en promedio coinciden con los resultados de esta investigación.

Biomasa

La acumulación de biomasa de las dos variedades estudiadas no presentó diferencias estadísticas por efecto de la aplicación de fertilizantes; sin embargo, se encontraron diferencias significativas (P < 0.05) cuando se comparó la acumulación de biomasa de las variedades (**Figura 2, Tabla 3**).

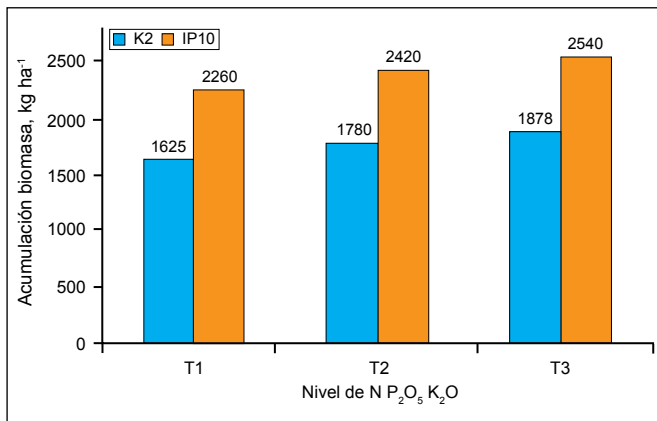


Figura 2. Efecto de la aplicación de NPK en la acumulación de biomasa.

Tabla 3. Rendimiento promedio de biomasa para las dos variedades de sésamo.

Variedades	Rendimiento de biomasa kg ha ⁻¹
K2	2406a ¹
IP10	1760b

¹ Los valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($p < 0.05$) según la prueba de rango múltiple de Duncan.

Como se ilustra en la **Figura 2** existe una tendencia de aumento con mayor dosis de fertilización en la acumulación de biomasa, siendo esta no significativa. La variedad K2 obtuvo mayor cantidad de biomasa (2406 kg ha⁻¹), en comparación a la variedad IP10 con 1760 kg ha⁻¹ (**Tabla 3**).

Concentración de NPK en granos y biomasa

Los resultados obtenidos sobre la concentración nutrimental para el cultivo del sésamo, tanto en el grano como en biomasa seca no registraron diferencias estadísticas entre las variedades o niveles de NPK, ni tampoco se observó efecto de interacción.

En la **Tabla 4**, se observa la concentración nutrimental en macronutrientes primarios, el N, presentó una acumulación máxima de 4.20% en granos y 1.58% en biomasa, P de 0.64% en granos y 0.33% en biomasa, y K 0.46% en granos y 1.83% en biomasa. Los valores de la **Tabla 4** corresponden al promedio de las tres dosis de fertilización.

Tabla 4. Concentración de macronutrientes en granos y biomasa.

Variedades de sésamo	----- Nitrógeno -----		----- Fósforo -----		----- Potasio -----	
	Granos	Biomasa	Granos	Biomasa	Granos	Biomasa
----- % -----						
IP10	4.19	1.50	0.62	0.34	0.42	1.60
K2	4.17	1.31	0.56	0.33	0.44	1.13
Promedio	4.18	1.40	0.59	0.33	0.43	1.35
Coefficiente de variación (%)	0.34	9.56	7.19	2.11	3.2	24.3

El sésamo variedad IP10 fue desarrollada con el objetivo de mejorar la cosecha por medio de maquinarias agrícolas, la característica principal de este cultivar radica en la producción de aceite en el grano, razón por la cual acumula importantes cantidades de N.

Las concentraciones de N encontradas en esta investigación para el sésamo son similares a los niveles reportados para los cultivos de soja y girasol (Ciampitti y García, 2007). La absorción del N es superior a los demás nutrientes, debido a que forma parte de la mayoría de las reacciones fisiológicas de la célula vegetal. Cuando se presentan deficiencias de N en las plantas el crecimiento se hace lento, mostrando hojas amarillentas principalmente en hojas bajas (Lian et al., 2005). Las deficiencias de N en las plantas disminuyen el crecimiento vegetativo y consecuentemente una disminución en el rendimiento de los granos.

Con los resultados obtenidos en esta investigación para esta variedad, las concentraciones de P se encuentran dentro del intervalo mencionado en plantas superiores (Salisbury y Ross 1994). El P es esencial para muchos glucosfosfatos (Shibata et al., 1995), entre otros participa en la fotosíntesis, formando parte de nucleótidos y de la membrana celular en forma de fosfolípidos, siendo, en algunos casos, fundamental en el metabolismo energético y es el elemento fundamental al momento de siembra ya que en muchos casos determina el desarrollo de la raíz (Liao et al., 2001; Dong et al., 2004; Zhao et al., 2004).

De acuerdo a la concentración de K observada para la variedad IP10 en esta investigación, demuestra concentraciones promedio de 0.63% en granos y 1.60% en biomasa, los resultados de este último coinciden con las reportadas por García (2005), en soja, en cambio las concentraciones observadas en los granos se encuentran por debajo a otras oleaginosas estudiadas.

En la **Tabla 5** se presenta la concentración nutrimental de soja, maní, girasol, canola y cártamo descrita por Ciampitti y García (2007), y de las dos variedades de sésamo (IP10 y K2) estudiadas en esta investigación. En esta **Tabla 5** se pueden comparar las concentraciones de macronutrientes en granos y biomasa de oleaginosas, con los datos correspondientes al sésamo desarrollados en esta investigación que puede ser de utilidad por la escasez de informaciones relacionadas al cultivo en estudio.

Tabla 5. Comparación de la concentración nutrimental (%) reportada para cultivos de oleaginosas y las dos variedades de sésamo estudiadas en la presente investigación.

Cultivo	Granos			Biomasa		
	N	P	K	N	P	K
Soja	5.5	0.5	2.0	2.0	0.10	1.9
Girasol	2.4	0.6	2.3	1.6	0.5	0.6
Canola	3.8	1.1	2.8	2.2	0.4	3.7
Maní	4.4	0.4	1.1	2.5	3.0	2.4
Cártamo	2.7	0.4	0.5	0.8	0.1	1.7
Sésamo K2 ¹	4.2	0.5	0.4	1.3	0.3	1.1
Sésamo IP10 ¹	4.2	0.6	0.4	1.5	0.3	1.6

¹ Investigación, 2017

Tabla 6. Absorción y extracción de N, P y K en dos variedades de sésamo en base seca.

Variedades	Extracción			Absorción (G+B) ¹		
	N	P	K	N	P	K
K2	42	5	4	54	8	15
IP10	42	6	4	56	9	20

¹ Granos + Biomasa

Las variaciones en la concentración en estos cultivos se observan principalmente en N 2.7% a 5.5% y en K de 2.0% a 0.4% en granos, el sésamo se encuentra en una posición intermedia. Es importante mencionar que en el trabajo realizado no se observó ninguna sintomatología de toxicidad o deficiencia de algún elemento.

En la **Tabla 6** se puede observar la absorción y la extracción de macronutrientes en las dos variedades de sésamo, es decir la cantidad de N, P, y K por cada tonelada de biomasa y granos producidos. Este dato es sumamente importante debido a que es el punto de partida para estimar la cantidad de fertilizante a aplicar para el cultivo de sésamo.

Conclusiones

La variedad de sésamo K2 fue superior a la IP10 en el rendimiento de granos y en la acumulación de biomasa aérea.

La fertilización con NPK no influyó en la producción de granos ni biomasa para ninguna de las dos variedades estudiadas.

En las dos variedades de sésamo, la concentración promedio de nutrientes en grano fue de 4.1% de N, 0.43% de P y 0.43% de K y en biomasa 1.40 % de N, 0.33% de P y 1.35% de K.

Con los datos de la concentración nutrimental, el rendimiento de granos, y la acumulación de biomasa,

se determinó la absorción nutrimental de N, P y K, que resulta un punto de partida para realizar mejores prácticas de fertilización para este cultivo agrícola.

Agradecimientos

Al Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR), en especial a la Ing. Agr. Zunilda Pérez por el apoyo en los análisis químicos para el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Aguilar, T.M. 2011. Demanda nutrimental de cuatro variedades de fresa (*Fragaria X annanasa*), cultivadas en la región de Zamora, Michoacán. Tesis de maestría. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos Estado de México, México.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: C.A. Black (Ed). Methods of soil analysis, part 2- Agronomy 9. ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. INPOFOS. 57:1-10.
- Benítez-Pardo, D., M. Hernández-Montoya, T. Osuna-Enciso, M. Valenzuela-López, y B. Galván-Piña. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. Terra Latinoamericana 21: 273-283.
- Castellanos, J.Z., S. Villalobos, J.A. Delgado, J.J. Muños-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lascano, M.E. Álvarez, y S.A. Enríquez. 2001. Use of best management practices to increase

- nitrogen use efficiency and protect environmental quality in Central Mexico. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*. 32(7-8):1265-1292.
- Cabral, M.I. 2008. Caracterización agronómica de cuatro variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.), en siembra tardía en el Departamento Central. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY: CIA, FCA, UNA. 41 p.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* No. 33, Archivo Agronómico No. 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Cristaldo, M., y J.Q. Paredes. 2001. Producción de *Sesamum indicum* L. influenciado por dosis de diferentes fertilizantes en suelo franco arcilloso. *Investigación Agraria*. 5:25-29.
- Chadha, K.L., J.S. Samra, y R.S. Thakur. 1980. Standardization of leaf-sampling technique for mineral composition of leaves of mango cultivar "Chausa". *Scientia Horticulturae* 13:323-329.
- Dong, D., X. Peng, y X. Yan. 2004. Organic acid exudation induced by phosphorus deficiency and/or aluminum toxicity in two contrasting soybean genotypes. *Physiologia Plantarum* 122:190-199.
- Etchevers, J.D. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la Fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*. Vol. 17, No. 3, julio-septiembre, 1999, pp. 209-219.
- Galvis, S.A., J.D. Etchevers, y S. Rodríguez. 1993. Estimación de los rendimientos máximos alcanzables de maíz en áreas de temporal del estado de Tlaxcala. *Terra Latinoamericana* 11:93-99.
- García, F. 2005. Soja. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 27:1-6. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Klassen, E. 2006. El sésamo en el Chaco Paraguayo. Seminario sobre actualidad del cultivo de sésamo en el Chaco Paraguayo. Estación Experimental Chaco Central. PY. 4 p. libro.
- Lian, X.M., Y.Z. Xing, H. Yan, C.G. Xu, X.H. Li, y Q.F. Zhang. 2005. QTLs for low nitrogen tolerance at seedling stage identified using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid. *Theor. Appl. Genet.* 112:85-96.
- Liao, H., G. Rubio, X. Yan, A. Cao, K. Brown, J.P. Lynch. 2001. Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. *Plant and Soil* 232:69-79.
- López Gorostiaga, O., E. González, y O. Mollina. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental. Asunción: MAG SSERNMA - BID. Escala 1/500.000.
- Mazzani, B. 1999. Investigación y Tecnología del Cultivo del Ajonjolí en Venezuela. Venezuela. 12 p.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern, Switzerland.
- Oviedo de Cristaldo, R.M. 2007. Introducción y selección de cultivares de sésamo. In *Jornada Técnica - Científica del Cultivo del Sésamo (2007, San Lorenzo, PY)*, Ponencias. San Lorenzo, PY: CIA, FCA, UNA. pp. 2-8.
- Pineda Coronada, M.R. 2009. Respuesta del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L., *Pedaliaceae*) a la fertilización al suelo y foliar en Aldea el Paredón. Tesis de grado. Universidad Rafael. Guatemala.
- Rodríguez, R., V. Serafín, R.J. Méndez, T. Otter, K.E. Barrios. 2006. Innovación productiva y reducción de pobreza: Experiencias paraguayas hacia un crecimiento económico con calidad (en línea). Asunción, PY: PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Paraguay).
- Rodríguez, S.J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Salisbury, F.B., y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V. México.
- SAS Institute Inc., 2007. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- 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, *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 43(1-2):121-133.
- Sharma, A.K., S. Bharti, J. Bhatia, S. Nepal, S. Malik, R. Ray, S. Kumari, y D.S. Arya. 2012. Sesamol alivia inducida por la dieta en el síndrome cardiometabólico a través de las ratas hasta la regulación de PPAR, PPAR y e-NOS. *Journal of Nutritional Biochemistr.*
- Shibata, H., Y. Sawa, T. Oka. 1995. Steviol and steviol-glycoside: Glucosyltransferase activities in Stevia rebaudiana Bertoni-Purification and partial characterization. *Arch Biochem Biophys* 321(2):390-396.
- Westerman, L., V. Baird, W. Chistensen, E. Fixen, y A. Whitney. 1990. Soil testing and Plant Analysis. The Soil Science of America. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Young, T.W., y R.C.J. Koo. 1969. Mineral composition of Florida mango leaves. *Florida State Horticultural Society* 82:324-328.
- Zhao J., J. Fu, H. Liao, Y. He, H. Nian, Y. Hu. 2004. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. *Chinese Science Bulletin* 49:1611-1620.



Ensayo de sésamo en Paraguay. Foto: Javier Villaba

Respuesta de cuatro cultivares de chía (*Salvia hispanica* L.) a la fertilización nitrogenada en el Petacal, Jalisco, México

Anacleto Sosa-Baldivia^{1,5*}, Guadalupe Ruiz-Ibarra², Gerardo Víctor Gordillo-Sobrino¹, Jorge D. Etchevers-Barra³, Maneesh Sharma⁴, Xiaozhong Liu⁴, Raúl Rene Robles-de la Torre⁵

- La chía es un cultivo en rápido crecimiento ya que se considera la fuente vegetal más importante de ácidos grasos Omega-3 para los seres humanos.
- Su cultivo esta difundido principalmente en México, Argentina, Bolivia, Paraguay y Australia.
- El uso de variedades de alto rendimiento de semilla y la fertilización con N en El Petacal, Municipio de Tolimán, Jalisco, México, son dos prácticas agronómicas que ayudan a mejorar el rendimiento.

Introducción

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una especie nativa del centro de México y norte de Guatemala, que hoy se considera la fuente vegetal más importante de ácidos grasos Omega-3 para el hombre (Orona-Tamayo et al., 2017). Debido a esto, en el último lustro su demanda global ha incrementado 239% anual, y se estima que para 2020, sus ventas serán de 1.2 billones de dólares (Cassiday, 2017). Mundialmente se siembran 367 000 ha, y los principales países productores son Argentina, Bolivia, Paraguay, México y Australia (Peperkamp, 2015). México cultiva 50 000 ha año⁻¹, y con un rendimiento de semilla (RS) (500 kg ha⁻¹) que es 30% superior al promedio mundial (357 kg ha⁻¹), aporta 19% (25 000 t) de la producción total (131 000 t) (Peperkamp, 2015).

El potencial productivo de la chía se estima en 3140 kg ha⁻¹ (Ketthaisong et al., 2016), sin embargo, la media comercial es mucho más baja (300-500 kg ha⁻¹) (Peperkamp, 2015). De acuerdo con Sosa et al. (2017 a,b), esto se debe a que al no estar integrada a la agricultura moderna, se desconoce cómo el uso de: (1) variedades mejoradas; (2) fertilización; (3) labranza; (4) irrigación; (5) fechas de siembra; y (6) control de plagas, enfermedades y malezas, ayudan a mejorar la productividad de la chía. Sutch (2008) reporta que la fertilización nitrogenada y el uso cultivares rendidores son las dos las prácticas que más han ayudado a aumentar el rendimiento de los cultivos; y con base en el trigo, Bell et al. (1995) estiman que su contribución es 48 y 28%, respectivamente; esto indica que el uso de variedades rendidoras a la par de una adecuada fertilización ha permitido mejorar el rendimiento de los cultivos en 76%. Los resultados de ensayos que han evaluado el comportamiento agronómico de diferentes genotipos de chía indican que es factible incrementar el RS mediante esta vía (Ayerza y Coates, 2009; Baginsky et al., 2016; Valle, 2016), sin embargo, esto no se ha explotado comercialmente porque los cultivares de alto RS no están aún disponibles (Sosa et al., 2016a).

Por otro lado, debido a que existe la creencia de que la chía presenta bajos requerimientos de fertilización (Jamboonsri et al., 2012; Sosa et al., 2017c), el uso de fertilizantes en la producción de esta especie sigue siendo bajo y a la fecha en los ensayos de rendimiento se siguen usando dosis bajas de N (28 a 45 kg N ha⁻¹) (Baginsky et al., 2016) e incluso no se aplica (Yeboah et al., 2014; Ayerza et al., 2016; Furlan et al., 2016; Valle, 2016). De acuerdo con la literatura revisada, la dosis de N más alta usada en chía es 45 kg N ha⁻¹ (Baginsky et al., 2016); si se supone que esta especie recupera 80% del N (Boaretto et al., 2007) y que por kg de N absorbido produce 16.7 kg de semilla (tomando como base el requerimiento para canola (Ciampitti y García, 2007), el rendimiento máximo esperado con base a 45 kg N ha⁻¹ es 601 kg ha⁻¹. Tomado en cuenta que este valor es congruente con el RS medio actual de México (500 kg ha⁻¹) y que desde 1935 no ha cambiado (511 kg ha⁻¹) (Rulfo, 1937), es posible que la chía está siendo sub fertilizada y por lo tanto, en el futuro, la fertilización nitrogenada podría ayudar a incrementar su RS en México. Con base en esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con N en el comportamiento agronómico de cuatro cultivares de chía (*Salvia hispanica* L.) en El Petacal, Municipio de Tolimán Jalisco, México.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en el rancho El Petacal, que se ubica en Tolimán, Jalisco, México (19° 24' LN y 103° 44' LO) a 1060 msnm. Esta zona presenta un clima extremadamente seco, baja precipitación pluvial (menos de 400 mm) y una temperatura media anual de 23.0 °C (Sosa et al., 2017b). El suelo fue un Luvisol alcalino (pH 8.1), con bajo contenido de materia orgánica (2.0%) y una disponibilidad de P, K, Ca, Mg, S-SO₄, B, Fe, Mn y Zn de 12, 233, 1113, 985, 53, 0.7, 31, 144, y 1.0 ppm, respectivamente (método Mehlich III). Antes de este experimento, el N disponible del suelo se removió parcialmente, para ello seis meses antes establecer el experimento el área experimental se cultivó

¹ Investigador de Nutrilite S. de R.L. Rancho El Petacal Jalisco, México

² Profesor del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez. Unidad Académica Tamazula de Gordiano Jalisco, México

³ Profesor del Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, México

⁴ Investigador de Amway Company, California, EE.UU.

⁵ Profesor de CIBA-IPN, Campus Tlaxcala México

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

con perejil sin fertilización. Los niveles de N-NO₃ en los 20 cm superiores del suelo antes y después de realizar el blanqueo fue 53 y 15 ppm N-NO₃, respectivamente. En la siembra, el área se fertilizó con 30 kg P₂O₅, 100 kg de K₂O, 250 kg de S y 24 kg ha⁻¹ de una mezcla de micronutrientes. Las fuentes utilizadas fueron Calphos[®] (3% P₂O₅), Allganic Potassium[®] (51% K₂O), S elemental (96% S) y Micromix[®]. El experimento se estableció el 29 de octubre en surcos a doble hilera a una densidad de población de 26 plantas m⁻². El control de malezas fue manual, no se controlaron plagas ni enfermedades y los riegos se hicieron cuando la tensión de la humedad en el suelo fue igual o mayor a 20 centibares. La lámina de agua utilizada fue 457 mm; de esta, 43 mm provinieron de la lluvia y el resto (414 mm) de un pozo y se aplicó con riego por goteo.

El diseño de tratamientos fue un factorial, donde el factor A fue cuatro variedades (VARs) de chíá; y el factor B, cuatro dosis de N. Las VARs evaluadas fueron; Pinta, Negra Puebla, Blanca Acatic y el cultivar experimental de chíá blanca G-39 que fue desarrollado por Sosa et al. (2016b) en Jalisco, México. Este último, para 2018 se registrará como el primer cultivar de chíá de semilla blanca de alto rendimiento, su nombre tentativo es "Rehnborg". La dosis de N evaluadas fueron: 0, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹, para suministrar estos tratamientos se usó Allganic[®] Special (12 N-00 P₂O₅-12 K₂O); se decidió usar este fertilizante porque además de ser la fuente orgánica registrada que aporta más N, solo contiene K como ion acompañante. Al usar Allganic[®] Special (12 N-00 P₂O₅-12 K₂O) como fuente de N, las dosis evaluadas indirectamente aportaron 0, 50, 100 y 150 kg de K₂O ha⁻¹, respetivamente. Para compensar el diferencial de K aportado entre la dosis máxima y los demás tratamientos se usó Allganic[®] Potassium (52% K₂O); debido a esto, la dosis de K usada fue 250 kg K₂O ha⁻¹. Los tratamientos evaluados se dividieron proporcionalmente en tres aplicaciones que se realizaron en la etapa de cuatro nudos; inicio de botoneo y floración (25, 38 y 58 días DDS, respectivamente). El diseño experimental fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones; la parcela grande fue para variedades (VARs) y en la parcela chica se establecieron las dosis de N. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 1 m de ancho y 5 m de largo.

Hasta antes de la cosecha, las variables medidas fueron días a floración (DF) y a madurez fisiológica (DMF). Al realizar la cosecha, las variables medidas fueron el número de plantas por m² (#PLM2), altura de la planta (AP) y longitud de la inflorescencia principal (LINFP). Las plantas presentes en cada parcela experimental se cosecharon y se secaron a 70 °C por 48 h, una vez secas se pesaron para determinar su biomasa total (BT). Posteriormente, en cada muestra, todas las inflorescencias mayores de un cm se separaron, se contaron, pesaron y se desgranaron para determinar el RS. El índice de cosecha (IC) se calculó dividiendo el RS entre la BT producida. El peso de 1000 semillas (P1000S) se determinó contando y pesando esta cantidad y la uniformidad del color de la semilla (UCS) se midió en esta misma muestra, contando las semillas de color diferente que predomina en el cultivar

evaluado y expresando su valor como porcentaje. A todas las variables estudiadas se les hizo un análisis de varianza y en las que hubo significancia estadística (P < 0.05) se separaron las medias usando la prueba de Tukey (P = 0.05). Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las 11 variables evaluadas y se hizo un análisis de regresión entre las cuatro dosis de N y el RS de cada variedad. A partir de la ecuación cuadrática generada, se derivó el valor de la variable X (dosis de N) y a partir de esta se calculó la dosis óptima fisiológica (DOF) expresada en kg N ha⁻¹. El valor de la DOF calculado se sustituyó en la ecuación de regresión para calcular el valor de Y de cada variedad y que se relaciona con su rendimiento óptimo fisiológico (ROF) expresado en kg ha⁻¹ de semilla. Finalmente, la eficiencia de uso de N (EUN) de cada variedad se estimó mediante la Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN), calculada como EAN= (ROF-Rendimiento sin N)/DOF y su valor se expresó en kg semilla producido por kg N aplicado.

