Informaciones Agronómicas
de Hispanoamérica

En este número

- Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja en Paraguay
- Fertilización con N en arroz en Entre Ríos, Argentina
- Eficiencia de respuesta de trigo, maíz y soja a la fertilización con S en la región pampeana
- Maíz tardio: Calibración de umbrales críticos de N en Entre Ríos
- Resultados económicos de la fertilización en región pampeana

IAH 13 - Marzo 2014

Versión Cono Sur

Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja para aumentar la capacidad productiva en la región oriental del Paraguay 2

Momentos oportunos para fertilización con nitrógeno en arroz en Entre Ríos, Argentina .. 7

Eficiencia de respuesta de trigo, maíz y soja a la fertilización azufrada en la región pampeana argentina 11

Maíz tardio en Entre Ríos, Argentina: Calibración de umbrales críticos en nitrógeno 18

Manejo de la fertilización en la región pampeana centro-norte: Resultados económicos en el largo plazo 21

Cursos y Simposios 26

Publicaciones Disponibles 27

Director: Dr. Fernando O. García
International Plant Nutrition Institute
Programa Cono Sur de Latinoamérica
Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

Propietario: **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**

CUIT: 30-70175611-4
ISSN 2222-0178

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 5118852

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.

Impresión: Grancharoff Impresores
Tapalqué 5864 - Capital Federal

http://www.ipni.net

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

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

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

Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja para aumentar la capacidad productiva en la región oriental del Paraguay

Martín M. Cubilla A.[1]

Introducción

Los principales suelos de las regiones productoras de granos del Paraguay, en especial los situados al Este y Sudeste de la Región Oriental, son derivados de roca basáltica. Estos suelos son bien desarrollados, profundos, bien drenados, de coloración rojiza, ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio, pobres en fósforo (P), pero bien provistos de bases intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg).

En general, existen dos factores químicos limitantes del suelo para la producción agrícola, principalmente cuando se trata de cultivos de leguminosas, como la soja; estos son la acidez y el bajo nivel de P extractable. Por otro lado, estos suelos tienen una alta capacidad de fijación de P, lo que hace necesaria que la fertilización fosfatada satisfaga tanto los requerimientos de la planta como los del suelo.

La absorción de nutrientes por la soja [*Glycine max* (L.) Merr.], es influenciada por diversos factores, entre ellos las condiciones climáticas, como lluvia y temperatura, las diferencias genéticas entre las variedades, el nivel de nutrientes en el suelo y los diversos tratamientos culturales.

Las condiciones de humedad y temperatura son más favorables con cobertura en sistema de siembra directa (SSD) teniendo un efecto positivo en la vida de los microorganismos. En este sistema, las condiciones favorecen la biota del suelo y, consecuentemente, tiene efectos positivos sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Es tarea del productor procurar el mejor ambiente posible para el crecimiento de la soja, utilizando prácticas de manejo, tales como cultivo y fertilización con criterios de conservación de suelo, selección de variedades y densidad de plantas más adecuada, y control integrado de malezas, plagas y enfermedades. Las combinaciones de estas prácticas varían en diferentes situaciones de producción y niveles de manejo del suelo y son fundamentales en la determinación del éxito de la producción final.

Manejo conservacionista del suelo

Las técnicas conservacionistas de manejo del suelo, y en especial el SSD, han sido incentivadas en los últimos años con la finalidad de reducir la degradación del suelo. La variación espacial de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en SSD, es mayor del que en el sistema convencional. La filosofía del SSD tiene en su esencia el equilibrio del ecosistema, ya que posibilita la auto-sustentación en términos económicos, sociales y ecológicos.

El SSD tiene su fundamento en la eliminación del uso de arado y/o rastra, en su cobertura permanente y en la rotación de cultivos. La erosión fue la principal razón que llevó a los agricultores a adoptar este sistema, ya que la actividad agropecuaria se estaba tornando casi insustentable.

La siembra directa, en principio, procura recuperar los suelos de baja aptitud y capacidad agrícola, haciendo que pequeños, medianos y grandes productores trabajen el suelo en forma continua. El manejo de la fertilidad del suelo y de fertilización debe ser, por tanto, adaptado a estas prácticas de uso y manejo del suelo.

El SSD es más complejo, como dicho anteriormente, y es más exigente en cuanto al manejo de suelos y de los cultivos. Requiere programación de área, análisis de suelo, utilización de correctivos y fertilizantes para el mejoramiento de la fertilidad del suelo, rotación de cultivos, equipamientos adecuados, buen conocimiento y control integrado de malezas, plagas y enfermedades, además del seguimiento del desarrollo de los cultivos en la propiedad.

Las investigaciones realizadas a campo demuestran que, en el SSD, se registran mayores valores de materia orgánica (MO), N, P, K, Ca, y Mg, como también mayores valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico y menores tenores de aluminio tóxico (Derpsch et al., 1986; Sidiras y Pavan, 1986; Eltz et al., 1989). El SSD se constituye en una contribución significativa para mantener la fertilidad del suelo en los trópicos y sub-trópicos (Derpsch y Benites, 2004).

Manejo de cultivos de cobertura y la fertilidad del suelo

La utilización de cultivos de cobertura en el periodo en que el suelo no es utilizado con cultivos comerciales, además del control de la erosión, mejora la fertilidad del suelo. Esto es debido al reciclaje de nutrientes que se perderían por lixiviación o erosión superficial en suelos sin cobertura vegetal, y la adición de N por fijación biológica (FBN), en caso de utilización de leguminosas.

Los beneficios de los cultivos de cobertura sobre la disponibilidad de P y K pueden ser observados a mediano plazo y son debidos al reciclaje de esos nutrientes y a menores pérdidas por erosión. Tales beneficios son detectados en los análisis de suelo, que en general indican mayores tenores de esos nutrientes (Anghinoni y Bayer,

[1] **Testing Operation Manager – Monsanto, Paraguay. Correo electrónico: martin.maria.cubilla@monsanto.com**

2004). Los cultivos de cobertura aportan cantidades importantes de biomasa, colaboran en la recuperación del tenor de MO de los suelos agrícolas, y tienen una función relevante en la mitigación del efecto estufa o calentamiento global. La siembra directa nos posibilita recuperar los niveles de MO perdidos durante el uso del suelo en el sistema de siembra convencional. Bajo el SSD hay una mayor fijación de dióxido de carbono atmosférico (CO_2), almacenado temporalmente en el suelo en los diferentes compartimientos de la MO. En un futuro próximo, los suelos tropicales y subtropicales, por su extensión, podrán considerarse destinos estratégicos del CO_2 atmosférico (Amado y Costa, 2004).

Nutrientes necesarios para la soja

La aplicación de nutrientes y la corrección de la fertilidad de los suelos para la producción de soja, deben ser realizadas con base a los resultados de análisis de suelos y sobre todo, en base a las recomendaciones de investigaciones locales, que hoy en día el Paraguay posee. La fertilización se basa en la corrección y en la manutención de nutrientes. La corrección de la fertilidad es realizada considerando deficiencias o desequilibrios de elementos esenciales para el desenvolvimiento de las plantas cultivadas, como el caso de la soja. La manutención es basada en la reposición de los nutrientes extraídos con los productos del cultivo. La remoción de nutrientes en los granos (tenor exportado en los granos) y la necesidad para el desarrollo vegetativo varían con las especies cultivadas y las características químicas y biológicas del suelo (Gassen et al., 2003). La reposición de nutrientes debería ser equivalente a las cantidades extraídas en la producción, para mantener la fertilidad del suelo.

La soja es el vegetal cultivado en áreas extensivas con mayor tenor de aceite y proteína. Los granos contienen por encima del 40% de proteínas y en torno de 20% de aceite. Para producir proteínas y aceite el cultivo necesita de tenores diferenciados de nutrientes. Para producir una tonelada de granos son necesarios 79 kg de N, 19 kg de P_2O_5, 39 kg de K_2O, 13 kg de Ca, 7 kg de Mg y 8 kg de S, además de otros elementos esenciales (Gassen et al., 2003). En la **Figura 1** se ilustra la necesidad de nutrientes de la planta y la exportación de los mismos en los granos de soja.

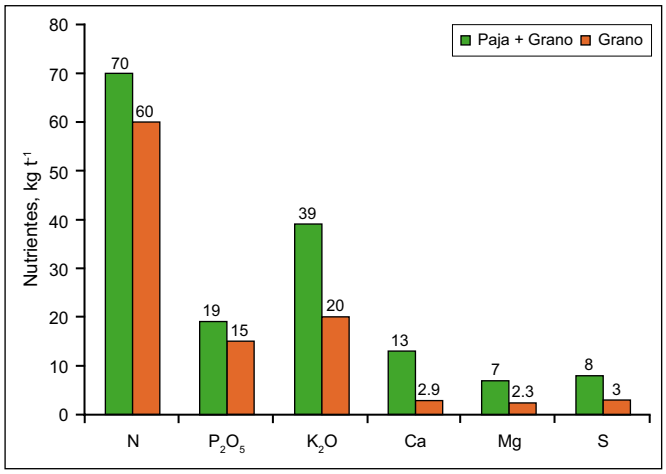

Figura 1. Necesidad de nutrientes en la planta y exportación en los granos de soja (Promedio de varias fuentes, citado por Gassen et al., 2003).

La alta concentración de proteínas en las semillas de soja, la convierte en el cultivo con la mayor demanda de N y, por eso, este es el nutriente más crítico para la producción. En su carácter de leguminosa puede cubrir buena parte de sus requerimientos de N a partir del aporte de la fijación biológica de N (FBN), que ocurre con bacterias del genero *Bradyrhizobium*. Por esta razón, se debe evitar la fertilización con N mineral, que causa inhibición de la nodulación y reduce la eficiencia de la fijación, y no aumenta la productividad del cultivo, además de ser un costo innecesario para el productor.