Resultados y discusión

En la **Tabla 1** y la **Figura 1** se presenta el efecto de las variedades (VARs), dosis de N (DN) y su interacción (VARs x DN) en 11 parámetros evaluados. A excepción del #PLM2, los diez parámetros restantes fueron afectados por el factor VARs (P < 0.05). El #PLM2 se asoció con el manejo agronómico del experimento y la nula significancia estadística encontrada indica que este componente del RS no influyó en los resultados. De todas las VARs estudiadas, Negra Puebla presentó la mayor diferencia fenotípica, y además de ser más tardía (112 DMF), también exhibió la LINP más corta (20 cm), el más bajo RS (1, 247 kg ha⁻¹) y su semilla fue negra en su totalidad. Estos resultados son congruentes con la descripción botánica reportada para esta variedad (Hernández y Miranda, 2008; Vera, 2012). Los cultivares Pinta, Blanca Acatic y el G-39 tuvieron valores similares de DFL (55 días), DMF (105 días), IC (0.29) y LINFP (23 cm); esto se debió a que son del mismo origen geográfico (Acatic, Jalisco, México) y están emparentados ya que tanto Blanca Acatic; como el G-39 se derivaron del 8% de la semilla blanca presente en el cultivar Pinta (Sosa et al., 2016a).

Las diferencias de comportamiento agronómico entre el G-39 y los cultivares Pinta y Blanca Acatic se asocian a que el G-39 ya está mejorado genéticamente, esto lo reflejó en su alto potencial productivo (1723 kg ha⁻¹) que fue 38, 35 y 25% mayor que el de Negra Puebla, Blanca Acatic y Pinta (1247, 1274 y 1381 kg ha⁻¹, respectivamente) (**Tabla 1**). El alto RS del G-39 se asoció con su capacidad para producir más BT (5764 kg ha⁻¹) y semillas pesadas (1, 454 mg 1000 semillas⁻¹) (**Tabla 1**); esto lo confirma la alta correlación encontrada entre el RS y los parámetros BT producida y P1000S (r= 0.62 y 0.59, respectivamente) (**Tabla 2**). Contrario al factor VARs, la fertilización con N solo afectó siete de los 11 parámetros evaluados; siendo #PLM2, DIF, IC y UCS las variables que no exhibieron significancia (**Tabla 1**). La escasa diferencia encontrada en el #PLM2 ya fue explicada anteriormente; mientras

que la nula influencia de la fertilización nitrogenada en la floración de la chía se debe a que este mecanismo fisiológico lo controla el fotoperiodo y solo florece cuando el día es menor de 12.3 horas luz (Ayerza, 2014; Sosa et

al., 2017b). El color de la semilla es un parámetro que es controlado genéticamente (Cahill y Provance, 2002) y el IC es tan uniforme (Sosa et al., 2017b) que la fertilización con N no influye en su expresión.

Tabla 1. Efecto variedades (VARs), dosis de nitrógeno (DN) y su interacción (VARs X DN) en 11 variables evaluadas en chía blanca (*Salvia hispanica* L.) cultivada en Toluca, Jalisco, México. Temporada 2016-2017.

Factor	#PLM2 #	DFL -----Días-----	DMF cm	AP cm	RS ----- kg ha ⁻¹ -----	BT	IC	P1000S Mg	LINFP cm	INFM2 #	UCS %
Variedades											
Pinta	26	55a	104a	114a	1348b	4689b	0.29a	1275b	22a	237d	87c
Blanca Acatic	25	54a	103a	111b	1273c	4690b	0.27b	1247b	22a	326a	90b
G-39	26	55a	106b	110b	1739a	5730a	0.30a	1453a	23a	289b	100a
Negra Puebla	26	59b	111b	105c	1277c	4430b	0.29a	1326a	19c	251c	100a
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>0.1</i>	<i>0.17</i>	<i>0.36</i>	<i>8.0</i>	<i>45</i>	<i>0.003</i>	<i>9.7</i>	<i>0.17</i>	<i>2.4</i>	<i>0.40</i>
Dosis de N											
0	26	56	101c	105c	995d	3633d	0.28	1293c	19d	233d	94
50	25	56	106b	108b	1271c	4374c	0.29	1312b	21c	258c	95
100	26	56	108b	112b	1752a	6005a	0.29	1333b	22b	295b	94
150	25	56	110a	115a	1620b	5533b	0.29	1362a	25a	318a	95
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>0.17</i>	<i>0.36</i>	<i>8.0</i>	<i>45</i>	<i>NS</i>	<i>9.7</i>	<i>0.17</i>	<i>2.4</i>	<i>NS</i>
Variedades x Dosis de N											
Pinta x 0N	26	55	98i	107e	1045g	4330e	0.24c	1231f	18h	211h	87
Pinta x 50N	26	55	102g	113b	1183e	4020f	0.29b	1228g	19g	234f	88
Pinta x 100N	25	55	105c	115b	1595c	5110d	0.31b	1291d	24b	249e	88
Pinta x 150N	25	55	109f	119a	1570c	5260c	0.30c	1350b	28a	254d	88
Blanca Acatic x 0N	26	54	97i	111c	897h	3390h	0.26c	1227g	21d	278c	89
Blanca Acatic x 50N	26	55	102g	110c	1193e	4590e	0.26c	1242e	22c	290b	90
Blanca Acatic x 100N	25	54	107d	111c	1597c	5630c	0.28c	1239e	23c	358a	91
Blanca Acatic x 150N	26	55	106e	112b	1404d	5110d	0.28c	1279d	23c	377a	92
G-39 x 0N	25	55	100h	102g	1090f	3580g	0.30b	1410a	20e	219h	100
G-39 x 50N	25	55	107d	105f	1567c	5090d	0.31b	1448a	23c	255d	100
G-39 x 100N	26	55	108c	113b	2209a	7630a	0.29c	1471a	23b	313b	100
G-39 x 150N	26	55	111b	119a	2091b	6630b	0.32a	1481a	25b	370a	100
Negra Puebla x 0N	25	59	109c	100h	947h	3210i	0.30b	1305d	17i	224g	100
Negra Puebla x 50N	26	59	111b	104f	1139e	3760g	0.30b	1328c	19g	252e	100
Negra Puebla x 100N	26	59	112a	107e	1608c	5630c	0.29c	1332c	20f	262d	100
Negra Puebla x 150N	25	59	113a	109d	1414d	5110d	0.28c	1340c	22c	268c	100
Media	26	56	106	110	1414	4896	0.29	1322	22	279	94
<i>Tukey 0.05 P</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>0.35</i>	<i>0.72</i>	<i>16.0</i>	<i>90</i>	<i>0.006</i>	<i>19.4</i>	<i>0.34</i>	<i>4.8</i>	<i>NS</i>

NS = no significativo a P < 0.05. Valores con misma letra son estadísticamente iguales y con diferente presentan diferencias; DIB = inicio de botoneo; DFL = días a floración; DMF = días a madurez fisiológica; AP = altura de la planta; RS = rendimiento de semilla; BT = biomasa total; IC = índice de cosecha; P1000S = Peso de 1000 semillas.

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre nueve variables medidas en chíá cultivada en Tolimán, Jalisco, México.

Variable	DMF	AP	RS	BT	IC	P1000S	INFM2	LINFP
	-----Coeficiente de correlación (r) -----							
DFL	0.52**	-0.53**	0.19ns	-0.23ns	0.25ns	0.13ns	-0.39ns	-0.51**
DMF		0.01ns	0.50**	0.42**	0.42**	0.40**	0.42**	0.27ns
AP			0.43*	0.46**	0.06ns	0.06ns	0.31*	0.73**
RS				0.96**	0.35ns	0.59**	0.32ns	0.62**
BT					0.08ns	0.45**	0.32*	0.59**
IC						0.59**	0.09ns	0.21ns
P1000S							0.01ns	0.29*
INFM2								0.22ns

DIF = días a inicio de floración; DMF = días a madurez fisiológica; AP = altura de la planta; RS = rendimiento de semilla; BT = biomasa total; IC = índice de cosecha; P1000S = Peso 1000 semillas; INFLM2 = Inflorescencias m²; LINFP = longitud de la inflorescencia principal.

La dosis de N afectó significativamente las variables DMF, AP, RS, BT, P1000S, LINFP e INFM2; y las diferencias exhibidas por estas variables fueron función de la respuesta de las variedades a la dosis de N aplicada y que al final mejoró su productividad. Esto lo corrobora la alta correlación estimada entre el RS y los parámetros DMF, AP, BT, P1000S y LINFP ($r = 0.50, 0.43, 0.96, 0.59,$ y 0.62 , respectivamente) (**Tabla 2**). Estos resultados son congruentes con lo encontrado en canola, ajonjolí y cártamo (Kalaiselvan et al., 2001; Siddiqui y Oad, 2006; Aminpanah, 2013) donde la fertilización con N al incrementar los DMF, AP, BT, P1000S, LINFP e INFM2, indirectamente mejoró el RS. De forma general, la respuesta de los cultivares evaluados a la dosis de N aplicada fue similar y los mayores RS se obtuvieron al aplicar 100 kg N ha^{-1} (**Tabla 1**); esta dosis es 25% menor que la reportada como adecuada (125 kg N ha^{-1}) por Sena y Garófalo (2017) en Campina Grande, Brasil.

Al utilizar la dosis de 100 kg N ha^{-1} , el G-39 fue el más rendidor (2209 kg ha^{-1}); mientras que Pinta con 1595 kg ha^{-1} fue el menos productivo. A diferencia de la tendencia, la magnitud de la respuesta de los cultivares evaluados a la aplicación de 100 kg N ha^{-1} fue diferente, esto preliminarmente indica que al igual como sucede en el trigo (Ortiz-Monasterio et al., 1997), la respuesta de esta especie a la fertilización con N no puede generalizarse y debe hacerse con base en su potencial productivo el cual es función del cultivar de chíá empleado. De todas las practicas agronómicas utilizadas en la agricultura, la fertilización nitrogenada es la que más ha contribuido a incrementar el rendimiento de los cultivos (Erisman et al., 2008; Roberts, 2009) y la mejora lograda por esta vía es 50% (Collings, 1958).

Considerando que, para incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes nitrogenados, es conveniente emplearlos en combinación con cultivares de alto rendimiento (Ortiz-Monasterio et al., 1997; Sutch, 2008), en la **Tabla 1** se presenta el efecto de VARs x DNS

en 11 variables evaluadas en chíá. La interacción VARs X DN, afectó ocho de los 11 parámetros evaluados, encontrándose diferencias altamente significativas para el RS y sus componentes (BT, IC, P1000S e INFM2) ($P < 0.05$), esto al final se reflejó en un incremento de la productividad de la chíá. Esto claramente indica que al igual que como sucede con el cártamo, ajonjolí y canola (Kalaiselvan et al., 2001; Siddiqui y Oad, 2006; Aminpanah, 2013), el RS en chíá puede mejorarse mediante el uso de un cultivar rendidor a la par de una adecuada fertilización nitrogenada. Los cuatro cultivares evaluados presentaron diferente respuesta a la fertilización con N, y el mayor RS (2209 kg ha^{-1}) se obtuvo al fertilizar el G-39 con 100 kg N ha^{-1} ; en contraparte, la menor productividad se obtuvo con el cultivar Blanca Acatic sin fertilización (897 kg ha^{-1}). Estos hallazgos difieren de los que se reporta en algunos ensayos sobre fertilización nitrogenada conducidos en chíá, los cuales reportan una escasa respuesta de la chíá a la aplicación de N (Bochicchio et al., 2015 a,b).

Ante esta situación la pregunta que surge es: ¿Cuál es el mecanismo fisiológico que se asocia con la capacidad de la chíá para responder a la fertilización nitrogenada?. Para responder esta pregunta, En la **Figura 1**, se presenta la curva de respuesta a la fertilización con N que exhibieron los cuatro cultivares evaluados y en la **Tabla 3** se exhibe la dosis óptima fisiológica de N (DOF) y rendimiento óptimo fisiológico (ROF), ambos parámetros se estimaron a partir de la ecuación de regresión generada para cada cultivar (**Figura 1**). Además, la **Tabla 3** también incluye la eficiencia de uso de N estimada para cada cultivar y que se expresa con base en EAN.

Como se puede apreciar, el G-39 además de presentar el mayor ROF (2157 kg ha^{-1}), también fue el más eficiente para recuperar el N del fertilizante, y en promedio produjo 8.1 kg de semilla $\text{kg}^{-1} \text{ N}$ aplicado. La alta capacidad del G-39 para utilizar el N derivado del fertilizante se asocia con la alta uniformidad que desarrolló en seis ciclos de selección; particularmente en relación a su AP, P1000S y

Tabla 3. Dosis óptima fisiológica (DOF), rendimiento óptimo fisiológico (ROF) y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) estimada en cuatro cultivares de chíá evaluados en Tolimán, Jalisco, México.

Variedad	Ecuación de regresión	R ²	DOF	ROF	EAN
			kg N ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg semilla kg ⁻¹ N
G-39	Y = 1044 + 16.2x - 0.059x ²	0.94	137	2157	8.1
Negra Puebla	Y = 900 + 9.53x - 0.039x ²	0.81	124	1489	4.8
Blanca Acatic	Y = 867 + 10.18x - 0.038x ²	0.93	135	1553	5.1
Pinta	Y = 1010 + 6.41x - 0.016x ²	0.88	198	1643	3.2

DOF = dosis óptima fisiológica; ROF = rendimiento óptimo fisiológico; EAN = eficiencia de uso del nitrógeno. EAN = (ROF-rendimiento sin N)/DOF.

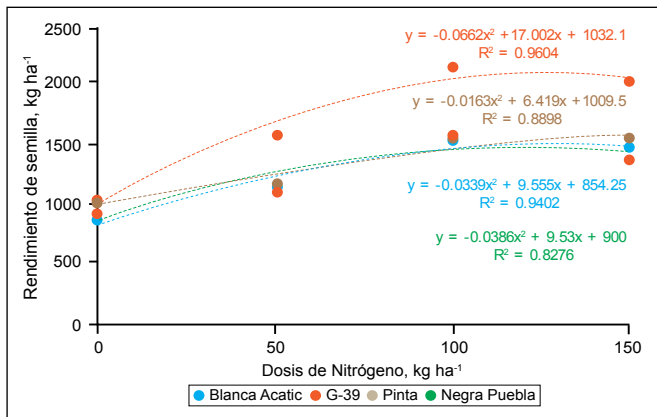


Figura 1. Efecto de la interacción variedad*dosis de N en el rendimiento de semilla de chíá cultivada en Tolimán, Jalisco, México.

DMF, esto le permitió expresar menor competencia entre plantas y usar más eficiente el agua luz y nutrientes. En contraparte, Pinta, aunque fue la segunda mejor variedad (ROF = 1643 kg ha⁻¹), fue la menos eficiente en el uso de N y produjo 3.2 kg de semilla kg⁻¹ N aplicado. La baja EAN de Pinta posiblemente se debió a la heterogeneidad de su población ya que este cultivar es una mezcla de genotipos homocigóticos de semilla blanca, negra e híbridos que resultan de su polinización cruzada (22%) (Hernández et al., 2008). Bajo este contexto, el bajo RS exhibido por las variedades Negra Puebla, Blanca Acatic y Pinta (sin mejora genética) podría ser resultado de la selección para alta competitividad que indirectamente ha ocurrido por la plasticidad que, de acuerdo con Sosa et al. (2017b), presenta esta especie. En la siembra de chíá se utilizan 4 kg ha⁻¹ de semilla, esto da una densidad de siembra 333 semillas m⁻² y al menos 150 pl m⁻² como población final (50% emergencia). Considerando que esta densidad de población es cuatro veces mayor que requerida para obtener altos RS (Yeboah et al., 2014; Montes et al., 2016), es un hecho que las plantas que finalmente producen semilla (25 en promedio) son las más competitivas. No existen variedades registradas de chíá, de ahí que al igual que como ocurre con las variedades de maíz criollo, es posible que los productores estén utilizando semilla de chíá proveniente de plantas altamente competitivas como individuos; pero de baja productividad como población. Donald (1968) demostró que la uniformidad genética y la débil competitividad son clave para que un

cultivo responda a la fertilización, bajo este contexto, la mayoría de los mejoradores se basan en el concepto del débil competidor para desarrollar cultivares de alto rendimiento y el cultivar de chíá G-39 no es la excepción. Este es el primer estudio en donde se ha evaluado la respuesta de la chíá a la fertilización nitrogenada y los resultados obtenidos claramente sugieren que además de requerirse desarrollar cultivares rendidores, también se requiere generar normas de fertilización que aseguren su adecuada nutrición con macro y micronutrientes, ya que al igual como sucede en otros cultivos el uso una variedad rendidora a la par de una adecuada fertilización es la clave para mejorar el rendimiento de los cultivos.

Conclusiones

El uso de variedades de alto RS y la fertilización con N son dos prácticas agronómicas que ayudan a mejorar el RS en chíá. El mayor RS (2209 kg ha⁻¹) se obtuvo al fertilizar el cultivar G-39 con 100 kg N ha⁻¹; en contraparte, la menor productividad se logró con el cultivar Pinta Acatic sin fertilización (897 kg ha⁻¹). Las variedades de chíá que actualmente se cultivan en México (Pinta, Negra Puebla y Blanca Acatic) son menos productivas, presentan baja respuesta al N y son menos eficientes en su uso que el cultivar de alto rendimiento G-39, recientemente desarrollado en México. El alto potencial de rendimiento del G-39 se asocia con su alta uniformidad obtenida después de seis ciclos de selección, especialmente la asociada con variables como P1000S, AP y DMF.

Bibliografía

- Aminpanah, H. 2013. Effect of nitrogen rate on seed yield, protein and oil content of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Acta Agriculturae Slovenica*. 101(2):183-190.
- Ayerza, R. 2016. Crop year effects on seed yields, growing cycle length, and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L.) growing in Ecuador and Bolivia. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 28 (3):196-100.
- Ayerza, R. 2014. Chia flowering season prediction using day length data of 11 selected locations. *Rev Ind Agríc Tucumán*. 91(1):33-35.
- Ayerza, R., y W. Coates. 2009. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Ind Crops and Products*. 30:321-324.

- Baginsky, C.J., H. Arenas, M. Escobar, N. Garrido, D. Valero, L. Tello, A. Pizarro, L. Valenzuela, L. Morales, y H. Silva. 2016. Growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 76(3):255-264.
- Bell, M.A., R.A. Fischer, D. Byerlee, y Y K. Sayre. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: A case study for wheat. *Field Crops Research*. 44(2-3):55-65.
- Boaretto, A.E., T. Muraoka y P. Trevelin. 2007. Uso eficiente de Nitrógeno de los fertilizantes convencionales. *Informaciones Agronómicas*. 120:13-14.
- Cahill, J.P., y M.C. Provance. 2002. Genetics of qualitative traits in domesticated chia (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Heredity*. 93:52-55.
- Cassiday, L. 2017. Chia: superfood or superfat. *INFORM*. 28(1):6-13.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo Agronómico*. 11:13-16.
- Collings, G.H. 1958. Fertilizantes comerciales, sus fuentes y usos. Versión española traducida por Sánchez B.E. Salvat editores S.A. D.F., México.
- Donald, C.M. 1968. The breeding of crop ideotype. *Euphytica*. 17:385-403.
- Erismán, J.W., A.J. Galloway, S.M. Sutton, Z. Klimont, y W. Winiwater. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat Geosci* 1:636-639.
- Furlan, de F.T., B.B. Rissato, A.L. Müller, D.B. Brustolin, S. Coltro-Roncato, O.D. Forlin, M. Dildey, G. Peixoto de Freitas, y H.F. Constâncio Mendonça. 2016. Development and production of chia (*Salvia hispanica* L.) in different space arrangements. *African Journal of Agricultural Research*. 11(43):4384-4388.
- Hernández, G.A.J., y S. Miranda-Colín. 2008. Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispanica* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31:105-113.
- Hernández, G.A.J., S. Miranda-Colín, y A. Peña-Lomelí. 2008. Cruzamiento natural de chíá (*Salvia hispanica* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3):331-337.
- Jamboonsri, W., T.D. Phillips, R.L. Geneve, J.P. Cahill, y D.F. Hildebrand. 2012. Extending the range of an ancient crop (*Salvia hispanica* L.) – a new omega3 source. *Gen. Resour. Crop Evol.* 59:171-178.
- Kalaiselvan, P., K. Subrahmanian, y N.T. Balasubramanian. 2001. Effect of nitrogen on the growth and yield of sesame - a review. *Agric Rev* 22(2):137-140.
- Keththaisong, D., K. Woravittayakit, y K. Lertrat. 2016. Growth and yield potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.) in Thailand. www.natres.psu.ac.th/nhc15/abstract_download/OV01221.pdf
- Montes, HS, MG Escutia-Ponce, GM Camarena-Hernández, A. Martínez-Lopez, A. Calderón-Ruiz. 2016. Influencia de la densidad de siembra en chíá. XXIX Reunión Científica y Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz.
- Orona-Tamayo, L.D., M.E. Valverde, y O. Paredes-Lopez. 2017. Chia-the new Golden seed for the 21st century: nutraceutical properties and technological uses. Chapter 17. Sustainable protein sources. Elsevier inc. DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00017-2.
- Ortiz-Monasterio, J.I., K.D. Sayre, S. Rajaram, y M. McMahon. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four N rates. *Crop Science*. 37(3):898-904.
- Peperkamp, M. 2015. CBI Tailored Intelligence: chia from Bolivia 'a modern super seed in a classic pork cycle?. CBI Ministry of Foreign Affairs. The Hague, Netherlands. 16 p.
- Roberts, T.L. 2009. The Role of Fertilizer in Growing the World's Food. *Better Crops*. 9(2):12-15.
- Rulfo, J.M. 1937. La chíá. *Agricultura*. 1:28-37.
- Sena, S.R., y L.E. Garófalo-Chavez. 2017. Initial growth of chia (*Salvia hispanica* L.) submitted to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *AJCS* 11(05):610-615
- Siddiqui, H.M., y F.C. Oad. 2006. Nitrogen requirements of safflower (*Carthamus tinctorius*) for growth and yield traits. *Asian J of Plant Sciences*. 5(3):563-565.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, J. Rana, G. Gordillo-Sobrino, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2017a. Fecha de siembra: un método para evadir el ataque de *Diabrotica speciosa* Germar, 1824 (COLEOPTERA: CHRYSOMELIDAE) y aumentar el rendimiento de semilla en chíá (*Salvia hispanica* L.). *Entomología Mexicana*. pp. 277-284.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, J. Rana, G. Gordillo-Sobrino, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2017b. *Diabrotica* una plaga de importancia económica para la producción de chíá (*Salvia hispanica* L.) en Jalisco México. *El Jornalero*. 77:100-110.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, R.R. Robles-de la Torre, G. Gordillo-Sobrino, M. Sharma, y X. Liu. 2017c. La chíá mexicana (*Salvia hispanica* L.): su historia e importancia como cultivo mundial. In: R. Jarquin-Galvez y A. Huerta-de la Peña (Eds.). *La agricultura sostenible como base para los agronegocios*. Primera edición. SOMAS. pp. 1504-1555.
- Sosa A., G. Ruiz, J. Rana. G. Gordillo, H. West, M. Sharma, X. Liu, y R.R. Robles-de la Torre. 2016a. Chia crop (*Salvia hispanica* L.): its history and importance as a source of polyunsaturated fatty acids omega-3 around the world: a review. *J Crop Res Fertilizer*. 1:104:1-9.
- Sosa, B.A., G. Ruiz-Ibarra, S. Miranda-Colín, G. Gordillo-Sobrino, H. West, X. Liu, y A. Mendoza-Gómez. 2016b. Plant traits related to seed yield and their heritability on white chia (*Salvia hispanica* L.). *Acta Fitogenética*. 3:32.
- Sutch, R.C. 2008. Henry Agard Wallace, the Iowa corn yield tests, and the adoption of hybrid corn. Working Paper 14141. National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w14141>
- Valle, S.R.O. 2016. Rendimiento y características agronómicas del cultivo de la chíá (*Salvia hispanica* L.) en la localidad de Buena Vista Saltillo Coahuila. Tesis de Licenciatura en producción. UNAAN. Saltillo Coahuila, México.
- Vera, M.G. 2012. Capital social y empresa rural, una visión regional desde México: el caso de una empresa productora de chíá orgánica Nueva Antropología. 25(77):15-30.
- Yeboah, S., E.D. Owusu, L.N.J. Lamptey, B.M. Mochiah, S. Lamptey, P. Oteng-Darko, P.I. Adama, Z. Appiah-Kubi, y K. Agyeman. 2014. Influence of planting methods and density of performance of chia (*Salvia hispanica* L.) and its suitability as an oilseed plant. *Agricultural Science*. 2(4):14-26.

Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16

Gustavo A. Cruzate^{1*} y Roberto R. Casas

- *En Argentina, las relaciones aplicación/extracción en grano de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre para los cultivos de grano han mejorado durante los últimos años, pero los balances de nutrientes siguen siendo negativos.*
- *En la campaña 2015/16 se extrajeron 4.03 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 0.99 millones de toneladas, lo cual representa un 24.5% de reposición.*
- *A precios de Junio 2016, este desbalance de nutrientes se valoriza en aproximadamente 3 mil millones.*

Introducción

Existe una preocupación mundial por alcanzar una agricultura sustentable. Las principales causas que la fundamentan se relacionan con los recursos de tierras cultivables finitos, problemas crecientes y generalizados de degradación de suelos, necesidad de preservar el recurso suelo para su utilización a largo plazo, efectos del cambio/variabilidad climática y crecimiento de la población de los países en desarrollo (Casas, 2016).

Las limitaciones en la expansión hacia tierras y ecosistemas más frágiles resultan en la necesidad de intensificar sustentablemente la producción en los sistemas actuales, es decir incrementar los rendimientos (García y Taboada, 2013). Una de las consecuencias indeseables, pero previsible, de la intensificación de la agricultura ha sido un aumento de la presión sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos que está provocando una continua y creciente reducción de su riqueza mineral (Reca, 2013). Los desbalances nutricionales en los suelos llevan a la degradación de la fertilidad nativa del suelo, ejemplificada en las marcadas disminuciones de materia orgánica y las caídas en la productividad de los suelos (García, 2006).

Hasta ahora el crecimiento de la producción se logró en base a las nuevas tecnologías, a un creciente nivel de manejo de conocimientos e información por parte de productores y técnicos, y a la capacidad productiva de las tierras. Sin embargo, la calidad natural de los suelos tiene límites, sobrepasados los cuales, la vulnerabilidad de los mismos se vuelve crítica. La disminución del contenido de materia orgánica en términos generales no es percibida como un problema ya que el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna de alta producción, incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos, pero también la tasa de extracción de nutrientes del suelo (Casas, 2006). Por lo tanto, la pérdida de materia orgánica constituye un costo oculto para el productor que deberá saldar por otra vía. Para lograr la sustentabilidad de sistemas agrícolas resulta de vital importancia implementar rotaciones de cultivos que generen un balance positivo de la materia orgánica

del suelo en el mediano plazo. Ello permitirá mejorar la calidad del suelo, lo que se traducirá en planteos menos riesgosos y más rentables para el productor y favorables para la salud ambiental.

Un aspecto que ha merecido especial atención en los últimos años es el balance de nutrientes. Básicamente, el balance de nutrientes es la diferencia entre las cantidades de nutrientes aplicadas y removidas de un sistema de producción. En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de caja negra, es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo. Los balances negativos reducen la fertilidad del suelo pudiendo afectar seriamente la producción (rendimientos y biomasa no cosechada) (García y González Sanjuan, 2013).

En Argentina, las relaciones aplicación/extracción en grano de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) para los cuatro principales cultivos (soja, maíz, trigo y girasol) han mejorado durante los últimos años, pero los balances de nutrientes siguen siendo negativos. Así en la campaña 2009/10 se registró una devolución vía fertilización del 30% de N, 39% de P, menos del 1% de K y 29% de S (García y González Sanjuan, 2010). Los guarismos mejoraron en la campaña 2010/11, con un retorno del 39% de N, 64% de P, 6% de K y 51% de S, con una reposición global del 34.6% (Cruzate y Casas, 2012). Existe un balance negativo de los nutrientes del suelo debido a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S y calcio, entre otros elementos esenciales suministrados por el suelo que también son exportados en los granos en distintas cantidades.

Al analizar la superficie sembrada en el país, se observa que el sorgo y el arroz tienen una tendencia estable a lo largo de los años, el trigo y el maíz han comenzado a aumentar, mientras que ha disminuido el área sembrada con girasol en los últimos años. El área sembrada con soja ha aumentado año tras año principalmente a partir de la aprobación de la soja resistente al glifosato en 1996, cuadruplicando la superficie sembrada desde 1988 a 2015 (Figura 1).

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA

* Autor de contacto. Correo electrónico: gcruzate@gmail.com; robertoraulcasas@gmail.com

Como consecuencia de la situación descrita, en los últimos 28 años se ha duplicado el área sembrada pasando de 19.53 millones de hectáreas en la campaña 1988/89 a 38.75 millones de hectáreas en la campaña 2015/16 (**Mapa 1**). En el mismo periodo, la producción se ha cuadruplicado a base de mayores rendimientos (**Figura 2**).

Numerosos autores que estudiaron la evolución de la fertilidad de los suelos señalan que en las últimas décadas se registra una elevada extracción de nutrientes no repuestos en igual magnitud, poniendo en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez, 2002; Cruzate y Casas, 2003, 2009 y 2012; Fontanetto y Gambaudo, 2010).

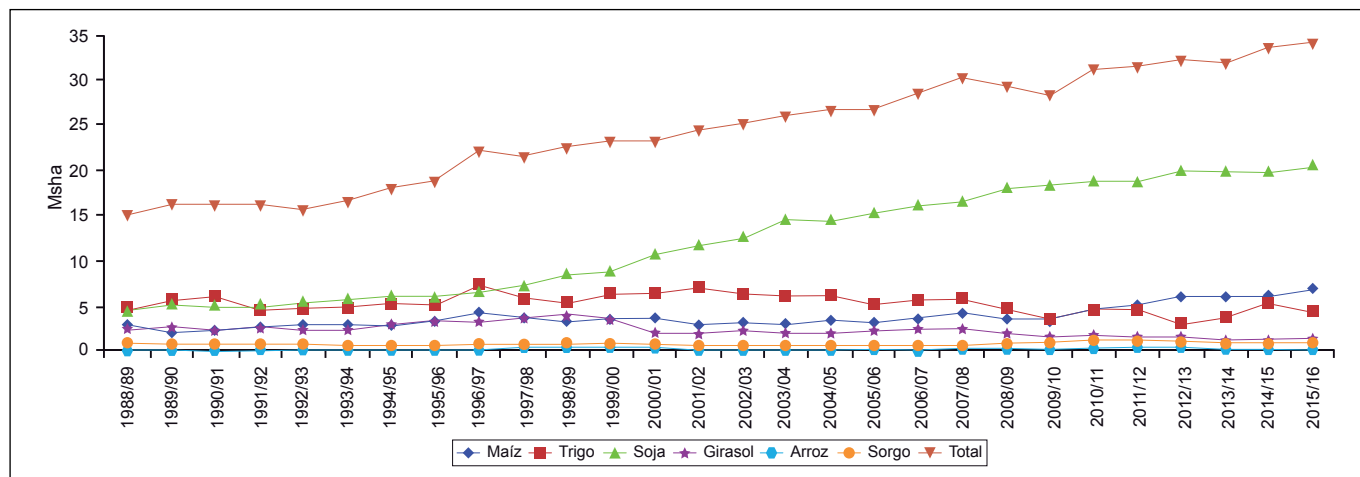


Figura 1. Evolución de la superficie sembrada de los seis principales cultivos agrícolas. Fuente: SIIA, 2017.

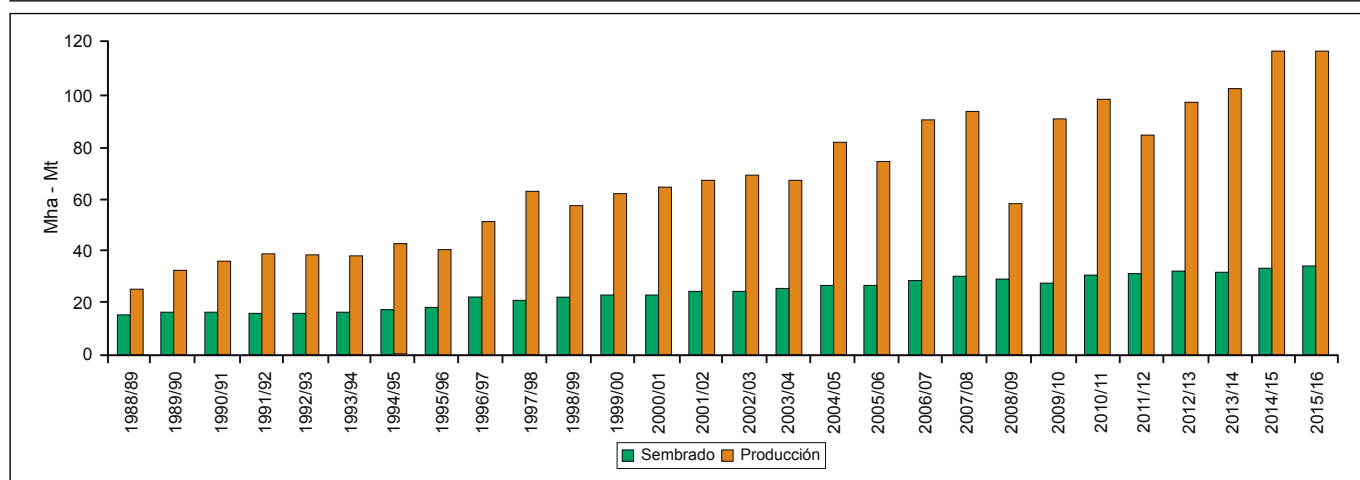


Figura 2. Superficie sembrada y producción de los seis principales cultivos agrícolas. Fuente: Estimaciones agrícolas (SIIA, 2017).

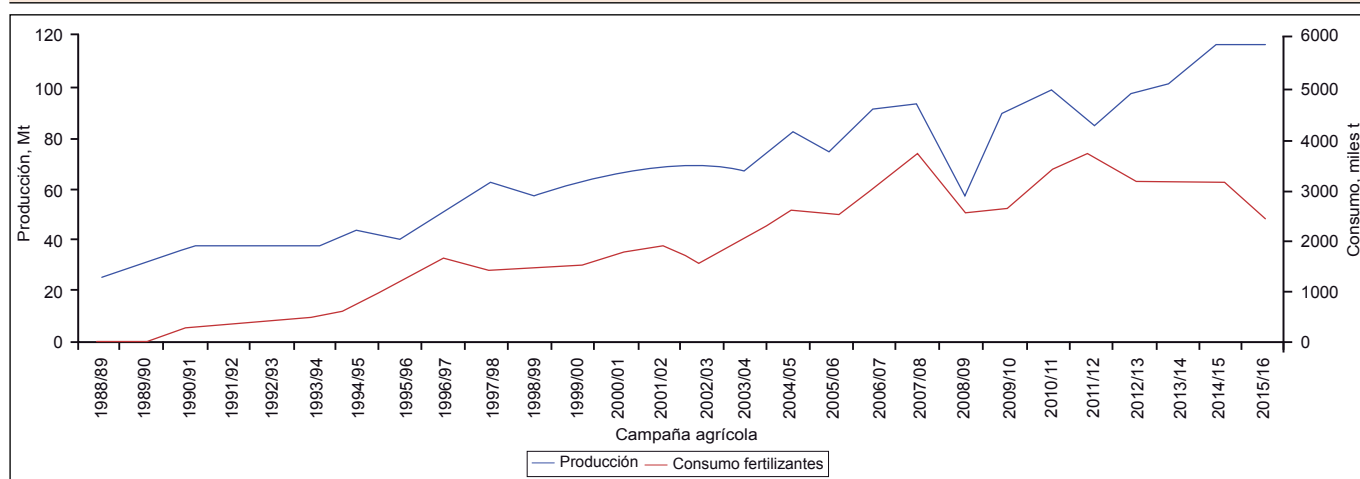
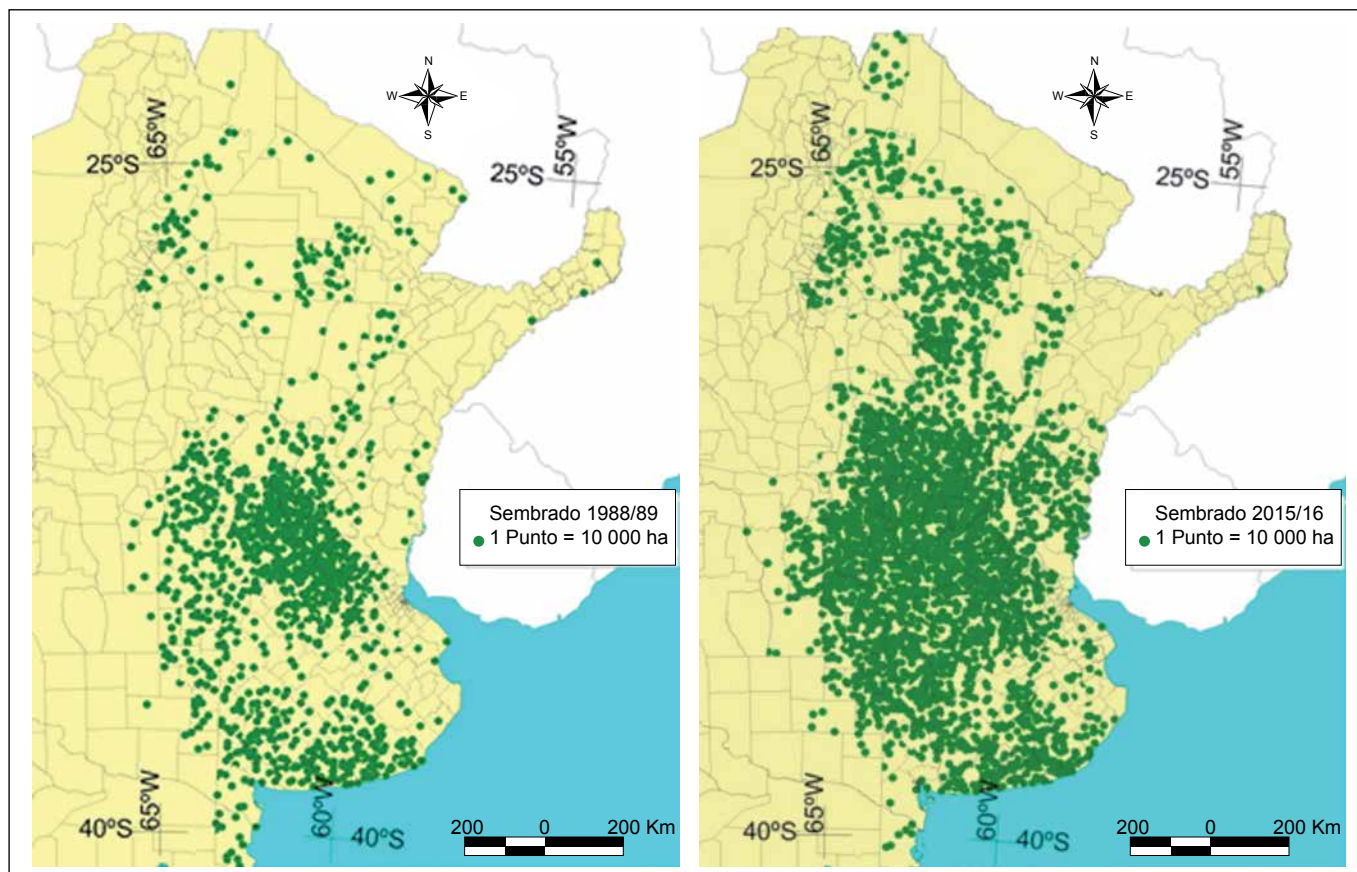


Figura 3. Producción de granos por campaña y consumo de fertilizantes en la República Argentina, Fuentes: Fertilizar, 2017 y SIIA, 2017.



Mapa 1. Distribución de la superficie sembrada en Argentina en las campañas agrícolas 1988/89 y 2015/16.

De acuerdo con información proveniente de la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA) en la campaña 2010/11, el consumo de fertilizantes fue de 3.37 millones de toneladas (Mt); y en 2011/12 se registró un record de 3.72 Mt de consumo de fertilizantes por la buena relación existente entre el precio de los granos y el de los fertilizantes. En las campañas de 2012/13 a 2014/15 se observa una leve disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron entre 3.12 y 3.20 Mt de fertilizantes. A partir de 2011, se registra un incremento de la producción, pero una disminución en el uso de fertilizantes (**Figura 3**). En la campaña 2015/16, se observa una marcada disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron sólo 2.44 Mt. (Fertilizar, 2017). No obstante, entre enero y noviembre de 2016 (Campaña 2016/17), el consumo de fertilizantes se incrementó un 47.1% a raíz de una demanda sostenida provocada por el crecimiento del área sembrada de trigo y maíz (Ámbito, 2017).

El presente trabajo es una actualización y ampliación del trabajo previo de Cruzate y Casas (2012). Los objetivos son los siguientes: i) evaluar espacialmente la extracción de los principales nutrientes en la campaña 2015/16 mediante mapas para los cultivos más importantes; ii) estimar el balance de estos nutrientes a nivel nacional; y c) valorizar los principales nutrientes extraídos del suelo.

Materiales y métodos

En base a datos de la bibliografía (García y Correndo, 2016), se calcularon las cantidades promedio de

nutrientes extraídos por los cultivos (**Tabla 1**). A los efectos de estimar la superficie y producción por cultivo, se utilizó información de la campaña agrícola 2015/16 suministrada por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agroindustria (<http://www.agroindustria.gov.ar/datosabiertos/>).

Tomando los datos correspondientes a la producción de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, que representan el 94% de la producción de granos de la República Argentina (**Tabla 2**), se calculó la extracción total de nutrientes en los granos por departamento/partido en las provincias productoras, referidos a la superficie total del departamento/partido y a la superficie sembrada.

Partiendo de información satelital sobre uso de la tierra y del mapa de suelos a escala 1:500 000 de la República Argentina (INTA, 1990) se generó un mapa de áreas agrícolas. La información se integró superponiéndola con los mapas de extracción de nutrientes, mediante un Sistema de Información Geográfica para el manejo de los datos de atributos y cartográficos. Para visualizar la susceptibilidad a la degradación por pérdida de nutrientes se elaboraron mapas por interpolación de los elementos estudiados a partir de la magnitud de la extracción por hectárea en cada departamento (**Mapas 2 a 7**).

El costo económico por la extracción de nutrientes, se calculó con los precios de los principales fertilizantes utilizados en la República Argentina a partir del valor por unidad de elemento extraído en dólares por tonelada

Tabla 1. Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tonelada de grano producido.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B
	----- kg -----						
Maíz	12.8	2.6	3.4	0.18	1.32	1.18	0.004
Sorgo	17.0	3.1	3.5	0.35	1.12	1.84	0.002
Trigo	17.9	3.6	3.6	0.36	2.14	1.46	0.011
Arroz	12.7	2.9	2.3	0.10	0.88	0.53	0.007
Soja	47.5	5.4	16.4	2.50	3.21	2.86	0.007
Girasol	20.9	6.1	4.8	1.30	2.61	1.96	0.032

Fuente consultada: García y Correndo (2016)

Tabla 2. Superficie sembrada, cosechada y producción agrícola en la cosecha 2015/16 en la República Argentina.

Cultivo	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción	Rendimiento medio
	----- ha -----	----- ha -----	----- t -----	----- kg ha ⁻¹ -----
Arroz	214 570	207 740	1 404 980	6763
Girasol	1 435 148	1 413 963	3 000 367	2122
Maíz	6 904 538	5 346 593	39 792 854	7443
Soja	20 479 094	19 504 648	58 799 258	3015
Sorgo	842 571	673 550	3 029 330	4498
Trigo	4 381 128	3 953 102	11 314 952	2862
Total estudiados	34 257 049	31 099 596	117 341 741	3425
Total cultivos agrícolas	38 750 459	33 861 370	125 125 293	3229
Estudiados/total	88%		94%	

a junio de 2016. Se utilizaron los precios de cloruro de K (K, 0-0-50), fosfato diamónico [P, 18-46(20P)-0], urea granulada (N, 46-0-0), sulfato de amonio (S, 20-0-0-24S) y carbonato de calcio (Ca). No se consideró al B, pues no se disponía de datos (Revista La Chacra, 2016).

El balance de nutrientes se estimó para cada nutriente siguiendo el modelo de “balance a nivel de superficie del suelo” (Oenema et al., 2003), es decir a partir de la comparación de entradas vía fertilizantes y salidas vía remoción en los granos. Este balance no incluye otras vías de pérdida (lavado, escurrimiento, gaseosas, etc.) o de entrada (deposiciones atmosféricas, otros abonos). Asimismo, se asume que todos los residuos de los cultivos considerados permanecen en el lote de cultivo, una práctica generalizada en cultivos de grano en Argentina.

Resultados y discusión

En la Argentina, la superficie sembrada con los principales cultivos en la campaña 2015/16 (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) se distribuyó en 13 provincias (Tabla 3, Mapa 2). Respecto a la campaña 2010/11, la superficie sembrada se ha incrementado en un 9% con 34 058 929 ha, mientras que la producción se ha incrementado un

20% pasando de 90 789 000 t a 117 341 741 t en 2015/16, lo que corrobora el aumento de rendimiento por unidad de superficie en estos últimos años (Cruzate y Casas, 2012).

El aumento de la superficie sembrada es principalmente con los cultivos de maíz, trigo y soja. Córdoba se destaca por el crecimiento de las hectáreas sembradas de los principales cultivos, siendo el departamento de San Justo donde se produjo el mayor crecimiento pasando de 559 000 ha sembradas en la campaña 2010/11 a 1 010 000 ha en 2015/16.

Con los datos de producción se calculó la cantidad de nutrientes extraídos por los cultivos más importantes de la región agrícola argentina (Tabla 4).

En relación a la campaña 2011/12, la extracción total de nutrientes se ha incrementado 20%, debido principalmente al incremento en la producción por una mayor superficie sembrada y al mayor rendimiento de los cultivos.

A base de la información sobre extracción de nutrientes (Tabla 4) y de consumo de fertilizantes (Tabla 5), se

Tabla 3. Superficie sembrada de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, en las campañas 2010/11 y 2015/16 por provincia. Fuente: Estimaciones Agrícolas (SIIA, 2017).