A fin de que la FBN sea eficiente, existe la necesidad de corregir la acidez del suelo y proveer aquellos nutrientes que están en cantidades limitantes. Además, es fundamental inocular asegurando la mayor cantidad de bacterias sobre la semilla logrando una infección rápida y la generación de nódulos en las raíces que sean efectivos para la FBN.

Interacción encalado-fósforo

En los suelos de la región, el manejo del encalado es una de las principales maneras de garantizar un mejor aprovechamiento de los nutrientes y de esta forma obtener altos rendimientos. Ensayos de encalado y fertilización fosfatada en los Estados de Santa Catarina y de Río Grande del Sur – Brasil, han mostrado que mejora el aprovechamiento del P en el cultivo de soja, con aumentos considerables de la productividad (Eltz et al., 1975; Scherer, 1998).

El efecto interactivo encalado-fósforo fue observado en el SSD (Nolla y Anghinoni, 2003) con mayor respuesta de la soja a dosis de P que a la de encalado e interacción positiva en las dosis más bajas. La disponibilidad de P puede, por tanto, ser considerada como el factor más limitante en los suelos que provienen del mismo material de origen (basalto) y se desarrollan en un clima húmedo y relativamente templado, como los situados al Este y Sudeste de la Región Oriental del Paraguay.

El encalado resulta en mayor productividad de los cultivos, no solamente por la neutralización de la acidez, sino también por el aumento de la disponibilidad de P, resultante de la disminución de la adsorción de P y una mayor eficiencia de la fertilización fosfatada.

Fertilización de la soja

La fertilización es una práctica destinada a la provisión de nutrientes de acuerdo con las necesidades del cultivo y la capacidad de abastecimiento de los mismos por el suelo. El cultivo de la soja tiende a obtener menores productividades cuando la fertilidad del suelo no es favorable. Esto está

asociado a la falta del manejo adecuado de la fertilización en las áreas agrícolas y al desinterés actual de realizar buenas prácticas de manejo de suelos: suelos desnudos, rastreados y consecuentemente sin cobertura, dejando de lado todo el sistema de conservación de los suelos, así como las buenas prácticas agronómicas, entre ellas la fertilización adecuada.

Una vez que se han realizado los estudios de calibración y cuantificación de dosis de fertilizantes, se debe definir el criterio de fertilización para establecer las dosis en las tablas de recomendación. Las recomendaciones son orientadas por los tenores de nutrientes determinados en el análisis de suelo, e interpretadas en categorías, "Muy baja", "Baja", "Media", "Alta" y "Muy Alta" **(Tablas 1 y 2)**. A partir de la interpretación del nutriente en el suelo se realiza la recomendación para el (los) cultivo (s).

El sistema de recomendación de fertilización en este trabajo tiene por objetivo elevar los tenores de los nutrientes a niveles considerados adecuados para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, siempre que los demás factores no sean limitantes. El uso de estas recomendaciones ayudará a elevar el tenor de nutrientes al "nivel crítico", lo que corresponde aproximadamente al 90% del rendimiento máximo de los cultivos, que también está próximo al máximo retorno económico.

Tabla 1. Interpretación del tenor de P en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el tenor de arcilla para soja, trigo, maíz, y girasol (Cubilla et al., 2012).

Interpretación	Clase del suelo conforme al tenor de arcilla	
	Clase 1 (410-600 g kg^{-1})	Clase 2 (210-400 g kg^{-1})
	---------- mg P dm^{-3} ----------	
Muy baja	≤4.0	≤5.0
Baja	4.1-8.0	5.1-10.0
Media	8.1-12.0	10.1-15.0
Alta	12.1-24.0	15.1-30.0
Muy alta	>24	>30

Tabla 2. Interpretación del tenor de K en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el contenido de K en suelo (Wendling et al., 2008).

Interpretación	K extractable
	------- mg K dm^{-3} -------
Muy baja	≤25
Baja	26-50
Media	51-75
Alta	76-150
Muy alta	>150

En un estudio económico detallado de las recomendaciones, Cubilla y Ferreira (2010) constataron que las recomendaciones de fertilización propuestas para el Paraguay, han sido económicamente rentables para todos los casos, en tres cultivos consecutivos en cualquiera de los escenarios considerados y para todos los tipos de suelos estudiados, a los precios de fertilizantes en 2010.

Fertilización de corrección

Cuando los tenores de análisis de suelos se ubican por debajo del nivel crítico, categorías "Muy baja", "Baja" y "Media" **(Tablas 1 y 2)**, es posible optar por diferentes alternativas de fertilización de corrección: total o gradual **(Tablas 3, 4 y 5)** para los cultivos de soja maíz, trigo y/o girasol en secuencias de tres cultivos. Cuando los resultados del análisis indican tenores de P y K "Altos" o "Muy altos", la fertilización de corrección no es indicada. En este caso, se adicionan solamente las cantidades de manutención o lo que la planta irá a exportar, pues el tenor en el suelo es considerado adecuado.

Fertilización de manutención

La fertilización de manutención tiene por objetivo mantener el tenor de P y de K en el suelo por encima del nivel crítico. Para tal caso se reponen los nutrientes exportados por los granos y biomasa de la parte aérea, más las eventuales pérdidas que puedan ocurrir en el sistema. Las pérdidas de manera general son consideradas de 20 a 30%. En el estudio para P se optó en considerar las pérdidas en un 25% (Cubilla et al., 2012).

Fertilización de reposición

La cantidad de P y de K a adicionar al suelo para un determinado cultivo puede ser establecido por la cantidad de estos nutrientes retirados por los granos o por la masa seca. La opción de fertilizar por reposición (exportación) es indicada solamente cuando los tenores de nutrientes en el suelo están en la categoría de fertilidad "Muy alta".

Las dosis de reposición son obtenidas en las informaciones contenidas debajo de cada tabla de recomendación para cada cultivo, indicando la necesidad de cada nutriente por toneladas de granos exportados.

Cuando los tenores de P y K encontrados en el suelo están en la categoría "Muy alta", las fertilizaciones pueden ser flexibles. Se puede adoptar la estrategia de fertilización del sistema, donde la fertilización se realiza en cualquier época o cultivo, pudiendo ser en línea (para dosis menores) o en superficie.

Algunos cultivos, como la soja, se podrán beneficiar con la fertilización potásica (aún con suelo en la categoría "Muy alta"), principalmente en el arranque inicial de las plantas cuando es realizada en línea.

Tabla 3. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual y total para la Clase I de suelo bajo el SSD para Paraguay (Cubilla et al., 2012).

Categoria	Recomendación para tres cultivos en sucesión			
	1er cultivo	2do cultivo	3er cultivo	Total
	kg ha^{-1} de P_2O_5			
Muy baja	80 + M	70 + M	50 + M	200 + 3M
Baja	35 + M	35 + M	30 + M	100 + 3M
Media	25 + M	M	M	25 + 3M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

M = manutención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas).
R = reposición (exportación de cultivos). Trigo = 10 kg de P_2O_5, soja = 12 kg de P_2O_5, maíz = 8 kg de P_2O_5, y girasol = 15 kg de P_2O_5 por tonelada de granos producidos.

Tabla 4. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual y total para la Clase II de suelo bajo el SSD para Paraguay (Cubilla et al., 2012).

Categoria	Recomendación para tres cultivos en sucesión			
	1er cultivo	2do cultivo	3er cultivo	Total
	kg ha^{-1} de P_2O_5			
Muy baja	60 + M	50 + M	40 + M	150 + 3M
Baja	25 + M	25 + M	25 + M	75 + 3M
Media	15 + M	M	M	15 + 3M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

M = manutención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas).
R = reposición (exportación de cultivos). Trigo = 10 kg de P_2O_5, soja = 12 kg de P_2O_5, maíz = 8 kg de P_2O_5, y girasol = 15 kg de P_2O_5 por tonelada de granos producidos.

Tabla 5. Recomendación de fertilización potásica correctiva gradual y total en el SSD para Paraguay (Wendling et al., 2008).

Categoria	Recomendación para tres cultivos en sucesión			
	1er cultivo	2do cultivo	3er cultivo	Total
	kg ha^{-1} de K_2O			
Muy baja	150	100	60	310
Baja	90	60	40	190
Media	60	M	M	60 + 2M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

M = manutención (tasa de exportación de los cultivos + perdidas)
R = reposición (exportación de los cultivos) Trigo y Maíz = 6 kg de K_2O por tonelada de granos, Soja = 20 kg de K_2O y Girasol = 12 kg de K_2O por tonelada de granos exportados.

Recomendación de fertilización correctiva y gradual para P y K

La filosofía de la recomendación de fertilización fosfatada y potásica, tiene por objetivo, elevar el tenor de los nutrientes en el suelo (fertilización correctiva), cuando están por debajo del nivel crítico, a niveles considerados adecuados (categoría "Alta") para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, y a partir de ahí, solo realizar las fertilizaciones de manutención y reposición **(Tablas 3, 4 y 5)**.

La fertilización correctiva gradual es la más indicada principalmente cuando no hay disponibilidad de recursos financieros para inversión (Comissão de Química e Fertilidade de solo RS/SC, 2004). Este procedimiento está siendo utilizado en la construcción de tablas de recomendaciones, donde las dosis de corrección son aplicadas en la proporción de un tercio en el primer cultivo, otro tercio en el segundo cultivo, y el último tercio en el último cultivo. Esta recomendación es válida para suelos cuyos tenores de P y K fueren interpretados como "Muy baja" y "Baja".