Provincia	Superficie sembrada 2010/11	Superficie sembrada 2015/16	Diferencia
	ha		
Buenos Aires	10 783 398	10 918 521	+135 123
Catamarca	85 000	105 962	+20 962
Chaco	1 297 600	1 276 067	-21 533
Córdoba	6 972 140	8 797 800	+1 825 660
Corrientes	141 439	0	-141 439
Entre Ríos	2 181 600	2 131 750	-49 850
Formosa	29 190	0	-29 190
Jujuy	20 330	16 905	-3 425
La Pampa	1 362 700	1 711 645	+348 945
Misiones	35 370	25 070	-10 300
Salta	940 960	829 949	-111 011
San Luis	376 450	751 906	+375 456
Santa Fe	4 517 727	5 038 712	+520 985
Santiago Del Estero	2 087 970	2 041 142	-46 828
Tucumán	487 940	413 500	-74 440
Total	31 319 814	34 058 929	+2 739 115

Tabla 4. Extracción de nutrientes correspondiente a los principales cultivos de grano durante la campaña 2015/16 (en toneladas).

Cultivo	Producción	N	P	K	Ca	S	B
		t					
Maíz	39 792 854	509 114	105 334	134 593	7022	46 815	176
Sorgo	3 029 330	51 313	9 273	10 510	1051	5 564	6
Trigo	11 314 952	202 053	40 411	40 411	4041	16 568	121
Arroz	1 404 980	17 844	4102	3282	144	739	10
Soja	58 799 258	2 792 965	314 996	965 988	146 998	167 998	420
Girasol	3 000 367	62 616	18 263	14 350	3914	5870	95
Total	117 341 741	3 635 906	492 379	1 169 133	163 170	243 555	828

realizó el balance de nutrientes para la campaña agrícola 2015/16 (Tabla 6).

De acuerdo a Salvagiotti et al. (2016), en soja, alrededor del 60% del N absorbido por la planta es aportado por la fijación biológica (FBN) por lo que para el balance solo se considera que un 40% del N absorbido es extraído del suelo por lo tanto, de los 2 792 964 t de N extraídos, solo se consideran 1 117 186 t para el balance.

La demanda de fertilizantes se concentra en los principales cereales y oleaginosos cultivados en el país, con una distribución que muestra que un 70% (base consumo 2011/15) se distribuye entre los tres con mayor superficie sembrada: soja, maíz y trigo. Los porcentuales

de participación son muy similares entre estos tres cultivos, con valores del orden del 20% en cada uno. Pero el uso de fertilizante por hectárea implantada es mayor en trigo y maíz. La alta participación del cultivo de soja responde a la dimensión del área sembrada, la que con registros anuales cercanos a las 20 millones de hectáreas, duplica la superficie agregada de maíz y trigo (Mercados Agropecuarios, 2016).

Según datos publicados por Fertilizar (2017b), en la campaña 2015/16, el cultivo con mayor superficie fertilizada fue trigo, con 90% sobre el total de hectáreas sembradas, siguiéndole maíz con 77%, girasol con 68% y soja con 53%. Pocos lotes fueron fertilizados bajo el criterio

Tabla 5. Consumo en toneladas de fertilizantes por producto en 2015. Datos estimados a partir de información de CIAFA (2017).

Fertilizante	Total	N	P	K	Ca	S
		----- t -----				
Cloruro de K	37 064	-	-	18 456	-	-
Fosfato Diamónico	202 634	39 514	40 932	-	-	4053
Fosfato Monoamónico	435 557	52 267	99 743	-	-	4356
Mezclas NPK	52 648	10 530	4633	8740	-	526
CAN	48 740	13 160	-	-	4873.96	-
Nitrato de K	14 719	1913	-	5490	-	-
Superfosfato Triple	81 167.49	-	16 315	-	12 093.96	1055
Superfosfato Simple	285 531	-	28 553	-	46 541.61	37 119
Sulfato de Amonio	14 399	3024	-	-	-	3456
Sulfato de K	7327	-	-	3165	-	1319
UAN (Con su contenido de Sólidos)	289 273	86 782	-	-	-	-
Urea	845 619	388 985	-	-	-	-
Sulfonitrato de Amonio	17 805	4629	-	-	-	2493
Tiosulfato de Amonio	42 380	5086	-	-	-	11 019
Yeso	50 716	-	-	101	12 121.04	8926
Tiosulfato de K	2178	-	-	453	-	370
Otros fosfatados	13 599	1727	1129	884	-	-
Total	2 441 355	607 616	191 304	37 291	75 630.57	75 803

Tabla 6. Balance de nutrientes -toneladas- (extracción por cultivos - reposición por fertilización). Campaña 2015/16.

	N	P	K	Ca	S	Total
Fertilizante	607 616	191 304	37 291	75 631	75 803	987 645
Extraído	1 960 127	492 379	1 169 133	163 170	243 555	4 028 363
Balance*	-1 352 511	-301 075	-1 131 842	-87 539	-167 751	-3 040 719
% aportado	31.0	38.8	3.2	46.3	31.1	24.5

de reconstrucción y mantenimiento, práctica que consiste en aplicar la cantidad de nutrientes necesaria para llegar al nivel de máximo rendimiento económico evitando balances negativos. Los fertilizantes nitrogenados son más utilizados que los fosforados en todos los cultivos con excepción de soja, más demandante de fosfatados.

En la **Tabla 6** se observa que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 24.5% de lo extraído, con un 31% de reposición de N, 39% de P, 3% de K, 46% de Ca, y 31% de S, situación que conduce a que los suelos se vayan empobreciendo progresivamente.

Datos de trabajos anteriores indican una reposición del 34% en la cosecha 2006/07 (Cruzate y Casas, 2009) y 34.6% en la campaña 2010/11 (Cruzate y Casas, 2012). Los balances siguen siendo negativos y la relación entre

lo extraído y adicionado, ha empeorado en la campaña analizada en el presente trabajo.

En la **Tabla 7** se realizó una estimación económica en dólares (precios a junio de 2016 sin IVA de acuerdo a Revista la Chacra, 2016) de los elementos deficitarios en los balances para los seis cultivos estudiados en la campaña 2015/16. El valor de los nutrientes deficitarios suma un total de 2914 millones de US\$ para los seis cultivos y los cinco elementos estudiados.

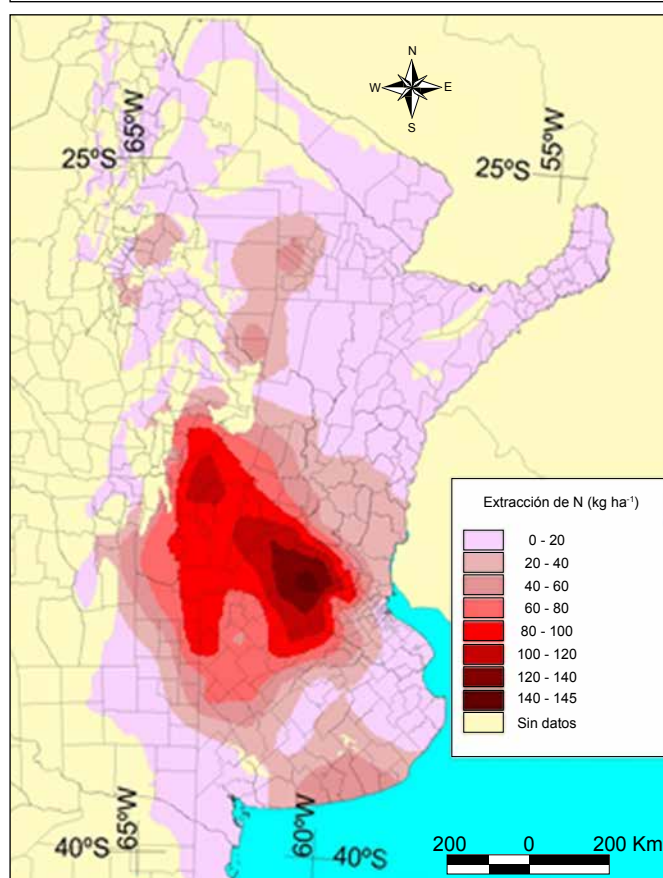
Exportación de nutrientes por hectárea

En los **Mapas 2 a 7**, se muestran las extracciones de cada elemento por unidad de superficie. Las mayores exportaciones de N ocurren en el norte de Buenos Aires (partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón), con valores que rondan los 153 a 140 kg ha⁻¹ (**Mapa 2**). Si se calcula

Tabla 7. Estimación del valor del balance de nutrientes en Argentina como equivalente en fertilizante.

	N	P	K	Ca	S	Total
Déficit (t)	1 352 511	301 075	1 131 842	87 539	167 751	3 040 718
Fertilizantes comerciales	Urea (46% N)	Superfosfato (20.1% P)	Cloruro de potasio (49.8% K)	Carbonato de calcio (38.8% Ca)	Sulfato de amonio (24% S)	-
t de fertilizante	2 940 241	1 497 885	2 272 775	225 616	698 962	
Precio t fertilizante US\$	350	480	400	53	350	-
Valor en millones US\$	1029	719	909	12	245	2914

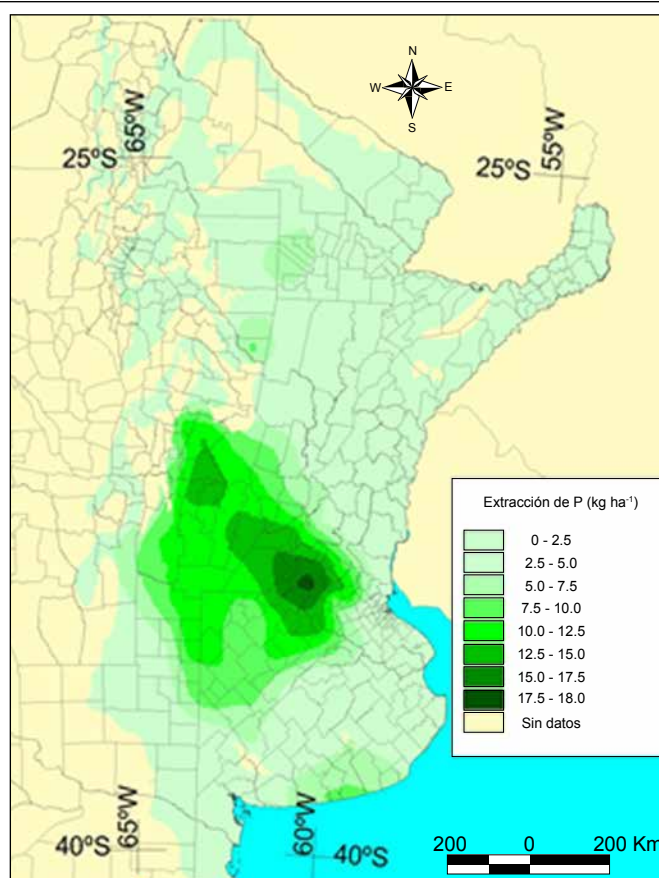
Precios sin IVA en junio de 2016 con un dólar a \$14.27



Mapa 2. Tasa de extracción de N por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

la extracción por hectárea cosechada, se extrajeron entre 179 y 172 kg ha⁻¹ en los partidos de 9 de Julio, Pergamino, San Nicolás y Rojas, en Buenos Aires. De acuerdo a Sainz Rosas et al. (2014), la agricultura redujo en promedio el 24% de la materia orgánica, respecto de los suelos prístinos, lo que reduce la cantidad de N.

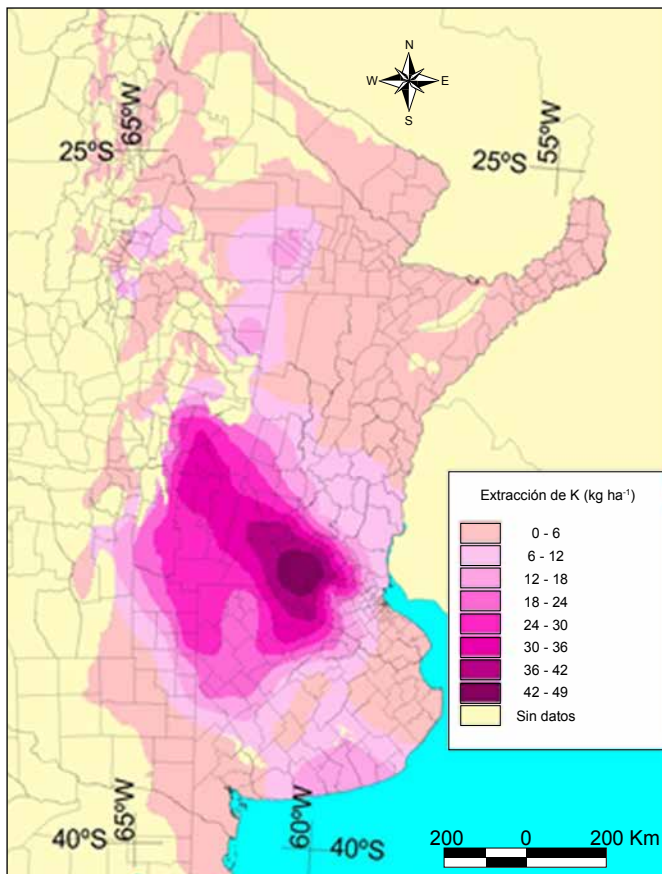
El **Mapa 3** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento P exportado en los granos. Los partidos con valores mayores son los mismos indicados para el N, correspondientes a la provincia de Buenos Aires, con valores entre 19 y 17 kg ha⁻¹. Extracciones mayores a los 21 kg ha⁻¹ cosechada se produjeron en 9 de Julio, Pergamino, Rojas y Salto. Un estudio realizado por Sainz Rosas y Echeverría (2008) indica que los balances negativos de



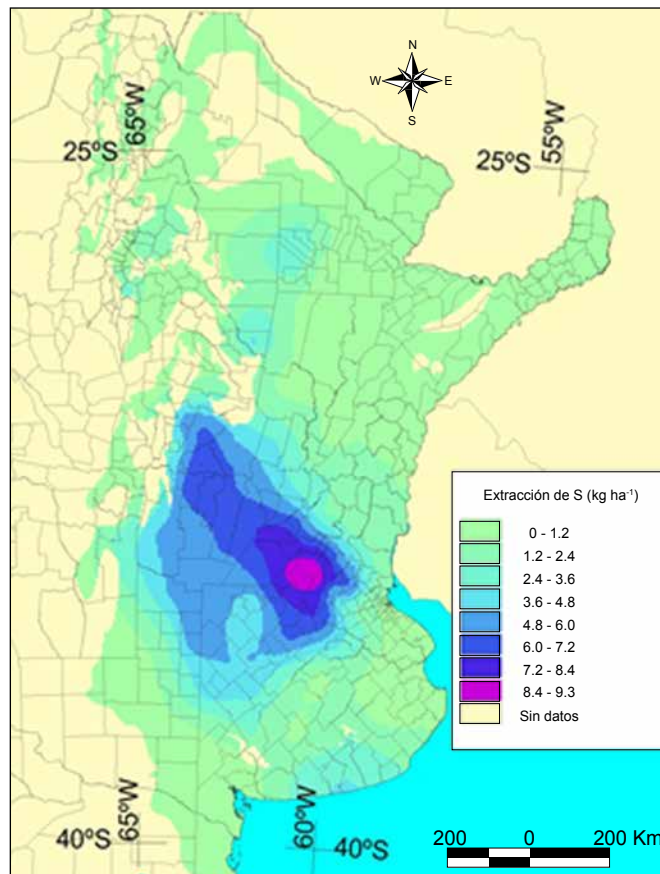
Mapa 3. Tasa de extracción de P por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

P han resultado en caídas en los niveles de P asimilable en numerosas regiones. Asimismo, Sainz Rosas et al. (2014) observan que la agricultura redujo en promedio un 44% la disponibilidad de P-Bray. Esta reducción en la disponibilidad de P resulta del balance negativo, dado que la reposición promedio de este nutriente para el periodo 1993/11 ha sido menor del 50%, aunque con tendencia a incrementarse en los últimos años. Los valores más bajos de P-Bray se determinaron en la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sur de Córdoba.

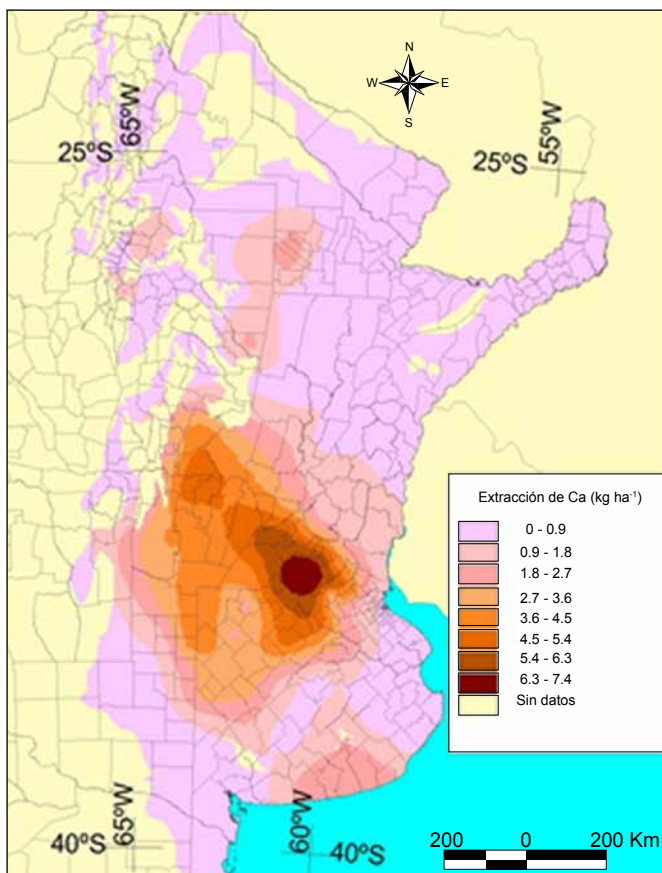
Los mayores valores de exportación de K se presentan en los partidos de Salto, Pergamino, Rojas y Colón, con 51 a 46 kg ha⁻¹ (**Mapa 4**). Si se consideran sólo las hectáreas cosechadas, valores entre a 61 y 58 kg ha⁻¹ se presentan en



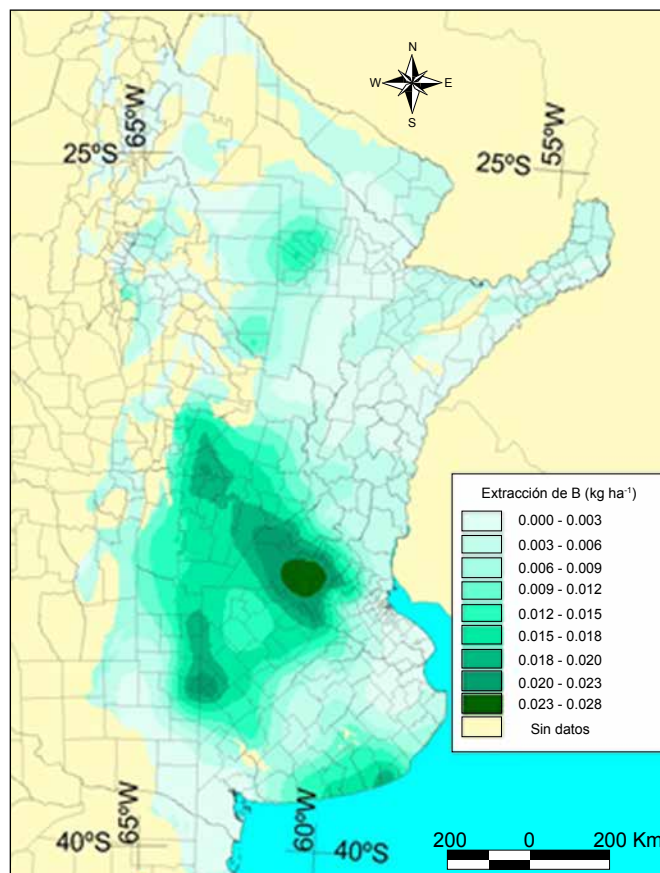
Mapa 4. Tasa de extracción de K por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 5. Tasa de extracción de S por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 6. Tasa de extracción de Ca por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.



Mapa 7. Tasa de extracción de B por cosecha de granos en Argentina. Campaña 2015/16.

los partidos de 9 de Julio, Zarate, San Nicolás y Pergamino. Según García y González Sanjuán (2010), la falta de reposición mediante la fertilización inevitablemente disminuirá la disponibilidad de K a medida que se intensifique la producción. La actividad agrícola disminuyó un 23.5% en promedio el K intercambiable (Sainz Rosas et al., 2014). La reducción producida por la agricultura se observó más marcadamente al noreste de la región por la mayor exportación de K en los granos respecto a Ca y Mg y podría atribuirse al aumento de la frecuencia de soja en las rotaciones. La disponibilidad de K en toda la región es muy alta, con valores dos a tres veces mayores que el umbral de respuesta (150 a 175 ppm), debido a la riqueza de este nutriente en el material originario de los suelos pampeanos (Sainz Rosas et al., 2014).

El **Mapa 5** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento S exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón, en la provincia de Buenos Aires, con valores mayores a los 9 kg ha⁻¹. Los mayores valores de exportación de S por hectárea cosechada se presentan en 9 de Julio, Rojas, Pergamino y San Nicolás (Buenos Aires) con valores entre 11 y 10 kg ha⁻¹.

Los mayores valores de exportación de calcio se presentan en los partidos de Salto, Pergamino, Rojas y Capitán Sarmiento con valores que rondan entre 6 y 7.5 kg ha⁻¹. (**Mapa 6**). La exportación mayor por hectárea cosechada se presentó en 9 de Julio, Zarate, San Nicolás y Pergamino con valores entre 8 y 9 kg ha⁻¹. La actividad agrícola produjo disminuciones de alrededor del 12% del calcio intercambiable y disminuyó fuertemente el porcentaje de saturación con calcio (Sainz Rosas et al., 2014). La mayor parte de los suelos del norte de la región presentaron niveles de saturación menores al 50%, que podrían ser limitantes para soja y particularmente para alfalfa. Se han informado respuestas positivas al encalado en soja y alfalfa. La agricultura redujo en promedio alrededor de 0.27 unidades de pH en promedio, que puede explicarse por la baja reposición de bases (Sainz Rosas et al., 2014).

El **Mapa 7** muestra los valores de kilogramos por hectárea del elemento boro exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Colón, con valores superiores a los 0.026 kg ha⁻¹. Si se toma en cuenta sólo la superficie cosechada se ve que los valores mayores se presentan principalmente en los partidos de Maipú, General Madariaga (Buenos Aires) y el departamento de Catrilo (La Pampa), con valores superiores a los 0.040 kg/ha de boro.

Conclusiones

Las cifras correspondientes al balance entre la extracción de nutrientes por los principales cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarias en los suelos agrícolas de la Argentina. En la campaña 2015/16 se extrajeron 4.03 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 0.99 millones de toneladas lo cual representa un 24.5% de reposición. La situación

descrita indica la existencia de sistemas productivos que no son sustentables, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado los procesos de degradación de los suelos y, por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional.

Las áreas de mayor extracción de nutrientes están concentradas en el norte de la provincia de Buenos Aires principalmente en los partidos de 9 de Julio, Pergamino, Rojas y Salto superando a los departamentos de Córdoba tal como se vio en el trabajo anterior.