Ejemplo: para programar un plan de fertilización para 3 cultivos en sucesión (se aplica un tercio en los abonos verdes o trigo en el año 2014; un tercio en la soja o maíz zafra en el año 2014/15; y el último tercio en el trigo, abonos verdes o maíz zafriña en el año 2015). De esta forma, lograremos corregir el suelo, nutrir la planta y llegar a un nivel del límite superior de la categoría "Media" de P y K al tercer cultivo. En la siguiente siembra solo necesitaríamos nutrir el cultivo, y agregar un poco más para así lograr la categoría "Alta" de la fertilidad del suelo.

El punto clave a llevar en consideración en el plan de fertilización de P, es el aumento de este nutriente a un nivel de suficiencia (categoría "Alta") de fertilidad, para los cultivos y así evitar problemas futuros de nutrición de los mismos.

Siguiendo el ejemplo de P, la filosofía para lograr el aumento del K a un nivel de suficiencia categoría "Alta", es la aplicación en 3 cultivos para alcanzar el nivel deseado. Después de tres cultivos en sucesión, es indispensable realizar otro análisis de suelo para identificar si el objetivo fue alcanzado, tanto para el P como para el K.

Micronutrientes

En general, los resultados de los trabajos de investigación con micronutrientes realizados en Río Grande del Sur y en otros estados del sur del Brasil, muestran la ausencia

de respuesta a la aplicación de micronutrientes en la mayoría de las situaciones de suelos y cultivos (Borkert, 2002). Este autor justifica que este hecho es debido, en grande parte, a la capacidad adecuada de provisión por los suelos, en función de su origen. Actualmente, no se cuenta con información de respuesta de micronutrientes en la región oriental de Paraguay, futuras investigaciones deberán evaluar eventuales deficiencias y respuestas.

Consideraciones finales

Para la fertilización de cultivos bajo el SSD continuo de varios años y nivel medio a alto de fertilidad, se sugiere adoptar las recomendaciones provenientes de los resultados de análisis de suelos combinados con los de extracción de nutrientes en la producción de granos y los rendimientos obtenidos en los años anteriores; pero por sobre todo, en base a las recomendaciones de investigaciones locales.

Un elevado nivel de control de las áreas cultivadas deberá ser realizado por el administrador de campo o extensionista, registrando los análisis de suelos, las fertilizaciones realizadas y rendimientos obtenidos en cada área, cultivo tras cultivo. La gerencia adecuada de la propiedad tiene un papel fundamental en la toma de decisión para la fertilización.

Otro aspecto importante es la aplicación de nutrientes de acuerdo con la necesidad de cada especie cultivada. La aplicación de nutrientes debe obedecer al equilibrio, a la necesidad de las plantas y a las variaciones de nutrientes de cada área en los campos cultivados.

Los avances de la genética y variedades de soja con alto potencial de rendimiento, requieren de una continua y constante evaluación de las prácticas de manejo de suelos, de los nutrientes disponibles y de la fertilización.

Una adecuada nutrición de cultivos y mantenimiento de niveles adecuados a óptimos de la fertilidad del suelo, son claves para obtener rendimientos acordes con materiales genéticos de uso actual.

Bibliografía

Amado, T.C., y C.N. Costa. 2004. Solos sob sistema plantio direto podem atuar como importante tampão ambiental. Direto no Cerrado, Brasilia, pp. 16-17, 01 agosto 2004.

Anghinoni, I., y C. Bayer. 2004. Manejo da Fertilidade do Solo. In: C. A. Bissani; C. Gianello; M. J. Tedesco; F. A. de Oliveira Camargo. (Org.). Fertilidade de Solo e Manejo da Adubação de Culturas. 1 ed. Porto Alegre: Gênesis, 2004, 1:251-263.

Borkert, C.M. 2002. Ganhos em produtividade de culturas anuais com micronutrientes na |Região Sul. In: Curso de fertilidade do solo em plantio direto, V. Guarapuava, PR. 2002. Resumos de palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 2002. pp. 81-96.

Comissão de Quimica e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2004. Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

Cubilla, M.A., A. Wendling, F.L.F. Eltz, T.J.C. Amado, y J. Mielniczuk. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, Paraguay: CAPECO, 2012. 88 p.

Cubilla, M.M., y M. Ferreira. 2010. Recomendaciones de fertilización y análisis económico para el cultivo de trigo en Paraguay. In: Tercer Seminario Nacional de Trigo. Del grano al Pan. Eds. M.M. Kohli, L.E. Cubilla y G. Cabrera. 2010. CAPECO-INBIO, Asunción, Paraguay. pp. 89-100.

Derpsch, R., N. Sidiras, y C.H. Roth. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil and Tillage Res. 8:253-263.

Derpsch, R., y J. Benites. 2004. Agricultura conservacionista no mundo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15., Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. - CD ROM.

Eltz, F.L.F., S.S. Grimm, y D.A. Fole. 1975. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a produtividade da soja, em oxissolo da unidade de mapeamento Santo Ângelo. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 11(1):37-44.

Eltz, F.L.F., R.T.G. Peixoto, y F. Jaster. 1989. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. R. Bras. Ci. Solo 13:259-267.

Gassen, D., F. Haas, y F. Gassen. 2003. Informativos Técnicos Cooplantio. Volumen II. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte Editora. 125 p.

Nolla, A., y I. Anghinoni. 2003. Atividade e especiação iônica da solução do solo afetadas por acidez e fósforo no sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumos Expandidos. Ribeirão Preto: SBCS/UNESP, 2003. 4 p.

Sherer, E.E. 1998. Doses e modos de aplicação de adubos fosfatado e potássico na cultura da soja. Revista Agropecuária Catrinense, 11(2):57-61.

Sidiras, N., y M.A. Pavan. 1986. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. R. Bras. Ci. Solo, 9:249-254.

Wendling, A., F.L.F. Eltz, M.M. Cubilla, T.J.C. Amado, y J. Mielniczuk. 2008. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. R. Bras. Ci. Solo, 32:1929-1939.❖

Momentos oportunos para fertilización con nitrógeno en arroz en Entre Ríos, Argentina

C. Quintero*, M.A. Zamero, G. van Derdonckt, G.N. Boschetti, M.R. Befani, C. Temporetti, E. Arévalo, N. Spinelli, y J. Panozzo

Introducción

La aplicación del nitrógeno (N) en el momento oportuno es tan importante en el manejo eficiente de este nutriente como la fuente o la dosis aplicada. Sin embargo, el momento más apropiado para la aplicación del N en arroz sigue siendo muy controvertido debido al: i) desconocimiento de las características de absorción de N en las variedades de arroz; ii) desconocimiento de la cantidad y el momento de aporte de N por parte del suelo y iii) manejo del agua.

La fuente nitrogenada más utilizada en la fertilización de arroz en Entre Ríos es la urea (Quintero y Figueroa, 2008). En numerosos trabajos se muestra la conveniencia de utilizar esta fuente dado que tiene el N en forma amídica y no se vería afectado significativamente por la desnitrificación en un ambiente reductor como el del arroz inundado. La bibliografía internacional indica que lo más conveniente es hacer una única aplicación pre-riego o aplicar un 50% a 65% de la dosis en pre-riego y el resto en diferenciación (Reddy y Patrick, 1976; Craswell et al., 1981; Wilson et al., 1998; Walker y Street, 2003). Las recomendaciones que surgen a partir de las investigaciones en EE.UU., muestran que la fertilización previa a la inundación es la más efectiva si se realiza sobre suelo seco y se inunda antes de los 5 días posteriores a la aplicación del N. El arroz debe mantenerse inundado y en anaerobiosis para reducir las pérdidas de N. Cuando el agua no satura la superficie de manera continua las pérdidas de N pueden ser altas y, por lo tanto, la efectividad menor (Norman et al., 2003).

Sin embargo, en Entre Ríos, el mejor control de malezas que se alcanza actualmente (sobre todo en los materiales resistentes a las imidazolinonas) ha permitido desarrollar sistemas alternativos de riego, reduciendo el consumo de combustible. Así es que en muchos casos el riego es intermitente en los estadios tempranos y la inundación sólo es permanente entre la diferenciación y la madurez. Este manejo del agua puede ser contrapuesto a las recomendaciones de Norman et al. (2003) para un manejo eficiente del N aplicado temprano.

Durante los últimos años, la fundación PROARROZ ha financiado investigaciones tendientes a orientar sobre cuáles son los momentos más oportunos para aplicar la urea en las condiciones locales del cultivo de arroz en Entre Ríos. En este trabajo se resumen los principales resultados.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2008/09, 2009/10 y 2010/11 se realizaron 10 ensayos en campos de producción comercial. El diseño de tratamientos **(Tabla 1)** no fue igual todos los años y difiere entre los primeros 4 ensayos y los siguientes 6, por lo cual se analizaron estadísticamente por separado. Los sitios experimentales y las principales características así como los tratamientos aplicados en cada caso, pueden verse en la **Tabla 2**.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización nitrogenada en cultivos de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11.

Tratamiento	Descripción
T1	N-0 Testigo: Sin fertilización nitrogenada.
T2	N-70 Siembra: 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado al voleo en el momento de la siembra.
T3	N-70 Pre riego: 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego.
T4	N-70 Diferenciación: 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado en diferenciación de primordio.
T5	N-70 Fraccionado: 35 kg ha^{-1} de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 35 kg ha^{-1} de N como urea aplicado en diferenciación. Total 70 kg ha^{-1} de N.
T6	N-140 Fraccionado: 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado en diferenciación. Total 140 kg ha^{-1} de N.
T7	N-210 Fraccionado: 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado al voleo en el momento de la siembra + 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado a inicios de macollaje previo al riego + 70 kg ha^{-1} de N como urea aplicado en diferenciación. Total 210 kg ha^{-1} de N.