Existe un balance negativo de los nutrientes del suelo debido a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S, Ca y B, entre otros elementos esenciales suministrados por el suelo que también son exportados en los granos en distintas cantidades. Por otra parte, el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna de alta producción, incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos y con ello, la tasa de extracción de nutrientes del suelo.

A los efectos de lograr planteos agrícolas sustentables debemos trabajar dentro de la fase en que los suelos mantienen su calidad en un nivel adecuado. En esta fase, la práctica de la fertilización permite ingresar en un círculo virtuoso aumentando los rendimientos, acumulando mayor cantidad de residuos de cosecha y mejorando el aporte de carbono al suelo.

La fertilización debe analizarse sobre toda la rotación y no solamente sobre un cultivo particular ya que deben evaluarse aspectos tales como residualidad de los nutrientes, producción de residuos en cantidad y calidad, y efectos sobre la estructura y la actividad biológica del suelo. Debe orientarse a balancear los nutrientes que se adicionen en función de los requerimientos de los cultivos de la rotación y la composición particular del suelo. Además del N, P y S, se deberá prestar especial atención a nutrientes como Ca y Mg por el rol que desempeñan en la estructuración y actividad biológica del suelo, además de la importancia para la nutrición de los cultivos.

Bibliografía

- Ambito. 2017. Por el impulso al campo, el consumo de agroquímicos y fertilizantes creció un 47%. 12 Enero 2017. <http://www.ambito.com/869185-por-el-impulso-al-campo-el-consumo-de-agroquimicos-y-fertilizantes-crecio-un-47>
- Casas, R.R. 2000 La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación acto entrega premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar
- Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Anales: Tomo LX. Buenos Aires.
- Casas, R.R. 2016. La erosión del suelo en la Argentina. Anales de la Academia Nacional de Geografía. Buenos Aires.

- CIAFA. 2017. Consumo de fertilizantes 2015. Cámara de la industria argentina de fertilizantes y agroquímicos. <http://www.ciafa.org.ar/files/WKtNkYAJ72xppWqLgPvbdFywAE8qGAwuDyYaiD8f.pdf>
- Cruzate, G.A. y R. Casas. 2003. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA Año 8 Número Especial "Sostenibilidad" ISSN 1666-8812 diciembre 2003 pp. 7-13.
- Cruzate, G.A. y R. Casas. 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur # 44 IPNI, Diciembre 2009. pp. 21-26.
- Cruzate, G.A. y R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica # 6 IPNI, Junio 2012. pp. 7-14.
- Fertilizar Asociación Civil. 2017. Evolucion Consumo 1990-2015. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Evolucion%20de%20Consumo%201990%202013/EvolucionConsumo1990-2015.pdf>
- Fertilizar Asociación Civil. 2017b. Consumo de Fertilizantes en todos los cultivos 2015. <http://www.fertilizar.org.ar/subida/Estadistica/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos/Consumo%20de%20Fertilizantes%20en%20todos%20los%20cultivos%202015.pdf>
- Fontanetto, H., y S. Gambaudo. 2010. El balance de nutrientes para sistemas agropecuarios sustentables. Ergomix.com. consultado en 2011 en www.produccion-animal.com.ar
- García, F.O. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. INPOFOS. Informaciones Agronómicas; No. 29. Marzo.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuán. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? IPNI. Informaciones Agronómicas del Cono Sur # 48 pp. 1-5.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuán. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? IPNI - Marzo.
- García, F.O., y A.A. Correndo. 2016. Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016. IPNI, <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- García F.O., M.A. Taboada, M.F. González Sanjuán, y L.I. Picone. 2013. El nitrógeno en la agricultura argentina. Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de grano y mitigar las emisiones de óxido nitroso. Jornada de Fertilizar Asociación Civil.
- Martínez, F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II No 3.
- Mercados Agropecuarios. 2016. Publicación de la Subsecretaria de Mercados Agropecuarios Nro 1 Dic 2016. http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/publicaciones/revista_mercados1.pdf
- Oenema O., H. Kros, W. de Vries. 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Europ. J. Agronomy* 20:3-16.
- Reca, L.E. 2013. Aspectos de la fertilización química y de la producción de granos en el mundo y en Argentina 1961 – 2010. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires.
- Revista La Chacra. 2016. ¿Cuánto cuestan los Insumos agrícolas? <http://www.revistachacra.com.ar/nota/522/>
- Sainz Rosas, H., y H. Echeverría. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Actas CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACs. Versión CD.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, P. Barbieri, y M. Eyherabide. 2014. Relevamiento y Mapeo de la fertilidad en suelos agrícolas de la región pampeana Argentina. Revista Fertilizar No. 29 <http://fertilizar.org.ar/subida/revistas/29.pdf>
- SIIA. 2017. Sistema integrado de información agropecuaria. Ministerio de Agroindustria de la República Argentina. http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php
- Salvagiotti, F., D.J. Collino, A. Peticari, C. Piccinetti, y G. Ovando, S. Urquiaga, y R.W. Racca. 2016. El aporte de la fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja en Argentina. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-16.fijacion-biologica-nitrogeno-en-soja-argentina.pdf>

Relevamiento de fertilidad de los suelos pampeanos ¿Qué nos dicen los análisis de suelo?

Amancay Herrera y Roberto Rotondaro*

- Este artículo presenta la base de datos de análisis de suelos realizados por el Laboratorio SUELOFERTIL entre 2000 y 2015.
- El relevamiento realizado indica que los niveles de MO varían regionalmente, los de pH han disminuido en el centro y este de la región pampeana, y los de P y Zn extractable muestran una amplia área con valores por debajo de los rangos críticos para los cultivos.

Introducción

Históricamente, los suelos en la región pampeana argentina, se han caracterizado por un adecuado nivel de fertilidad. Sin embargo, en los últimos años, la intensidad y uso agropecuario ha provocado cambios en sus características, evidenciando deficiencias actuales de algunos elementos. En distintos momentos se han realizado trabajos y publicaciones de mapas de suelos, como ser los publicados por Darwich (1983) y Darwich (1991) en la década de los '80 y '90, mostrando el contenido de fósforo extractable (P). En la década de los '90, Ratto de Miguez y Diggs (1990), Ratto de Miguez y Fatta (1990) y Ratto de Miguez et al. (1999) publicaron varios artículos sobre la disponibilidad de algunos micronutrientes como el boro (B). Más adelante, Cruzate y Casas (2009; 2012) diagramaron mapas de extracción y balance de varios elementos, incluyendo nitrógeno (N), P, potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), y B. En el año 2010 y 2011, INTA y la Asociación Civil FERTILIZAR llevaron adelante un proyecto de muestreo de suelos geo referenciado para comparar la condición de suelos prístinos y agrícolas (Sainz Rozas et al. 2011 a y b; Sainz Rozas et al., 2013). Este trabajo mostró los cambios ocurridos en diversos parámetros de fertilidad edáfica en la región pampeana argentina por efecto de la agricultura.

El objetivo de este artículo es realizar una caracterización general de la fertilidad de los suelos pampeanos en base a datos de análisis de suelos realizados en los últimos años por el Laboratorio SUELOFERTIL, perteneciente a la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) (<http://www.suelo-fertil.com.ar>).

Metodología

Para el presente análisis, se utilizó la base de datos de análisis de suelos cuyas características principales se describen a continuación:

- Los datos recolectados provienen de tres laboratorios de suelos ubicados en Pergamino (Buenos Aires), Tres Arroyos (Buenos Aires) y Hernando (Córdoba).
- La cobertura geográfica de las muestras comprende más de 500 localidades distribuidas en

las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa, y otras vecinas en la región pampeana argentina (**Figura 1**).

- Las muestras de suelo incluidas en este trabajo son las recibidas desde el año 2000 a 2015 inclusive, o sea en 16 años.

Análisis de datos

Para el análisis se consideraron los siguientes parámetros de fertilidad edáfica: i) materia orgánica (MO) (Walkley y Black), pH (1:2.5, suelo:agua), P Bray-1 (Bray y Kurtz) y Zn (DTPA). La base de datos incluye más de 130 mil muestras para MO y P Bray-1, más de 127 mil para pH y casi 15 mil para Zn. En todos los casos, la profundidad de muestreo considerada fue de 0 a 20 cm. Adicionalmente,

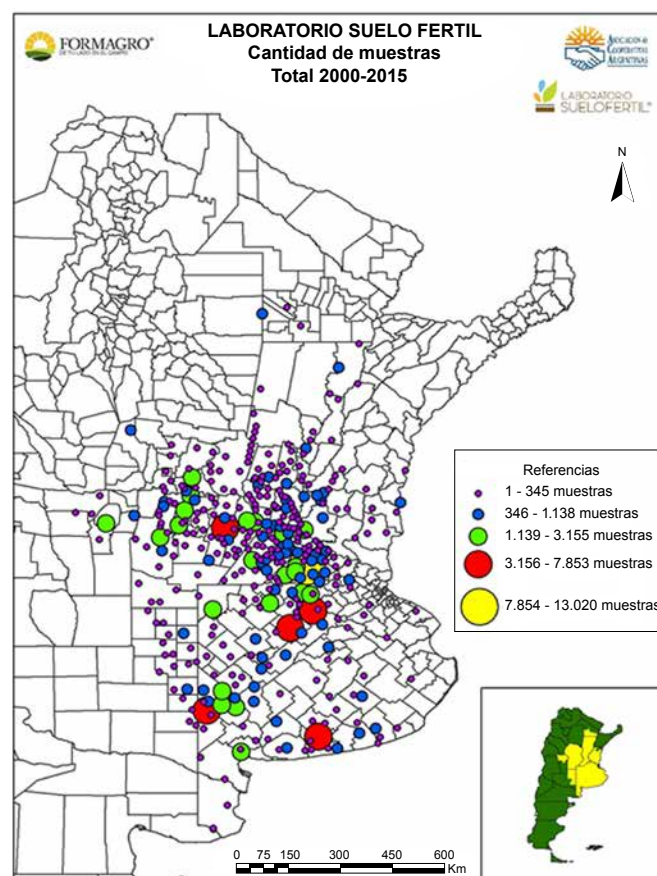


Figura 1. Distribución geográfica de las muestras incluidas en el análisis de la base de datos del Laboratorio SUELOFERTIL. Periodo 2000-2016.

* Laboratorio SUELOFERTIL – Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA)
Autor de contacto. Correo electrónico: rotondaro@acacoop.com.ar

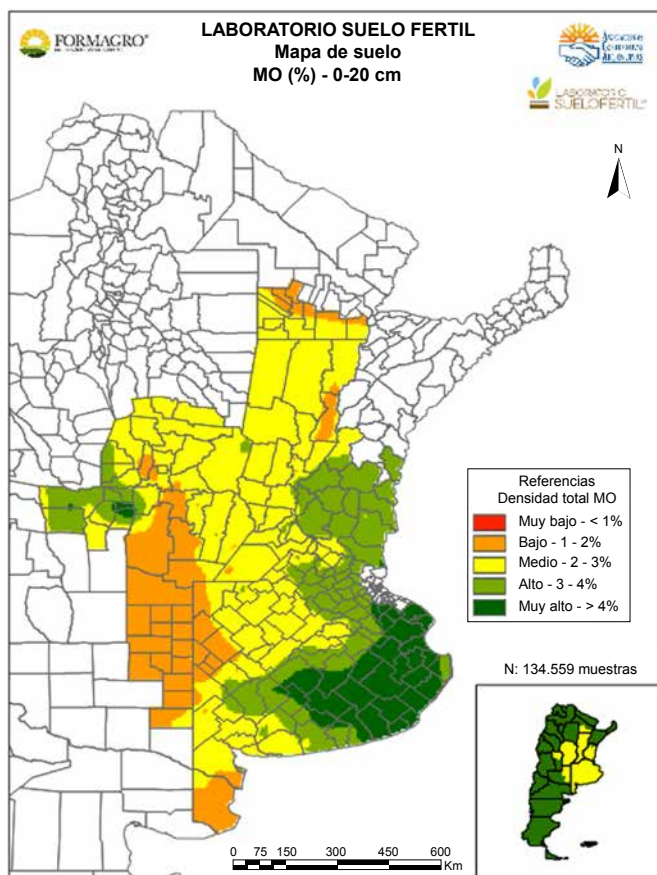


Figura 2. Mapa de materia orgánica del suelo (MO) en capa superficial. Periodo 2000-2016. Base de datos Laboratorio SUELOFERTIL.

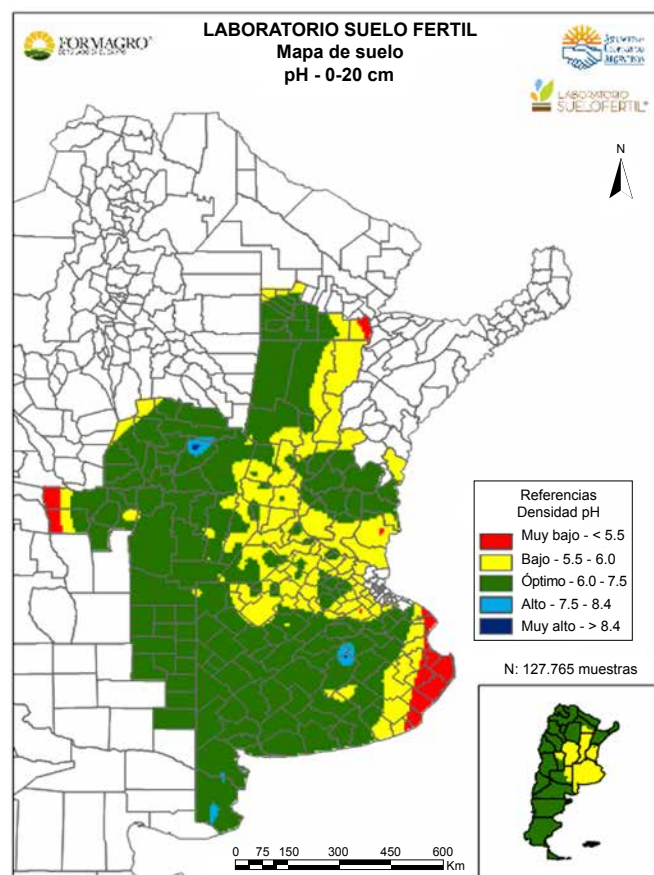


Figura 3. Mapa de potencial hidrógeno (pH) en capa superficial (0-20 cm). Periodo 2000-2016. Base de datos Laboratorio SUELOFERTIL.

se excluyeron algunos valores extremos, principalmente por ser muy altos. En todos los casos, el valor que se muestra es el promedio por localidad, ponderado por el número de muestras. Para la realización de los mapas se utilizó el programa ArcGIS 10.2 (© 1995–2017 Esri).

Resultados

Materia orgánica

Como puede apreciarse en la **Figura 2**, el contenido de MO aumenta desde el oeste hacia el este y desde el norte de la región hacia el sur y sudeste de Buenos Aires. Esto puede ser explicado principalmente por la diferencia en la textura del suelo, más gruesa en el oeste y fina en el este; la temperatura, mayor al norte y menor al sur; y la precipitación que disminuye desde el noreste hacia el sudoeste. Los niveles observados para cada región coinciden con los reportados en el relevamiento realizado por Sainz Rozas et al. (2011a) en suelos agrícolas, quienes reportaron pérdidas del 36% al 53% de MO al comparar los suelos agrícolas con situaciones prístinas.

Acidez actual (pH)

Otro indicador de la calidad del suelo es el pH, que indica la acidez o basicidad del suelo. Valores de pH apropiados para el crecimiento de la mayoría de los cultivos se encuentran entre 6.0 a 7.5. Se observan valores bajos de pH (menores a 6.0) principalmente en el área núcleo de producción de granos: noroeste y norte de Buenos Aires,

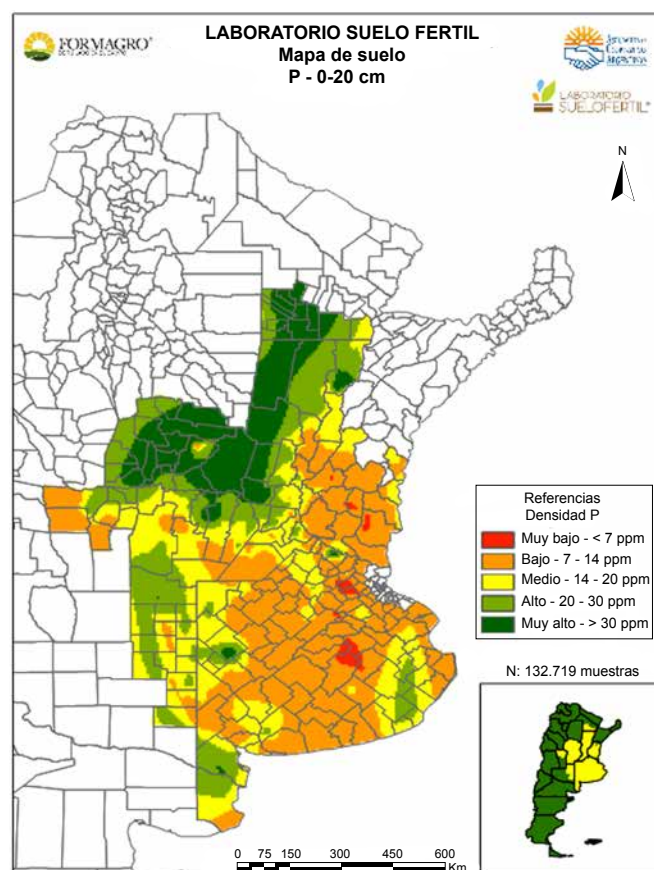


Figura 4. Mapa de P extractable (Bray-1) en capa superficial (0-20 cm). Periodo 2000-2015. Base de datos Laboratorio SUELOFERTIL.

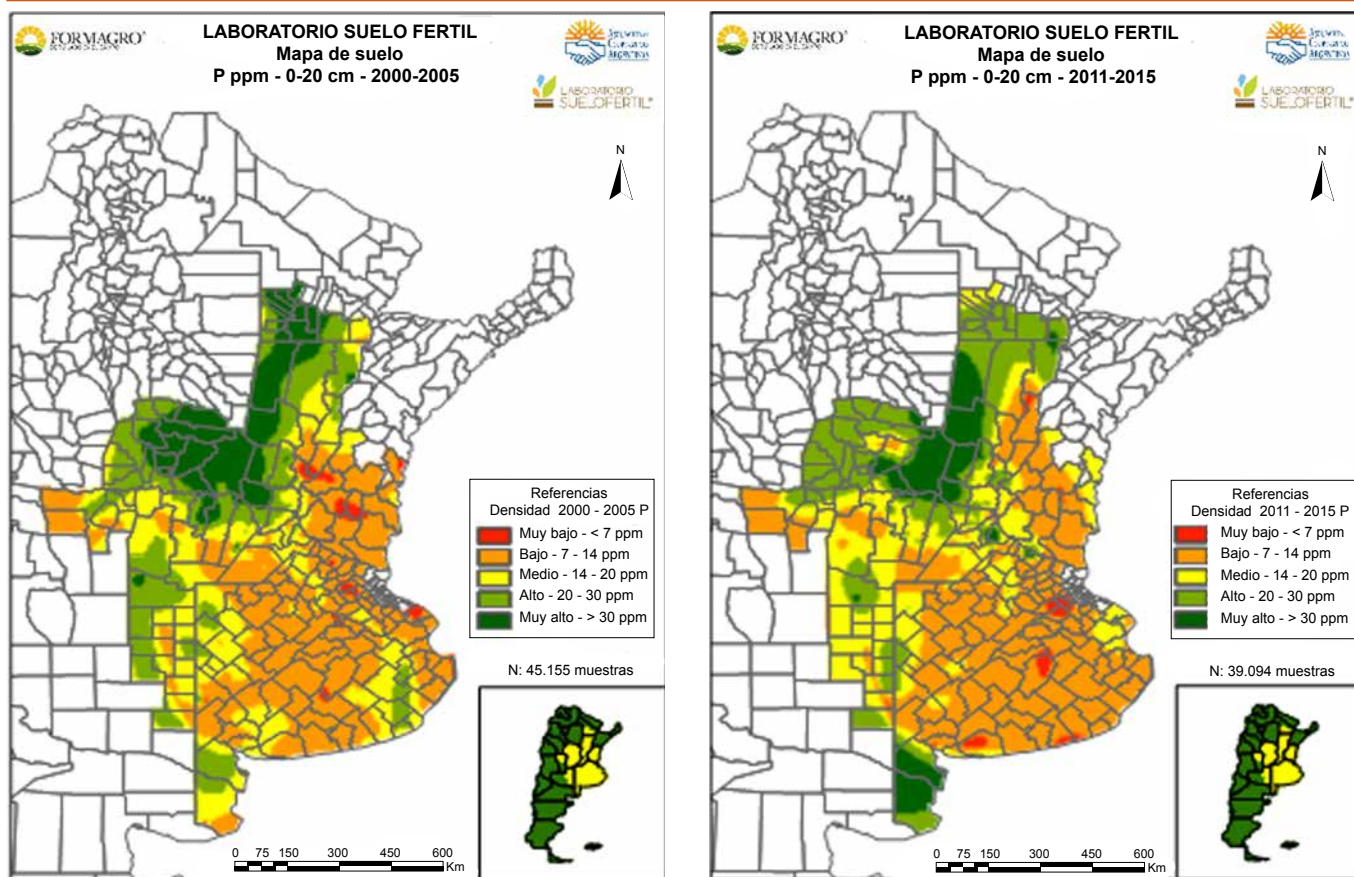


Figura 5. Mapa de P extractable (Bray-1) en capa superficial (0-20 cm). Periodos 2000-2005 (izquierda) y 2011-2015 (derecha). Base de datos Laboratorio SUELOFERTIL.

sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y oeste de Entre Ríos (**Figura 3**). La comparación con el relevamiento de Sainz Rozas et al. (2011a) indicaría que esta área con pH debajo de 6.0 en el centro y este de la región pampeana se ha extendido. En buena parte, esto podría deberse a la mayor extracción de bases (calcio, magnesio y potasio), no solo por mayor nivel de producción sino también por la mayor historia de actividad agrícolas sobre los suelos de esta región (Cruzate y Casas, 2009 y 2012).

Fósforo extractable

En el caso del P extractable, se presenta el mapa para la base 2000-2015 (**Figura 4**) y una subdivisión de las muestras en dos periodos: i) 2000 a 2005 y ii) 2011 a 2015 (**Figura 5**). El mapa 2000-2015 muestra valores promedios bajos y muy bajos en una gran extensión de Buenos Aires, Entre Ríos y sur de Santa Fe, valores medios para la zona centro y sur de Córdoba y este de La Pampa y valores muy altos en el centro-oeste y centro-norte de Santa Fe y norte de Córdoba (**Figura 4**). Comparativamente entre periodos (**Figura 5**), se observan cambios en algunas zonas como el sur de Córdoba, este de La Pampa, oeste de Buenos Aires y centro de Santa Fe, las cuales disminuyeron su nivel promedio de P Bray-1. La comparación con el relevamiento de Sainz Rozas et al. (2011b) no muestra mayores diferencias. Este nutriente varía en el mediano plazo de acuerdo a la utilización que se haga del mismo, en la medida que la extracción de los cultivos es mayor que lo aplicado por fertilizantes, el balance es negativo y los análisis de suelo así lo muestran.