Los ensayos se realizaron en parcelas de 100 m^2 con 3 repeticiones, en bloques completos al azar. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con 140 kg ha^{-1} de una mezcla física grado 00-26-26, que contiene 57% Superfosfato Triple de Ca (SPT) y 43% KCl, y las semillas tratadas con Zn (200 g cada 100 kg).

Se tomaron muestras de plantas en los momentos de 4 hojas, macollaje, diferenciación, floración y madurez (paja y grano) para evaluar la producción de biomasa y la concentración de N en los tejidos. Se evaluó el rendimiento de paja y grano, a humedad comercial, a la madurez en 1 m^2 por parcela. Se contaron las panojas en 2 m lineales por parcela y los granos llenos y vanos en 30 panojas por parcela. Se determinó también el peso de 1000 granos.

* Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER, Fundación PROARROZ. CC 24 Paraná ER (3.100). Correo electrónico: cquinter@fca.uner.edu.ar

Se determinó la eficiencia agronómica del uso del N aplicado (EAN, kg de grano / kg de N fertilizante) y la eficiencia de recuperación del N del fertilizante (ERN, (N absorbido por el tratamiento - N Absorbido testigo)/ dosis de N x 100).

Resultados y discusión

El efecto de los tratamientos aplicados fue significativo, al igual que el efecto del ensayo (año-variedad-sitio) para todas las variables analizadas. Sin embargo, la interacción de tratamiento por ensayo fue muy baja **(Tabla 3)**. Esto estaría indicando que, a pesar de los diferentes manejos, variedades y otras características de cada ensayo o sitio, la respuesta a los tratamientos sería similar.

El número de panojas por unidad de superficie se vio significativamente incrementado respecto al testigo en los tratamientos fertilizados. La aplicación de N, en diferentes momentos y dosis, dio como resultado un incremento significativo de más del 10% en el número de espiguillas por panoja, asociado a un aumento del vaneo de 2-3 % solamente **(Tabla 4)**.

El peso de los granos tuvo un gran efecto varietal, donde se destacan Yeruá y RP2 con granos significativamente más grandes, lo que pudo alterar el promedio de los resultados para los tratamientos dado que se ensayaron en uno y dos sitios, respectivamente **(Tabla 5)**. Teniendo en cuenta esto podemos decir que el peso de los granos fue poco afectado por la fertilización.

Como resultado de un número mayor de panojas y espiguillas, el rendimiento en grano fue significativamente más alto en los tratamientos fertilizados.

El promedio de rendimiento y sus componentes para cada variedad puede verse en la **Tabla 5**. Hay que tener en cuenta que son variedades sembradas en diferentes sitios y que no es un ensayo comparativo de rendimiento. Algunas diferencias propias de cada variedad pueden verse claramente, como su capacidad de macollaje y peso de granos.

En todos los ensayos la respuesta a N fue significativa con más de 1000 kg ha^{-1} de respuesta a la dosis de 70 kg ha^{-1} de N. La absorción total de N por el arroz en los tratamientos testigos sin N fue de 87 kg ha^{-1}, valor coincidente con trabajos anteriores realizados por nuestro grupo. Para la mayoría de los casos, el aporte de N por parte del suelo estuvo entre 78 y 97 kg ha^{-1}; este valor es insuficiente para lograr una alta producción y explica

Tabla 2. Principales características de los ensayos en cultivos de arroz.

Ensayo	Campaña	Sitio	Variedad	MO suelo, %	Tratamientos
1	2008/09	San Salvador	Cambá	3.43	1-2-3-4-7
2	2008/09	Villaguay	Avaxi	3.87	1-2-3-4-7
3	2008/09	Sajaroff	Yeruá	3.45	1-2-3-4-7
4	2008/09	LucasN	RP2	3.26	1-2-3-4-7
5	2009/10	Villaguay	Puitá	3.66	1-3-4-5-6
6	2009/10	Sajaroff	Cambá	4.98	1-3-4-5-6
7	2009/10	L. Norte	RP2	6.44	1-3-4-5-6
8	2010/11	San Jorge	Cambá	3.54	1-3-4-5-6
9	2010/11	Villa Clara	Cambá	3.07	1-3-4-5-6
10	2010/11	San Salvador	Puitá	2.82	1-3-4-5-6

Tabla 3. Análisis de la varianza. Probabilidad de efecto para las diferentes fuentes de variación (FV) y variables analizadas en el cultivo de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. P1000 = Peso de mil granos; Rto. = Rendimiento; IC = Índice de cosecha; N Abs = N absorbido; EAN = Eficiencia Agronómica del N; ERN = Eficiencia de recuperación del N.

a. Ensayos 1 a 4.