Esta situación, refleja lo sucedido a nivel país con los balances de P, donde la reposición del nutriente, en el mejor de los casos, no supera el 70% de la extracción por cosecha, y ha variado entre 40% y 60% en la década del 2000-2010 (García y González Sanjuán, 2013).

Zinc extractable

En cuanto a los niveles de Zn en suelo, se aprecia una amplia región hacia el norte y oeste con niveles promedio inferiores a 1 ppm, valor umbral que es considerado crítico para cultivos como el maíz (Barbieri et al., 2017) (**Figura 6**). Esta baja disponibilidad puede atribuirse a la continua extracción por parte de los cultivos y nula o escasa utilización de fertilizantes que contengan Zn. Los niveles observados en general coinciden con los reportados por Sainz Rozas et al. (2013), excepto para la zona norte de región pampeana donde nuestro relevamiento mostraría niveles inferiores a los reportados por dichos autores.

Comentarios finales

El relevamiento realizado indica que los niveles de MO varían regionalmente y son similares a los observados en relevamientos recientes. Los niveles de pH han disminuido en el centro y este de la región pampeana. Los niveles de P extractable muestran una amplia área de la región pampeana con valores menores de 15 ppm P Bray-1, confirmando la generalizada caída de disponibilidad de este nutriente respecto a los niveles originales. Los niveles de Zn extractable son bajos en general, indicando una alta probabilidad de respuesta en suelos de la región.

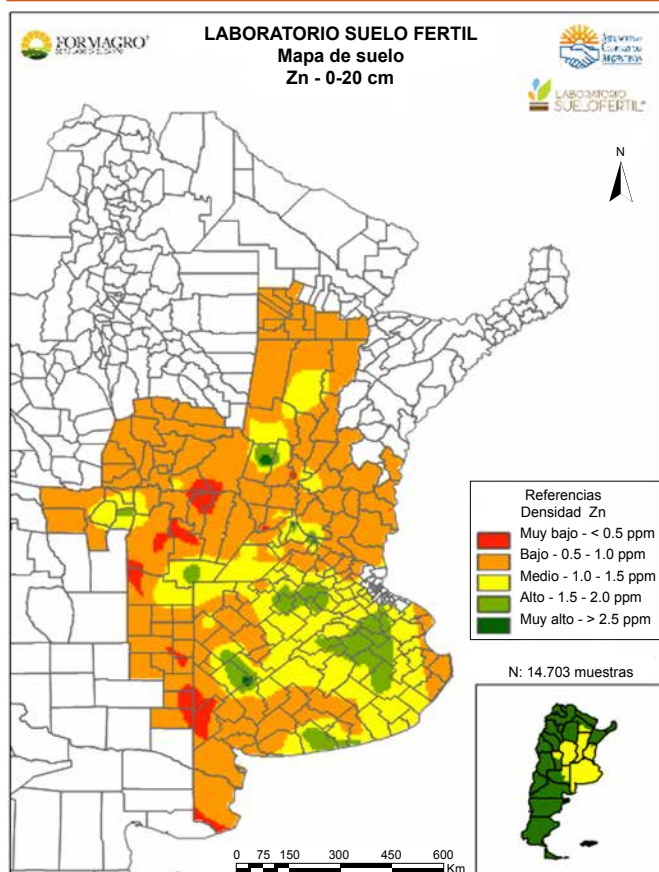


Figura 6. Mapa de Zn extractable (DTPA) en capa superficial (0-20 cm). Periodo 2000-2016. Base de datos Laboratorio SUELOFERTIL.

El compendio de este tipo de información permite caracterizar el estado de fertilidad de los suelos y monitorear los cambios de algunas variables edáficas contribuyendo al conocimiento del recurso suelo y a la toma de decisiones en el manejo de nutrientes. Es importante recordar que el suelo es un recurso valioso y escaso, por lo cual, el cuidado del mismo debería ser prioridad para asegurar su productividad para las generaciones actuales y futuras.

Bibliografía

- Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas, N. Wyngaard, M. Eyherabide, N.I. Reussi Calvo, F. Salvagotti, A.A. Correndo, P.A. Barbagelata, G.P. Espósito Goya, J.C. Colazo, y H.E. Echeverría. 2017. Can Edaphic Variables Improve DTPA-Based Zinc Diagnosis in Corn? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81:556-563. doi:10.2136/sssaj2016.09.0316
- Cruzate, G.A., y R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* No. 44:21-26.
- Cruzate, G.A., y R. Casas. 2012. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* No. 6:7-14.
- Darwich N. 1983. Niveles de P disponible en suelos pampeanos. *IDIA 409-412*: 1-5. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Darwich N.A. 1991. Fertilizantes: nuevo balance de requerimientos. En: INTA (ed.). *Juicio a Nuestra agricultura*. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 351.
- García, F.O., y M.F. González Sanjuán. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* No. 9:2-7.
- Ratto de Miguez S, Diggs C. 1990. Niveles de boro en suelos de la Pradera Pampeana. Aplicación al cultivo de girasol. *Ciencia del Suelo* 8:93-100.
- Ratto de Miguez S., Fatta N. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo* 8:9-15.
- Ratto de Miguez, S., Diggs, C., y Ras, C. 1999. Effect of some soil properties on extractable boron content in Argentine Pampas soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30:2083-2100.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini. 2011a. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Informaciones Agronómicas*. 2:1-7.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini. 2011b. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 4:14-18.
- Sainz Rozas, H., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, H. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris, y M. Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? pp. 62-72. En: F. García y A. Correndo (ed.). *Simposio Fertilidad 2013: Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable*. 22-23 de Mayo de 2013. Rosario. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC.

Cultivos de cobertura para maíz en el centro-sur bonaerense

Fernando Ross*

- Durante las últimas campañas, los cultivos de cobertura (CC) han cumplido un rol estratégico cuando la rotación no es suficiente para alcanzar un nivel de cobertura adecuado.
- Este trabajo evaluó los efectos del momento de supresión del CC avena-vicia sobre la dinámica del agua en el suelo, el balance hídrico y el rendimiento del maíz.
- La supresión en septiembre del CC avena-vicia, sembrado entre fines de febrero e inicios de marzo, logró un nivel de cobertura adecuada y permitió acumular el óptimo de agua útil a la siembra del cultivo de maíz, condiciones que permitieron maximizar su rendimiento.

Introducción

Tres Arroyos se encuentra dentro de la región subhúmeda del centro-sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina), con una precipitación promedio de 758 mm anuales (EEAI INTA Barrow) siendo el agua la principal limitante para la producción de cultivos en secano. El avance tecnológico en el cultivo de maíz ha permitido que este cultivo compita e incluso se destaque dentro de las opciones de cultivos de verano en los suelos someros de la región. El mejoramiento genético del cultivo determinó una mayor tolerancia ante situaciones de estrés. Sin embargo, la interacción entre la genética y el manejo son los pilares del éxito del cultivo en la región. Entre las prácticas de manejo se destaca la fecha de siembra tardía con ajuste de la densidad, el manejo de la nutrición, los avances en el control de malezas, control de insectos y todos los beneficios de la siembra directa.

En sistemas de cultivo bajo siembra directa producir biomasa y lograr elevados niveles de cobertura es esencial para sostener su productividad y sustentabilidad. Los CC cumplen esa función cuando la rotación agrícola no es suficiente para alcanzar un nivel de cobertura adecuado. Otro beneficio significativo de los CC proviene del nitrógeno (N) fijado por especies de la familia leguminosas. El aporte de N vía fijación biológica por el CC permite disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados en cultivos de gramíneas como el maíz o el sorgo. Además, la presencia de cobertura verde retardará la emergencia y competirá con las malezas por la reducción en la temperatura y la extinción de luz en la superficie del suelo. Los beneficios adicionales sobre patógenos y plagas mencionados en la literatura no serán abordados en este trabajo.

La presencia de cobertura sobre el suelo determina una mejora notablemente en la economía del agua. Numerosos trabajos mencionan incrementos en la tasa de infiltración del agua por la presencia de CC (Miller et al., 1990; Folorunso et al., 1992). Por otro lado, también se reduce la temperatura en la superficie del suelo y con ello la pérdida de agua por evaporación. Además, la cobertura genera rugosidad sobre la superficie del suelo

limitando la acción del viento sobre la evaporación y la erosión. Sin embargo, estos efectos sobre la economía del agua son máximos en las capas superiores del suelo haciéndose nulos por debajo de 40 cm desde la superficie. Por estas razones, es esperable que los beneficios en la economía del agua por la presencia de cobertura fuesen más importantes cuando menor es la profundidad efectiva del suelo.

Por otro lado, los beneficios en la economía del agua serán mayores cuanto mayor sea la biomasa aportada. Sin embargo, la biomasa aportada por el crecimiento de los CC supone un costo hídrico. Entonces, los beneficios aportados por los CC tienen un costo que va más allá de su implantación y cuidado. Para que la reducción del agua en el perfil no signifique una menor productividad del cultivo principal debemos conocer los principales aspectos de su dinámica en el suelo. En este trabajo propusimos evaluar los efectos del momento de supresión (MS) del CC avena-vicia sobre: a) la dinámica del agua en el suelo y el balance hídrico del cultivo principal (maíz), b) el rendimiento del cultivo de maíz, y c) la respuesta a la fertilización nitrogenada del maíz.

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en la Chacra Experimental Integrada de Barrow en un Paleudol petrocálcico, cuya característica principal es la presencia de una capa de carbonato de calcio limitando la profundidad efectiva a 60 cm. Se establecieron experimentos en las campañas agrícolas 2012/13, 2013/14, 2014/15 y 2015/16. La ubicación de los experimentos difirió entre años (**Tabla 1**) por lo cual los resultados y el análisis no son de carácter acumulativo.

La siembra de maíz se realizó con una sembradora experimental neumática Baumer, con surcos distanciados a 52.5 cm, con una densidad de 4 semillas m⁻². Se fertilizó con 70 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico [18-46(20P)-0] a la siembra.

Para cada año la supresión del cultivo de cobertura se realizó en tres momentos a partir de mediados de agosto

* EEA INTA Barrow, Ruta 3 km 488, Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina
Autor de contacto. Correo electrónico: ross.fernando@inta.gob.ar

Tabla 1. Detalles generales de manejo de cultivos de cobertura y maíz en los experimentos realizados entre las campañas 2012/13 a 2015/16. Chacra Barrow, Buenos Aires. CC: cultivo de cobertura; FS: fecha de siembra.

Campaña	CC	FS CC	Híbrido Maíz	FS Maíz
2012/13	40 kg ha ⁻¹ de vicia + 20 kg ha ⁻¹ de avena	30/3/2012	DK6610	14/12/2012
2013/14	40 kg ha ⁻¹ de vicia + 20 kg ha ⁻¹ de avena	3/3/2013	DK6610	25/11/2013
2014/15	15 kg ha ⁻¹ de avena + 30 kg ha ⁻¹ de vicia + 3 kg ha ⁻¹ de colza + 35 kg ha ⁻¹ de centeno	15/3/2014	DK670	25/11/2014
2015/16	40 kg ha ⁻¹ de vicia villosa y 20 kg ha ⁻¹ de avena	15/2/2015	DK692 y AX870	23/11/2015

Tabla 2. Esquema de tratamientos de cultivos de cobertura, momento de supresión y dosis de N en maíz. Campañas 2012/13 a 2015/16. Chacra Barrow, Buenos Aires.

Antecesor	Momento de supresión	Fenología	Dosis de N, kg ha ⁻¹
Barbecho ¹	sin	sin	0 80
CC (Av+Vi)	20-Ago	Veget	0 80
CC (Av+Vi)	20-Sep	Veget	0 80
CC (Av+Vi)	20-Oct	Fin de floración	0 80

¹ Periodo de descanso

hasta mediados de octubre (**Tabla 2**). Para suprimir el cultivo de cobertura se aplicó glifosato, atrazina y 2,4 D. Además, se evaluó la fertilización con N, 0 N vs. 80 kg N ha⁻¹ aplicados al voleo en preemergencia del maíz como urea (46-0-0). Se utilizó un diseño anidado con cuatro repeticiones dispuestas en bloques completamente aleatorizados, ubicando el MS en la parcela mayor y la fertilización con N en la parcela menor. El facto MS contó con cuatro niveles, considerando tres momentos de aplicación de glifosato más un tratamiento control (barbecho).

A la siembra del cultivo de maíz se midió la biomasa (kg base seca ha⁻¹) presente sobre la superficie del suelo (cobertura) y la disponibilidad de agua por el método gravimétrico hasta el manto de carbonato de calcio (0-60 cm). La lámina de agua útil se estimó a partir de las mediciones gravimétricas efectuadas y los valores de densidad aparente detallados en la carta de suelos de la serie Tres Arroyos (SiSINTA, 2017), perfil representativo del suelo bajo estudio. La eficiencia de almacenaje de las precipitaciones se calculó como el cociente entre el agua disponible en el suelo a la siembra y las precipitaciones acumuladas desde la supresión hasta la siembra del maíz (para el testigo se consideró como inicio el día 1-jun).

Los datos meteorológicos se tomaron en una estación ubicada entre 600 y 2000 metros de los sitios experimentales. Las condiciones meteorológicas resultaron contrastantes entre años. Las precipitaciones durante la estación de crecimiento del CC resultaron abundantes en los años 2012 y 2014 (**Tabla 3**). En cambio, durante el

año 2015 la recarga hídrica invierno-primaveral resultó intermedia y escasa para el 2013. En el 2013, para el periodo siembra a cosecha de maíz se observó un elevado estrés hídrico producto de la escasez de precipitaciones y de una elevada demanda atmosférica. Para el resto de los años, las diferencias entre precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP) resultaron normales para la zona. Sin embargo, se destaca una reducida ETP en el año 2012 producto del retraso en la fecha de siembra respecto de los demás años.

Se calcularon los balances hídricos para el cultivo de maíz mediante el programa CropWat (FAO, 1992). El análisis estadístico se realizó con el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

Momento de supresión: cobertura y agua acumulada a la siembra de maíz

Para todos los años evaluados retrasar el MS del CC determinó un incremento en la cantidad de biomasa en superficie al momento de siembra del cultivo de maíz. Sin embargo, la biomasa acumulada difirió entre años (**Figura 1**), especialmente en el año 2013, donde las precipitaciones resultaron escasas y la acumulación de cobertura resultó significativamente inferior al resto de las campañas. En el año 2014, los niveles de cobertura acumulados resultaron elevados; no obstante, producto de que se realizó un CC polifítico (ver Materiales y métodos), la prevalencia de la vicia dentro de la biomasa

Tabla 3. Precipitaciones entre cuatro momentos de supresión y siembra del maíz (para el tratamiento testigo se contabilizó desde el 1-junio), y durante la estación de crecimiento del maíz , y evapotranspiración potencial (ETP), en cuatro campañas agrícolas.

Campaña agrícola	Momento de supresión	----- Precipitaciones, mm -----		ETP, mm
		Supresión-Siembra	Cultivo (maíz)	
2012/13	Sin CC	428		540
	Agosto	335	319	
	Septiembre	263		
	Octubre	220		
2013/14	Sin CC	148		683
	Agosto	114	348	
	Septiembre	68		
	Octubre	20		
2014/15	Sin CC	490		665
	Agosto	426	428	
	Septiembre	240		
	Octubre	150		
2015/16	Sin CC	252		619
	Agosto	165	403	
	Septiembre	82		
	Octubre	23		

total del CC resultó menor respecto al resto de las campañas (dato no mostrado).

Cuando la supresión se realizó a fines de octubre, la biomasa incluyó parte de órganos reproductivos e incluso semillas viables. Este es un importante detalle a considerar ya que no es el objetivo por el cual se implantan los CC y para ese tratamiento luego se debieron realizar controles químicos de “guachos” dentro del cultivo de maíz.

La cobertura y el agua acumulada son aspectos esenciales a balancear en los CC. A medida que aumenta la biomasa por extender el periodo de crecimiento del CC, mayor será el consumo de agua del suelo y menor el tiempo de barbecho para la reposición. Este trabajo no resultó una excepción, al igual que en trabajos previos retrasar el MS determinó incrementos en el nivel de cobertura (Figura 1) y una marcada reducción de las precipitaciones acumuladas entre supresión y siembra de maíz (Tabla 3). Sin embargo, la disponibilidad de agua en el suelo se asoció con las precipitaciones acumuladas en el barbecho según un modelo cuadrático-plateau (Figura 2). A medida que entre supresión y siembra se acumularon hasta 149 mm de precipitación, el agua útil en el suelo se incrementó linealmente hasta los 100 mm (Figura 2). Estos 100 mm de agua útil representan la máxima capacidad de almacenaje de suelos con 60 cm de PE. En cambio, cuando las precipitaciones acumuladas entre supresión y siembra superaron los 149

mm, el excedente no tuvo donde alojarse perdiéndose del sistema y reduciendo notablemente la eficiencia del barbecho. Por lo tanto, debemos considerar que en suelos limitados en profundidad efectiva los barbechos extensos son notablemente ineficientes. Además, los excedentes hídricos escurren superficialmente causando anegamientos en el lote. Debemos considerar que los barbechos largos contribuyen sustancialmente con las inundaciones en la cuenca cuando se registran precipitaciones de magnitud.

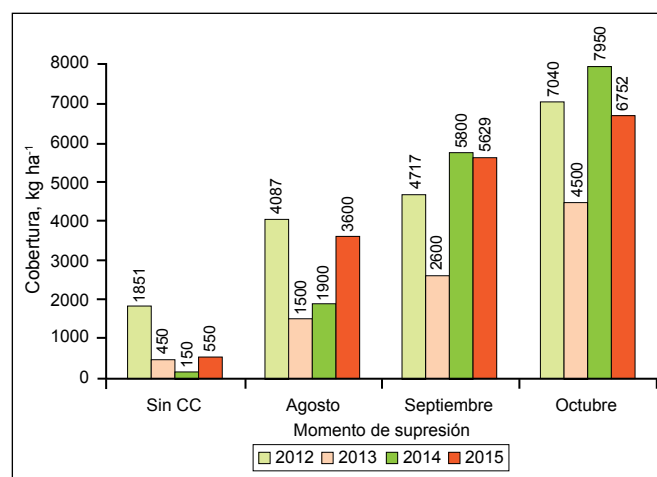


Figura 1. Promedio de biomasa aérea del cultivo de cobertura (cobertura) al momento de siembra del cultivo de maíz en función del momento de supresión, para las cuatro campañas evaluadas.

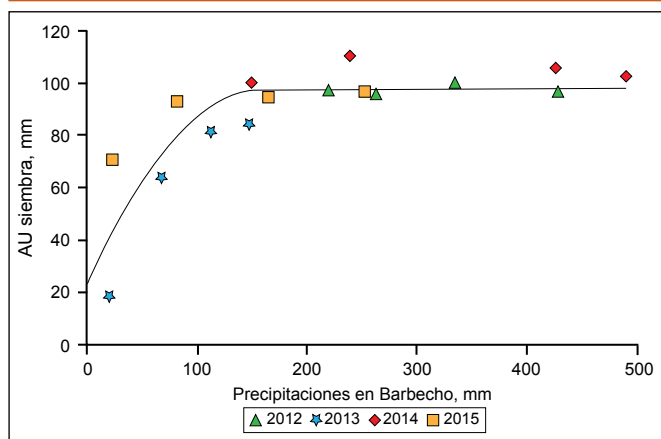


Figura 2. Milímetros de agua útil en el suelo (0-60 cm) a la siembra del maíz en función de las precipitaciones ocurridas durante el barbecho (entre el momento de supresión y la siembra de maíz).

Entre las campañas 2013/14 y 2015/16 hubo diferencias notables en la tendencia de reposición del agua útil del suelo (**Figura 2**). Considerando el MS de octubre, para una lluvia similar durante el periodo de barbecho (20 mm en 2013 vs. 23 mm en 2015; **Tabla 3**) se midieron a la siembra del maíz 19 mm de AU en 2013 vs 75 mm en 2015 (**Figura 2**). Esta diferencia se debe principalmente al estado hídrico del suelo al momento de supresión. Las mayores precipitaciones previas al MS de octubre del año 2015 (**Tabla 3**) determinaron un incremento del agua útil del suelo a la siembra del maíz respecto de 2013. Esto nos indica que debemos considerar el agua útil del suelo al MS para tener una mejor estimación de las precipitaciones necesarias para reponer la humedad del suelo a la siembra del maíz.

Rendimiento del maíz y tratamientos

El MS afectó significativamente el rendimiento del cultivo de maíz, del mismo modo que afectó el agua disponible a la siembra (**Tabla 4**). Además, el rendimiento difirió entre los años evaluados y el MS presentó interacción con Campaña ($p < 0.15$). Por otro lado, la fertilización nitrogenada solo resultó significativa en interacción con la variable Campaña (**Tabla 4**). Debido que estas interacciones determinan cambios en la magnitud y dirección de la respuesta se procederá a realizar un análisis desglosado por campaña.

Tabla 4. Análisis de la varianza del rendimiento de maíz en función de los factores estudiados (MS: momento de supresión; N: dosis de nitrógeno; y Campaña), y sus interacciones. F.V. = fuente de variación, gl = grados de libertad del error, valor-p = nivel de significancia.

F.V.	gl	valor-p
Modelo	31	<0.0001
MS	3	<0.0001
N	1	0.4557
Campaña	3	<0.0001
MS*N	3	0.8926
MS* Campaña	9	0.1211
N* Campaña	3	0.0063
MS*N* Campaña	9	0.6142

Durante 2012, 2014 y 2015 se obtuvieron excelentes rendimientos en el cultivo de maíz en secuencia con CC, superando notablemente otras experiencias locales con suelo desnudo (Ross, datos no publicados). En cambio, en el ciclo 2013, el rendimiento con CC resultó inferior producto de la escasez de precipitaciones y una elevada ETP (**Tabla 3**). En promedio, el mejor rendimiento del cultivo de maíz se obtuvo sobre cultivo de cobertura con supresión en la segunda quincena de septiembre (**Tabla 5**). La supresión del cultivo de cobertura en septiembre superó significativamente al testigo sin CC en 416 kg ha⁻¹. Además, se observó una marcada reducción en el rendimiento cuando la supresión se realizó entre mediados y fines de octubre.

Para el promedio de las campañas evaluadas el agregado de N no produjo incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de maíz (**Tabla 6**). Sin embargo, en el año 2014, la adición de 80 kg N ha⁻¹ incrementó significativamente el rendimiento de maíz. Es probable que la biomasa y la fijación biológica de la vicia fuese menor que en el resto de los años, en particular porque compartió el espacio con más especies (Materiales y métodos). Además, probablemente haya ocurrido una mayor inmovilización de N por las otras

Tabla 5. Rendimiento del cultivo de maíz (kg ha⁻¹) en función de la campaña y del momento de supresión. Letras diferentes indican diferencias significativas entre momentos de supresión dentro del año o en el promedio de los mismos ($p < 0.05$). (kg ha⁻¹)

MS	Campaña				Promedio
	2012	2013	2014	2015	
Sin CC	8472a	4961a	8003bc	8873b	7577b
Agosto	8613a	4685a	8134ab	9858a	7793ab
Septiembre	8855a	4588a	8549a	9742a	7993a
Octubre	8297a	2705b	7540c	8695b	6809c
Error estándar					
MS	108	122	84	238	138

Tabla 6. Rendimiento del cultivo de maíz (kg ha⁻¹) en función de la campaña y de la fertilización nitrogenada. Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0.05).

N	----- Año -----			
	2012	2013	2014	2015
0	8701b	4339d	7694c	9214a
80	8479b	4130d	8418b	9370a
Error estándar				
MS	122	238	84	108

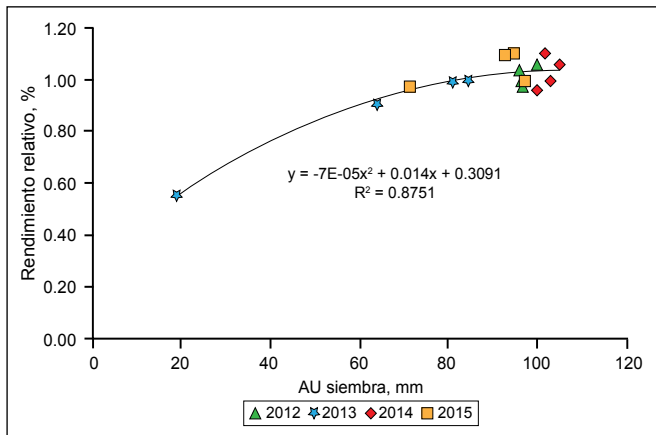


Figura 3. Rendimiento relativo del maíz con CC respecto al tratamiento sin CC en función del agua útil a la siembra del cultivo.

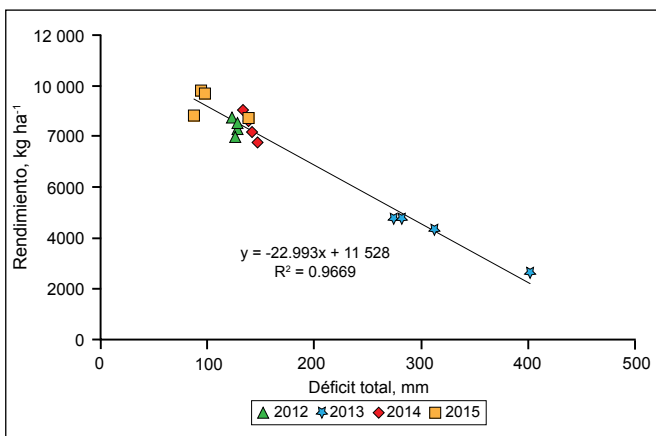


Figura 4. Rendimiento del cultivo de maíz en función del déficit hídrico estimado desde siembra a madurez fisiológica estimado según FAO (1992).

especies. De Sá Pereira et al. (2014) encontraron para el sudoeste bonaerense que la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz fue variable, con baja respuesta al agregado de N cuando el CC antecesor fue vicia, variable cuando fue barbecho y significativa cuando fue avena. Es altamente probable que con antecesor vicia el suelo logre aprovisionarse del N requerido por un cultivo de maíz de rendimiento intermedio (Ruffo y Parsons, 2004). Al igual que en este trabajo, en el sudoeste bonaerense se encontró una sustitución casi completa del agregado de N como fertilizante (80 kg N ha⁻¹) cuando el cultivo de maíz se realizó sobre un CC de vicia (De Sá Pereira et al., 2014).

Momento de supresión, balance hídrico y rendimiento del maíz

El rendimiento relativo del cultivo de maíz respecto del tratamiento sin CC se asoció con la disponibilidad hídrica a la siembra (**Figura 3**). Recordemos que estas variantes en la disponibilidad hídrica estaban determinadas principalmente por el MS (**Tabla 3, Figura 2**). Sin embargo, a medida que el agua útil a la siembra fue mayor el impacto sobre el rendimiento resultó menor. Podemos considerar que con niveles mayores a 90 mm de AU ya no hubo efectos sobre el rendimiento (**Figura 4**). Por lo tanto, conocer la disponibilidad hídrica a la siembra es un aspecto esencial a considerar para iniciar la siembra de maíz minimizando riesgos.

El rendimiento del cultivo de maíz se asoció con el déficit hídrico acumulado durante su estación de crecimiento (**Figura 4**). El estrés hídrico resultó moderado en las campañas 2012, 2014 y 2015. En cambio, en el 2013 el estrés fue muy intenso y redujo significativamente el rendimiento del cultivo. Debemos considerar que el programa de simulación utilizado (CROPWAT) es simple y no permite discriminar el efecto de la cobertura sobre el balance hídrico. Es decir, todos los tratamientos se simulaban bajo las mismas condiciones de suelo, solo variando la disponibilidad hídrica a la siembra. Sin embargo, si consideramos que el MS de septiembre rindió en promedio 416 kg ha⁻¹ más que el testigo (**Tabla 5**), mediante la ecuación de la **Figura 4** podemos deducir que el incremento en el uso de agua por el cultivo fue de 18 mm (416/23). Esta diferencia en el uso de agua es similar al incremento en el agua del suelo calculada para el periodo de barbecho entre suelo con cobertura versus suelo desnudo (Monzón y Sadras, 2006). Si bien, en términos absolutos este incremento en la disponibilidad de agua parece despreciable, llevado a la práctica produjo un incremento notable en el rendimiento. Por otro lado, en el año 2013 producto de la gran deficiencia de agua no hubo beneficios por la inclusión de CC. Entonces, si solo se consideran los años 2012, 2014 y 2015; la diferencia de rendimiento fue de 600 kg ha⁻¹ y el uso extra de agua por el cultivo de maíz sobre CC con supresión en septiembre resultó de 26 mm respecto del tratamiento sin CC. Según Monzón y Sadras (2006), las mayores diferencias de almacenaje en barbecho entre suelos desnudos y con cobertura ocurren en el rango de 60-250 mm. Es esperable que los beneficios de la cobertura durante el barbecho ocurran en igual magnitud durante las etapas iniciales del cultivo y permitan una mejora en el uso del agua por el cultivo. Trabajos previos donde se estimó el efecto de la cobertura sobre el rendimiento de maíz encontraron similares diferencias de rendimiento (Monzón et al., 2012). En ese trabajo se destaca que para producir una tonelada de maíz se necesitan 59.1 mm con cobertura versus 70 mm con suelo desnudo. Tomando esos datos obtenemos una diferencia de 986 kg ha⁻¹ producto de la presencia de cobertura. Podemos resumir que la fecha de supresión de fines de septiembre logró combinar una adecuada cobertura con la reposición hídrica del suelo

al momento de la siembra del maíz incrementando el rendimiento respecto del testigo sin cobertura.

Consideraciones finales

Los propósitos actuales de incorporar CC en secuencia con maíz son: i) generar cobertura que permita minimizar la evaporación directa desde el suelo y entonces maximizar el uso de agua por el cultivo de maíz, ii) minimizar los requerimientos de fertilización nitrogenada, y iii) suprimir temporalmente la emergencia de malezas.

La supresión en septiembre de CC avena-vicia sembrado entre fines de febrero e inicios de marzo logró un nivel de cobertura adecuada y permitió acumular el óptimo de agua útil a la siembra del cultivo de maíz, condiciones que permitieron maximizar su rendimiento. En cambio, cuando la supresión se retrasó a octubre, el rendimiento del maíz se vio reducido principalmente por una menor disponibilidad hídrica a la siembra. Según los resultados, los objetivos del CC serían acumular aproximadamente 5 t ha⁻¹ biomasa y sembrar el maíz cuando se logre la recarga hídrica del suelo. Considerando el promedio histórico de precipitaciones de Barrow, el MS en septiembre combinaría todos los beneficios de los CC con la reposición del agua del suelo para siembras de fines de noviembre (media: 143 mm).

La siembra temprana del cultivo de cobertura (mediados a fines de febrero) es muy importante para el logro de los objetivos de un CC. De este modo se maximiza el crecimiento otoñal del CC y esto permite adelantar el MS si se esperan escasas lluvias durante la primavera.

Bibliografía

- De Sá Pereira, E., J.A. Galantini, A.R. Quiroga, y M.R. Landriscini. 2014. Efecto De Los Cultivos De Cobertura Otoño Invernales, Sobre El Rendimiento Y Acumulación De N En Maíz En El Sudoeste Bonaerense. *Cienc. Suelo* Vol. 32 No. 2.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO. 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. *Irrigation and Drainage Paper No. 46*. Rome.
- Folorunso, O.A., D.E. Rolston, y D.T. Prichardt Lovi. 1992. Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter cover crops. *Soil Technology*. Vol 5, issue 3, pp. 189-197.
- Miller, P.R., W.C. Graver, W.A. Williams, y B.A. Madison. 1990. "Cultivos de cobertura para la agricultura de California". University of California Davis. *Agronomy progress Report No. 219*.
- Monzón, J.P., y V.O. Sadras. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *Field Crops Res.* 98(2-3):83-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.010>.
- Monzón, J.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2012. Modelled yield and water use efficiency of maize in response to crop management and Southern Oscillation Index in a soil-climate transect in Argentina. Vol. 130, 29 March 2012, pp 8-18.
- Ruffo, M.L., y A.T. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, No. 21.
- SiSINTA. 2017. Serie de suelos Tres Arroyos. Cartas de suelos de la República Argentina. INTA. Disponible en: <http://sisinta.inta.gob.ar/series/285>



Cultivo de Vicia

Soja de alto rendimiento: Ganancia genética y limitación por nitrógeno

O. Ortez^{1*}, F. Salvagiotti², J. Enrico² e I. Ciampitti¹

- La mejora genética del rendimiento de soja desde la década de 1980 hasta la del 2010 representó 30% promediando en sitios ubicados en los Estados Unidos y Argentina. Para todas las pocas de liberación, la fertilización ad-libitum con N generó hasta un 20% de aumento en rendimientos en EE.UU., y un 5% en Argentina.
- Los resultados sugieren que soja de alta producción estaría limitada por N para expresar altos rendimientos y contenidos de proteínas, aunque quedan incógnitas acerca de la forma en que este N deba ser provisto.
- Cabe aclarar que el objetivo del ensayo no es recomendar aplicaciones de fertilizante nitrogenado en soja, pero entender mejor si el N es un factor limitante en el cultivo.

Introducción

Los Estados Unidos (EE.UU.) y Argentina representan más del 50% de la producción mundial de soja (USDA, 2016). Dentro de los EE.UU., más del 85% del área cultivada con soja se encuentra en el “Cinturón Maicero”, donde más del 60% está implantada dentro de una rotación maíz-soja. En Argentina, la soja se siembra principalmente en la región pampeana y el gran chaco, bajo condiciones de secano, mayormente como monocultivo, y en menor proporción en rotación con trigo y/o maíz.

El potencial de rendimiento de soja está genéticamente determinado. Este potencial (Y_p) puede alcanzarse en condiciones “ideales” (genotipo \times ambiente \times prácticas de manejo, $G \times A \times M$), asumiendo la ausencia de limitaciones en la oferta de agua y nutrientes y de factores limitantes de rendimiento (por ej., insectos, enfermedades, malezas, granizo, etc.). Las diferencias entre Y_p y el rendimiento realmente alcanzado (Y_A) por el productor se definen principalmente por las prácticas de manejo de cultivos (por ej., fecha de siembra, aplicación de nutrientes, espaciamiento entre hileras, aplicación de fungicidas, entre otros) y las interacciones de éstas con el ambiente (suelo y clima). En este sentido, el logro de rendimientos más cercanos a los máximos de soja depende en gran medida de una nutrición balanceada y, en ausencia de déficit hídrico, el nitrógeno (N) limitaría los rendimientos de soja y la calidad de semilla, especialmente en ambientes de alto rendimiento (Ciampitti et al., 2016).

Las principales fuentes de N para el cultivo de soja son la fijación biológica y el suelo (mineral o fertilizante). La fijación biológica de N (FBN) convierte el N atmosférico (N_2) en amoníaco (NH_3), y luego en componentes orgánicos nitrogenados (Wright & Lenssen, 2013). Sin embargo, se ha documentado que el proceso de FBN no puede suministrar las necesidades totales del cultivo de soja. En general, solo el 50-60% del N necesario en soja

es usualmente suministrado por el proceso de fijación (Salvagiotti et al., 2008). En tal sentido, la habilidad del proceso de FBN para suministrar N a niveles variables (medios a altos) de rendimiento es un conocimiento científico aún sin dilucidar y es por eso que la adición de N en el sistema productivo de soja podría tener un impacto positivo incrementando así el máximo rendimiento alcanzable del cultivo a como también los niveles proteicos en grano.

El mejoramiento genético en soja ha logrado incrementos en los últimos 50 años, sin embargo, siempre se ha logrado a expensas de la disponibilidad de N provista por el suelo y la fijación biológica (FBN). En caso de existir una limitación por N, la interacción entre genotipos y limitación por N en soja aún no es conocida. Considerando genotipos de grupo de madurez (GM) II y III liberados entre las décadas de 1920's y 2000's, Rowntree et al. (2013) registraron una ganancia genética anual en soja en EE.UU. de aproximadamente 25 kg ha⁻¹ para las siembras del mes de mayo. En los mismos resultados se reportó que el incremento en rendimientos de soja afectó negativamente los niveles de concentración de proteína en semilla (0.191 g kg⁻¹ año⁻¹ para GM II y 0.242 g kg⁻¹ año⁻¹ para GM III). En distintos estudios realizados en la década del 2000 se observó un incremento anual en rendimiento de 31 kg ha⁻¹ en EE.UU. (Specht et al., 1999) y 28 kg ha⁻¹ a nivel global (Wilcox, 2004) entre 1970 y 2000's. Otros estudios han demostrado la estrecha relación lineal que existe entre N y rendimiento en soja (Salvagiotti et al., 2008; Tamagno et al., 2017). Por lo tanto, resulta válido hipotetizar si cultivos de soja de alto nivel de rendimiento logrados a través del proceso de mejora en las últimas décadas requerirán una mayor disponibilidad de N, que no pueda ser provista por la FBN y el suelo, que también mantenga o incremente el contenido de proteína del grano.

¹ KSUCrops, Equipo de Producción de Cultivos, Universidad Estatal de Kansas, Manhattan, Kansas, EE.UU.

² EEA INTA Oliveros, Santa Fe, Argentina

* Autor de contacto. Correo electrónico: oaortez@ksu.edu

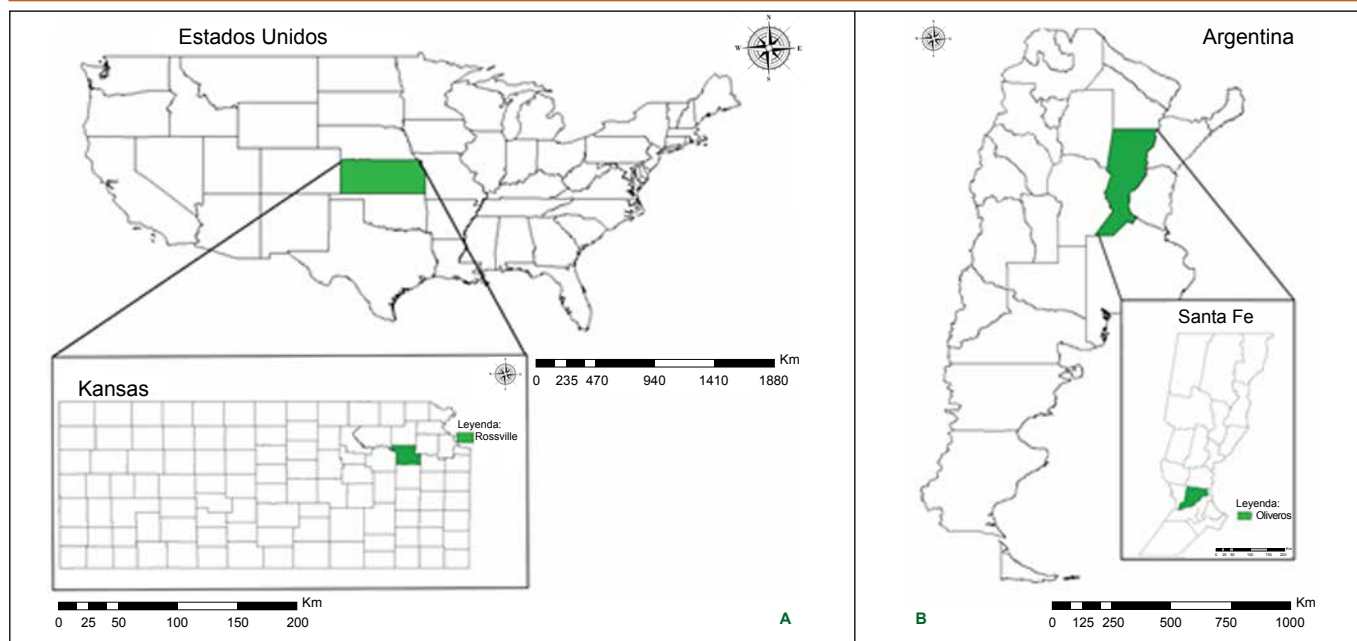


Figura 1. Ubicación geográfica de los 2 ensayos experimentales de soja realizados en el ciclo productivo 2016: Rossville (Kansas, EE.UU.) (A) y Oliveros (Santa Fe, Argentina) (B).

Objetivos

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar el rendimiento y extracción de N en grano en genotipos de soja liberados entre las décadas de 1980 y 2010; y 2) estudiar la contribución de fertilización nitrogenada bajo distintos escenarios (i) soja sembrada en condiciones normales de producción –sin aplicación de N, solo inoculadas–, (ii) soja con todo el requerimiento de N ofrecido mediante fertilización, y (iii) soja inoculada con un pequeño aporte de N en el estadio reproductivo del cultivo.

Materiales y métodos

Sitios

El proyecto se llevó a cabo en dos localidades durante el ciclo productivo 2016: Rossville (Kansas, EE.UU.) (Figura 1, A); y Oliveros (Santa Fe, Argentina) (Figura 1, B).

Diseño experimental y análisis estadístico

Los ensayos se condujeron en parcelas experimentales de 3 m de ancho por 9 m de largo en Rossville y una densidad de siembra de 254 000 semillas por ha. En Oliveros, el tamaño de las parcelas fue de 2.6 m de ancho por 7 m de largo y la densidad de siembra fue de 360 000 semillas por ha. En ambas localidades el experimento tuvo 4 repeticiones. En Rossville, el diseño experimental fue parcelas divididas, donde la parcela principal fue la aplicación de fertilización con N y como sub parcela el genotipo; en Oliveros, la parcela principal fue el genotipo y la sub parcela fue la aplicación de N. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en cada localidad y para cada una de las variables presentadas. Se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS, Fisher's) para separar las medias en aquellos efectos que fueron significativos con un alfa inferior a 0.05. Todo el análisis

estadístico se condujo con el programa estadístico R (R Software, 2017).

Caracterización de sitios

Previo a la siembra, se colectaron muestras de suelo a 15 y 60 cm de profundidad en Rossville. Los análisis realizados en las muestras con profundidad de 0-15 cm fueron: pH; P Mehlich-3 / P Bray-1; capacidad de intercambio catiónico (CIC); materia orgánica (MO); y disponibilidad de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). Sobre las muestras tomadas a 60 cm de profundidad se analizó el nivel de N-nitrato ($N-NO_3$). En Oliveros, todas las muestras se colectaron a 20 cm de profundidad, y los análisis realizados fueron pH; P Bray-1, MO y $N-NO_3$ (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización de suelos previo a la siembra de soja en las localidades bajo estudio en la campaña 2016 en Rossville, EE.UU. y Oliveros, Argentina.

Variable de suelo	Localidad	
	Rossville	Oliveros
pH	6.9	5.5
P Mehlich-3 / P Bray-1 (ppm)	21.0	12.0
CIC (meq/100g)	11.0	-
MO (%)	2.2	2.1
K (ppm)	153	-
Ca (ppm)	2074	-
Mg (ppm)	202	-
$N-NO_3$ (ppm)	3.0	6.3



Figura 2. Parcelas experimentales en Rossville, EE.UU. y Oliveros, Argentina. Izquierda: aplicación de N líquido UAN (32-0-0) en Rossville después de siembra. Derecha: vista de parcelas con distintos genotipos y progreso al estadio R7-R8 en Oliveros.

Tratamientos

Los tratamientos realizados fueron una combinación de tres estrategias de aporte de N al cultivo combinadas con genotipos de soja de diferente época de liberación. Las estrategias de aporte de N fueron:

- **Estrategia 1 (E1):** manejo tradicional (control) sin aplicación de N, solo inoculación;
- **Estrategia 2 (E2):** todo el N requerido por la planta fue aplicado como fertilizante (491 kg N ha^{-1}). Esta dosis de N fue distribuida equitativamente en tres momentos del cultivo: siembra, floración (R1), y alrededor de formación de vainas (R3-R4);
- **Estrategia 3 (E3):** aplicación tardía de 45 kg N ha^{-1} aplicado en el estadio reproductivo R3 en Rossville, EE. UU. y en R4 para Oliveros, Argentina.

Las aplicaciones se realizaron al suelo (evitando el daño potencial de altas dosis de N sobre el cultivo) con fuente líquida de urea-nitrato de amonio (UAN, 32-0-0).

Los genotipos evaluados fueron un total de 21, 13 en EE.UU. y 8 en Argentina. El tiempo de liberación de los genotipos utilizados varió entre las décadas de 1980's al 2010's (**Tabla 2**). Los grupos de madurez estuvieron en el rango de III y IV para las dos localidades. Previo a la siembra, todas las semillas fueron inoculadas con dosis comercial recomendada.

Variables evaluadas

Se estimaron los rendimientos ajustados a contenido de humedad en grano del 13.5% a través de la cosecha de las dos hileras centrales en cada parcela. En madurez fisiológica se determinó materia seca total y en grano. Estas muestras fueron utilizadas para analizar el contenido de proteína (%) por medio de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR).

El contenido de N en grano a cosecha fue calculado por medio de la multiplicación de la cantidad de biomasa seca de grano (kg ha^{-1}) y su concentración de N (%) siguiendo (**Ecuación 1**).

Tabla 2. Nombre de las variedades y década de liberación comercial de los materiales utilizados en los sitios experimentales, EE.UU. y Argentina.

Sitio	Década de liberación	Variedad
Rossville, EE.UU.	1980's	P3981, Williams 82, 9391
	1990's	9392, P93B82
	2000's	93Y92, 93B67, 93M90
	2010's	P34T43R2, P35T58R, P39T67R, 94Y23, P31T11R
Oliveros, Argentina	1980's	A4422, Williams
	1990's	A3910, DM49
	2000's	DM3700, DM4800
	2010's	NS4955, SRM3988

$$\text{Contenido de N en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Biomasa (kg ha}^{-1}\text{)} \times \text{Concentración de N (\%)} \quad \text{(Ec. 1)}$$

El requerimiento de N en grano por cada tonelada de grano producida se calculó multiplicando la concentración de N en grano (%) por 10 (**Ecuación 2**).

$$\text{Requerimiento de N en grano (kg ton}^{-1}\text{)} = \text{Concentración de N (\%)} \times 10 \quad \text{(Ec. 2)}$$

Resultados

Condiciones meteorológicas durante los experimentos

Precipitación, temperaturas máximas y mínimas, y los valores de radiación solar se documentaron a lo largo del ciclo del cultivo en ambas localidades. En Rossville, se observaron temperaturas máximas de $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínimas de $7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La precipitación acumulada en esta localidad fue de 812 mm durante la campaña. En Oliveros, las temperaturas máximas fueron de $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y las mínimas de $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La precipitación acumulada totalizó 686 mm. Los índices de radiación solar fueron similares en los dos sitios con alrededor de 80 000 Langley acumulados (Ly) durante el ciclo.

Ganancia en rendimiento y contenido de N en grano según década de liberación

Los factores evaluados en este estudio no mostraron una interacción estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) para ninguna de las variables evaluadas, por lo que los resultados estarán descritos en función de los factores principales (fertilización nitrogenada y genotipos).

En Rossville, el rendimiento en grano varió entre 2200 y 5100 kg ha^{-1} , mientras que en Oliveros estuvo entre 2700 y 4700 kg ha^{-1} (Figura 3, A-B). En ambos sitios, los genotipos modernos liberados en la década 2010's registraron los niveles más altos de producción, respecto a aquellos liberados en décadas anteriores (1980's, 1990's y 2000's). Al contrastar el rendimiento promedio de las tres estrategias de fertilización de los cultivares liberados en la década del 2010's respecto del promedio del resto

de las variedades evaluadas se registró un incremento del 33% en Rossville y del 28% en Oliveros.

Respecto al N exportado en grano, los resultados oscilaron entre 125 y 270 kg N ha^{-1} en Rossville y 145 a 235 kg N ha^{-1} en Oliveros (Figura 3, C-D). La tendencia fue semejante a la de rendimientos y pese a que los niveles proteicos no fueron los mismos, las mayores cantidades de N fueron removidas en los materiales modernos (2010's). Se observó un incremento del 25% (Rossville) y 24% (Oliveros) en la exportación de N en los sistemas productivos aquí evaluados, al comparar medias generales de la década 2010's con el resto y como promedio general de los tres tratamientos de fertilización.

Valores de concentración en grano (base seca) para las dos localidades y promedio para los genotipos agrupados según décadas de liberación y como promedio general

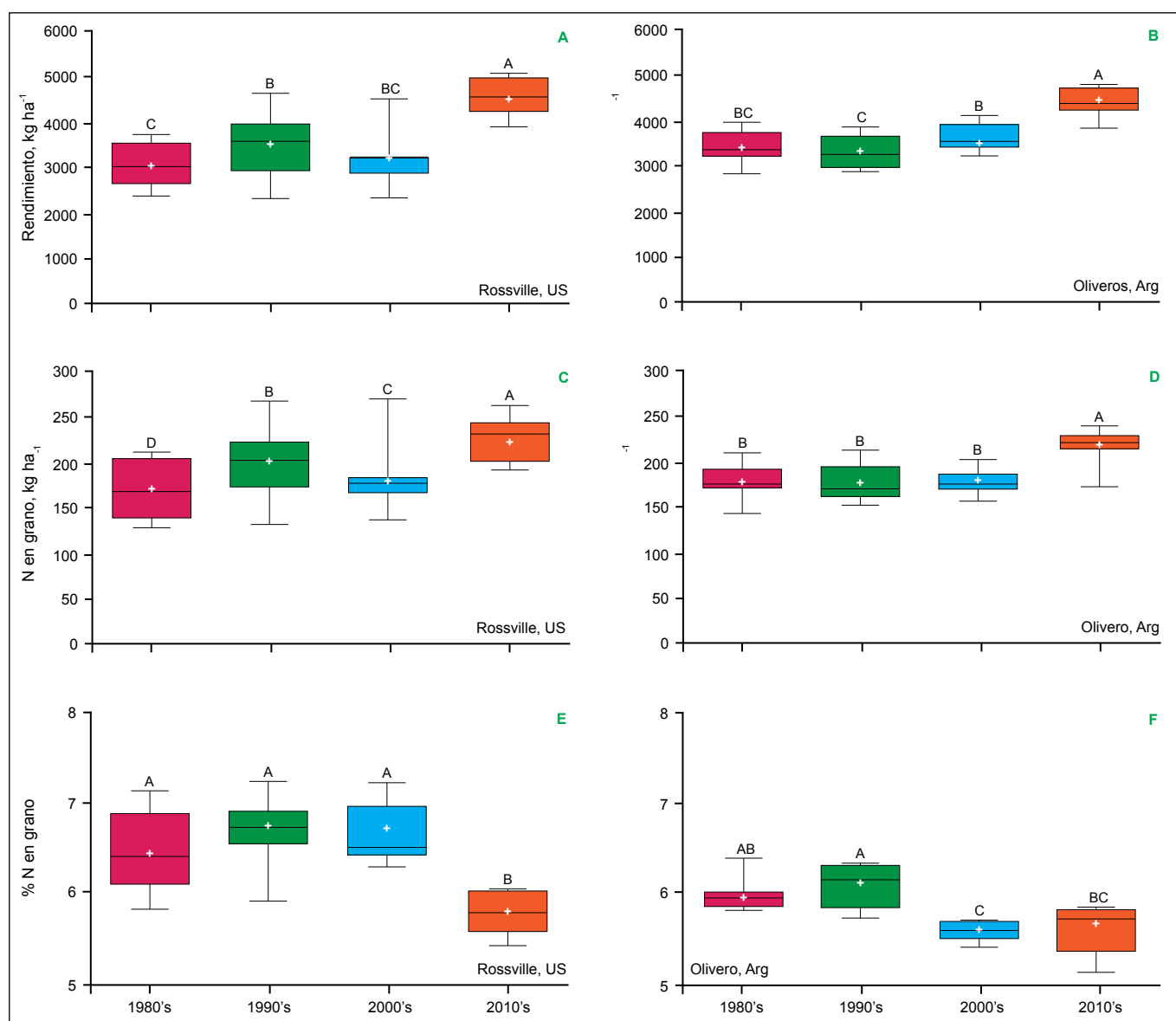


Figura 3. Rendimiento para el cultivo de soja expresado en kg ha^{-1} al 13.5% de contenido de humedad (A-B), N exportado en grano en kg ha^{-1} en base seca (C-D) y concentración de N en grano expresado en porcentaje con base seca (E-F). Letras distintas indican diferencias significativas entre décadas ($P \leq 0.05$). Cada barra incluye las observaciones máximas y mínimas, cuarto inferior (percentil 25), cuarto superior (percentil 75), la mediana (percentil 50) y, finalmente, la media denotada con el símbolo "+" para 21 genotipos agrupados según década de liberación (1980's, 1990's, 2000's y 2010's) y como promedio general de las tres estrategias de fertilización en Rossville (EE.UU.) y Oliveros (Argentina) durante la campaña 2016.

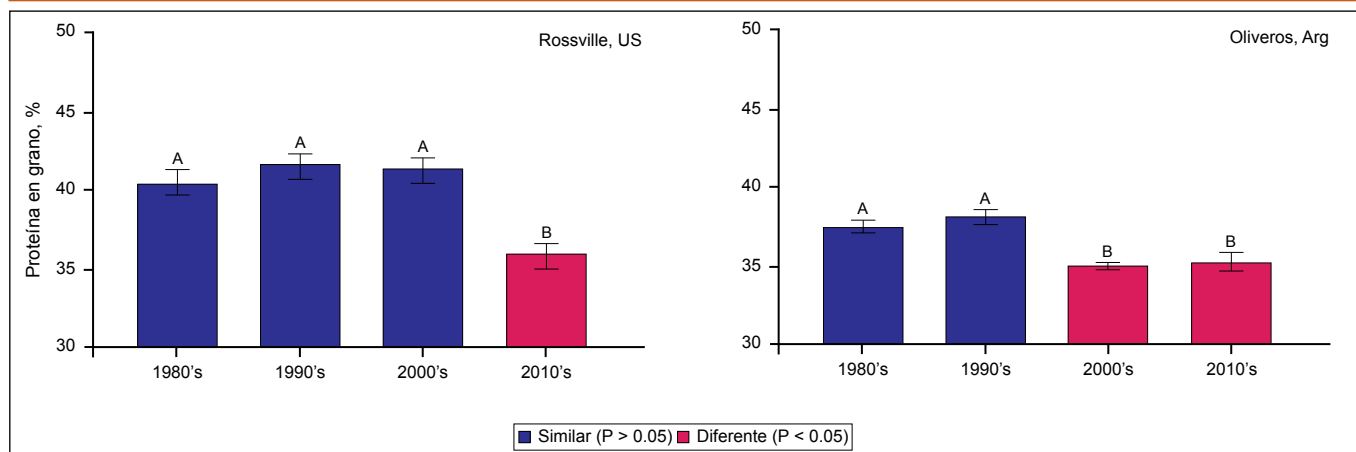


Figura 4. Contenido de proteína en grano de soja (%) en base seca para 21 genotipos agrupados en 4 décadas de liberación y como promedios generales de las tres estrategias de fertilización evaluados en Rossville (EE.UU.) y Oliveros (Argentina), campaña 2016. Letras distintas indican diferencias significativas entre décadas ($P \leq 0.05$).

de las tres estrategias de fertilización son presentados en la **Figura 3, E-F**. En Rossville, las concentraciones de N en grano oscilaron entre 5.5 y 7.2%. Concentraciones más altas de N se observaron con los genotipos de las décadas 1980's, 1990's y 2000's; y los niveles más bajos se observaron con genotipos de la última década de liberación (2010's). Para Oliveros, las concentraciones de N en grano fueron inferiores a las de Rossville y oscilaron entre 5.1 y 6.4%. Concentraciones más altas de N en grano en esta localidad fueron observadas con los genotipos de las décadas 1980's y 1990's. Los niveles más bajos se encontraron con los genotipos de las últimas décadas de liberación (2000 y 2010). Siendo N el factor principal determinante en la definición de los niveles de proteína en grano, los resultados en concentraciones de N aquí mostrados indican que altos niveles de rendimientos están asociados a los niveles más bajos de contenido proteico. Sin embargo, estos resultados serán evaluados con mayor precisión más adelante en este artículo.

El requerimiento de N en grano por cada tonelada de grano producido fue estimado en las dos localidades (**Ec. 2**). En Rossville, este requerimiento y con los genotipos de 1980's fue de 65 kg N/t, mientras que con los genotipos del 2010's el requerimiento se redujo a 58 kg. En Oliveros, el requerimiento para genotipos de la década 1980's fue de 60 kg N/t y para los genotipos del 2010's fue 56 kg N/t.

Niveles proteicos según las décadas de liberación

La concentración de proteína en grano varió entre 36 y 42% en Rossville, y entre 35 y 38% en Oliveros (**Figura 4**). Esta variable se redujo en la medida que aumentó la ganancia en rendimientos a través de las décadas, registrando los niveles proteicos más bajos con los genotipos de las décadas modernas 2000's y 2010's.

En Rossville, se registró una disminución del 5.8% de proteína en términos absolutos, que a su vez representó aproximadamente un 15% en términos relativos cuando se comparó genotipos de la década del 2010's respecto de las décadas previas. En Oliveros, se realizó una

comparación similar y resultó en una disminución del 2.4% de proteína en valores absolutos y aproximadamente un 7% en valores relativos al comparar genotipos liberados en las décadas 2000's y 2010's respecto de los liberados en las décadas 1980's y 1990's.

Ganancia en rendimiento y contenido de N en grano según disponibilidad de N

En términos generales, promediando los genotipos de distinta década de liberación, la mayor disponibilidad de N en el ciclo a través de la adición secuencial de 491 kg N por ha registró un impacto positivo en los rendimientos tanto en Rossville como en Oliveros ($P \leq 0.05$) (**Figura 5**). En Rossville, la E2 (491 kg N por ha) incrementó el rendimiento en un 20% respecto de E1 (sin fertilización N, control). El orden descendente de los resultados en Rossville se registró de la siguiente forma E2 >> E3 >> E1, siendo E1 la estrategia que produjo los niveles más bajos de productividad en el cultivo de soja. En Oliveros, la respuesta en rendimientos con la estrategia E2 fue del 5% al compararla con la E1 (sin fertilización N, control) y E3 (N 45 tardío). En esta misma localidad, E1 y E3 no presentaron diferencias significativas entre sí. En términos relativos, la respuesta de rendimiento a la fertilización nitrogenada fue consistente a través de los distintos genotipos, indicando la probable limitación de N para abastecer la demanda de este nutriente para el cultivo en niveles de media ($> 3 \text{ Mg ha}^{-1}$) a alta productividad ($> 4.5 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Niveles proteicos según condiciones extremas de N

Al comparar condiciones contrastantes de N (491 kg ha^{-1} versus el control) se observó un 1.3% (absoluto) de aumento ($P \leq 0.05$) de la proteína en grano en Rossville (**Figura 6**). Este efecto no fue significativo en Oliveros. Este resultado sugiere que el N no solo puede llegar a representar una limitante para la formación del rendimiento sino también contribuir a mejorar el contenido proteico, que consecuentemente afecta la calidad del grano.

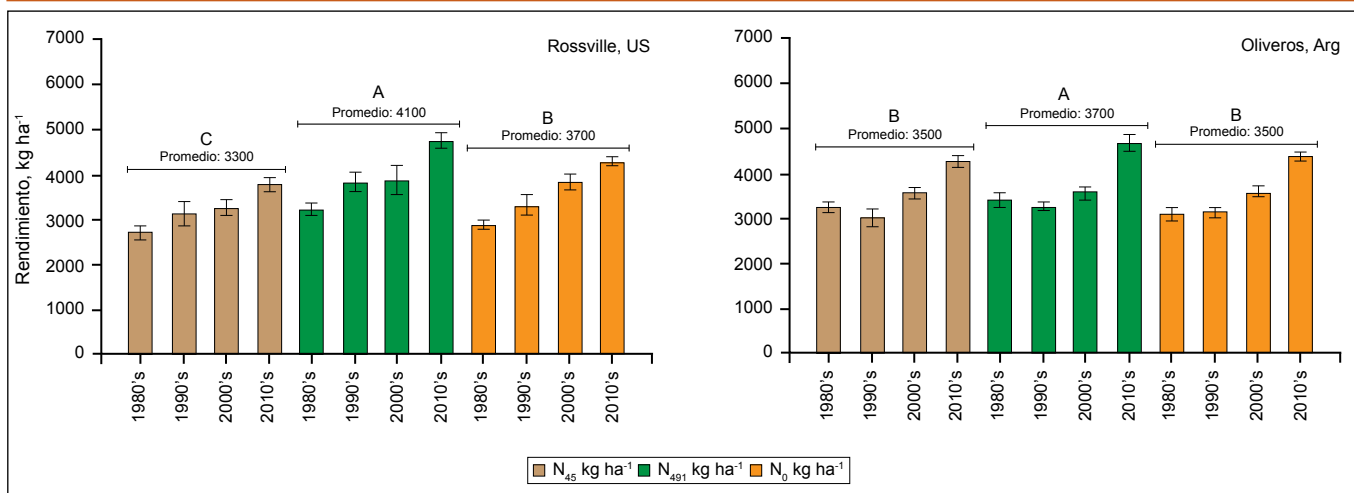


Figure 5. Rendimiento expresado en kg ha⁻¹ al 13.5% de contenido de humedad en grano de soja para genotipos liberados entre las décadas de 1980's al 2010's y bajo tres estrategias de manejo de N 1) no N aplicado; 2) 491 kg N ha⁻¹ aplicado en 3 tiempos (siembra, R1, R3-R4; y 3) 45 kg N ha⁻¹ aplicados en R3-R4. Rossville (EE.UU.) y Oliveros (Argentina) en la campaña productiva 2016. Letras distintas indican diferencias significativas entre estrategias de manejo de N ($P \leq 0.05$) como promedios generales sin separar décadas de liberación.

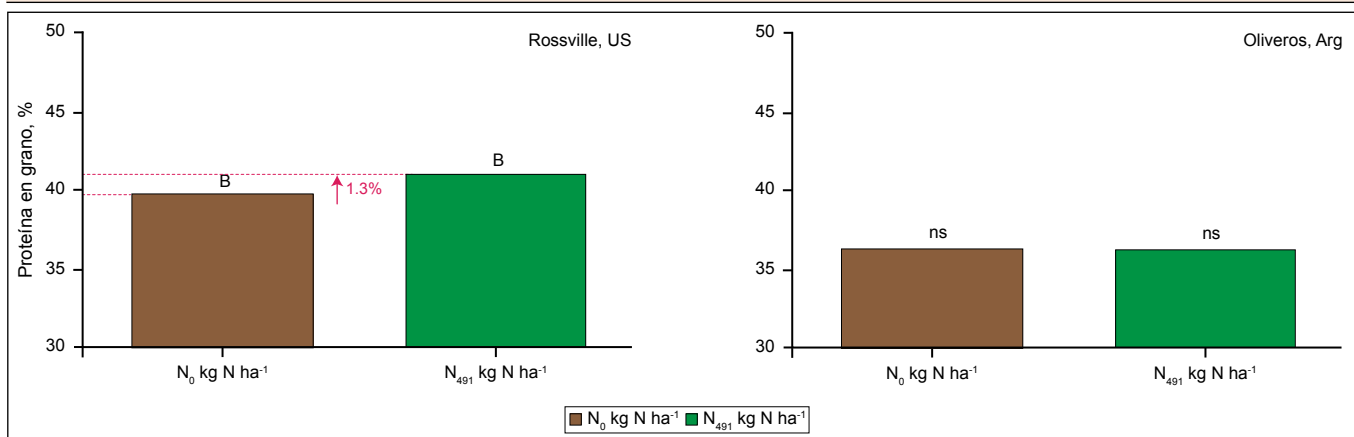


Figura 6. Efecto de la aplicación de N (N₀ vs N₄₉₁ kg N ha⁻¹) sobre el contenido de proteína en grano (%) para 21 genotipos de soja como medias generales evaluados en Rossville (EE.UU.) y Oliveros (Argentina) durante la campaña productiva del 2016. Barras de tratamiento seguida con distinta letra implica diferencia estadística de los dos tratamientos con $P \leq 0.05$, "ns" significa que el efecto no fue estadísticamente distinto.

Conclusiones

Se observaron incrementos en rendimiento en grano al comparar el progreso de los genotipos históricos (1980's) hacia los genotipos modernos (2010's) en Rossville (33%) y en Oliveros (28%).

Aunque la concentración de N en grano con genotipos modernos fue inferior en Rossville y Oliveros (12 y 5%, términos relativos), la exportación de N por unidad de área aumentó (25% en Rossville y 24% en Oliveros), dicho incremento en la exportación de N se debe al aumento en los niveles de rendimiento.

La respuesta del rendimiento de grano a la aplicación de N, al comparar las condiciones extremas de N₄₉₁ respecto del N₀ (control), varió entre 5% (Oliveros) a 20% (Rossville).

Los niveles proteicos del grano se redujeron con el incremento productivo a través de las décadas. La adición de 491 kg N ha⁻¹ durante el ciclo del cultivo incrementó los niveles proteicos del grano (aumentando 1.3% de proteína, valores absolutos) respecto a la no aplicación

de N en Rossville, EE.UU., sin presentar un efecto significativo en Oliveros, Argentina.

El sistema experimental utilizado en esta experiencia (i.e. aplicación repartida de una dosis alta de fertilizante nitrogenado) permitió entender mejor si la disponibilidad de N es un factor limitante en el cultivo, es decir, el objetivo no es recomendar la fertilización con N en soja.

A futuro es necesario mejorar los conocimientos básicos relacionados a explorar los factores de manejo que nos permitan no solo aumentar o sostener altos niveles de rendimiento, sino que también sostener o mejorar la calidad del grano (en este caso la concentración de nutrientes) y como se podría manejar la interacción N cultivo x N suelo x N FBN en sistemas de alta producción de soja.

Agradecimiento

El financiamiento principal de este proyecto fue obtenido del "Fluid Fertilization Foundation", Estados Unidos. Los colaboradores de este proyecto fueron el equipo de Producción de Cultivos "KSUCrops", la Estación

Experimental Agropecuaria EEA-INTA Oliveros, y el programa de investigación y extensión de la Universidad Estatal de Kansas. Este proyecto también forma parte de las actividades conjuntas IPNI-KSU-INTA Oliveros del Proyecto “Quebrando las barreras de rendimiento en soja” (IPNI GBL-62).

Bibliografía

Ciampitti, I.A., J. Kimball, E. Adee, y O. Ortez. 2016. High-Yielding Soybean: Genetic Gain × Fertilizer Nitrogen Interaction. Manhattan, KS: Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports.

Kansas State University. 2017. Kansas Mesonet – Historical Weather. Available URL: <http://mesonet.k-state.edu/weather/historical/>

Rowntree, S.C., J.J. Suhre, N.H. Weidenbenner, E.W. Wilson, V.M. Davis, S.L. Naeve, y A.S. Conley. 2013. Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. *Crop Science*, 53: 1128-1138.

Software, R. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.r-project.org>

Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Walters, A. Weiss, y A. Dobermann. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 1-13.

Specht, J. E., Hume, D. J., and Kumudini, S. V. (1999). Soybean Yield Potential—A Genetic and Physiological Perspective. *Crop Sci.* 39, 1560-1570.

Tamagno, S., G.R. Balboa, Y. Assefa, P. Kovács, S.N. Casteel, y F. Salvagiotti. 2017. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean : A synthesis-analysis. *F. Crop. Res.* 200, 18-27.

USDA. 2016. Oil Seeds: World Markets and Trades. Retrieved from <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/fas/oilseed-trade//2010s/2016/oilseed-trade-05-10-2016.pdf>

Wilcox, J. R. 2004. World distribution and trade of soybean. 3rd ed. , ed. H.R. Boerma and J.E. Specht In: ASA, CSSA, ASSA.

Wright, D., y A.W. Lenssen. 2013. Inoculant Use on Soybean Seed. Agriculture and Environment Extension Publications.

Cursos y Simposios

1. XLII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Organiza : SMCS
Lugar : Texcoco, México
Fecha : 5-9 Marzo, 2018
Información : www.smcsmx.org

2. 2018 IFA Production & International Trade Conference

Organiza : IFA
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 6-8 Marzo, 2018
Información : <https://www.fertilizer.org>

3. I Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión

Organiza : USM, INACAP
Lugar : Santiago de Chile, Chile
Fecha : 6-8 Marzo, 2018
Información : <http://www.clap2018.cl>

4. Congreso Internacional de Suelos 2018

Organiza : SCCS
Lugar : La Habana, Cuba
Fecha : 2-4 Mayo, 2018
Información : <http://www.sueloscuba.com>

5. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar : San Miguel de Tucumán, Argentina
Fecha : 15-18 Mayo, 2018
Información : www.congresosuelo2018.org

6. XXI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Organiza : SBCS-SLCS-IUSS
Lugar : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 12-17 Agosto, 2018
Información : 21wcsc@21wcsc.org
<https://www.21wcsc.org>

Para enterarse de nuestros eventos, publicaciones y noticias favor suscribirse en:
nla.ipni.net/subscribe

Todas nuestras publicaciones puede encontrarlas en:
nla.ipni.net/topic/publications



Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Título de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>NUEVA REIMPRESIÓN: Guía de Campo, Síntomas de Deficiencias Nutricionales y otros Desórdenes Fisiológicos del Cultivo de Banano. Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencia nutricional, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse.</p>	10.00
<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. 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>	30.00
<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>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	