F.V	Panojas	Granos	Vanos	P1000	Rto.	IC	N Abs.	EAN	ERN
Tratamiento	0.0006	0.0013	0.22	0.1785	<0.0001	0.0469	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ensayo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.012
Trat. x Ensayo	0.7187	0.1357	0.0315	0.0048	0.6002	0.0295	0.0242	0.1145	0.5741
CV, %	10.8	8.6	27.4	3.3	7.9	6.7	10.3	52	56

b. Ensayos 5 a 10.

F.V	Panojas	Granos	Vanos	P1000	Rto.	IC	N Abs.	EAN	ERN
Tratamiento	0.0001	0.2113	0.0001	0.2089	<0.0001	0.1855	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ensayo	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001
Trat. x Ensayo	0.0373	0.6345	0.3102	0.5136	0.2662	0.7424	0.5475	0.1488	0.1856
CV, %	10.1	12.9	23.3	4.5	9.9	10.6	13.6	68	59

Tabla 4. Promedio de resultados para las variables relacionadas al rendimiento de arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05). n = Número de observaciones. IC = Índice de Cosecha.

a. Ensayos 1 a 4.

Tratamiento	n	Panojas m^{-2}	Granos $panoja^{-1}$	Vanos %	P1000 g	Rendimiento $kg\ ha^{-1}$	IC %
T1 = N-0 Testigo	12	335 a	98 a	13.2 ab	27.8 ab	7732 a	62 b
T2 = N-70 Siembra	12	388 bc	104 ab	13.9 ab	27.6 ab	9071 b	60 ab
T3 = N-70 Pre riego	12	374 b	106 b	13.0 a	28.1 b	9005 b	60 ab
T4 = N-70 Diferenciación	12	400 bc	101 ab	14.9 ab	27.9 ab	9525 b	64 b
T7 = N-210 Fraccionado	12	412 c	114 c	16.4 b	27.2 a	10 532 c	59 a

b. Ensayos 5 a 10.

Tratamiento	n	Panojas m^{-2}	Granos $panoja^{-1}$	Vanos %	P1000 g	Rendimiento $kg\ ha^{-1}$	IC %
T1 = N-0 Testigo	18	397 a	98 a	7.8 a	25.4 ab	6693 a	61 ab
T3 = N-70 Pre riego	18	434 b	103 ab	9.7 b	25.6 b	8416 bc	58 a
T4 = N-70 Diferenciación	18	464 c	107 b	11.8 c	24.9 ab	8383 b	63 b
T5 = N-70 Fraccionado	18	454 bc	107 b	10.7 bc	24.8 a	7962 b	60 ab
T6 = N-140 Fraccionado	18	463 bc	106 ab	10.7 bc	25.3 ab	8946 c	61 ab

Tabla 5. Valores promedio de los componentes del rendimiento de arroz para las variedades evaluadas. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05). n = Número de observaciones. IC = Índice de Cosecha.

Variedad	n	Panojas m^{-2}	Granos $panoja^{-1}$	Vanos %	P1000 g	Rendimiento $kg\ ha^{-1}$	IC %
Avaxi	15	537 e	100 bc	14.4 c	23.7 a	12 101 c	56 a
Cambá	60	425 c	116 d	11.2 b	25.0 b	9148 b	63 b
Puitá	30	464 d	96 ab	7.8 a	23.3 a	7657 a	57 a
RP2	30	365 b	87 a	12.2 bc	28.7 c	6936 a	62 b
Yeruá	15	287 a	111 cb	18.6 d	34.4 d	7293 a	62 b

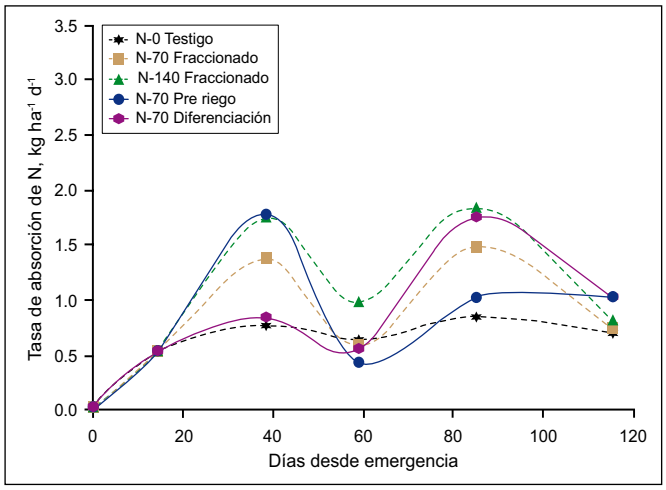

Figura 1. Tasa de absorción de N para el cultivar Puitá-INTA-CL. Promedio de 2 ensayos. Campaña 2010/11. Entre Ríos.

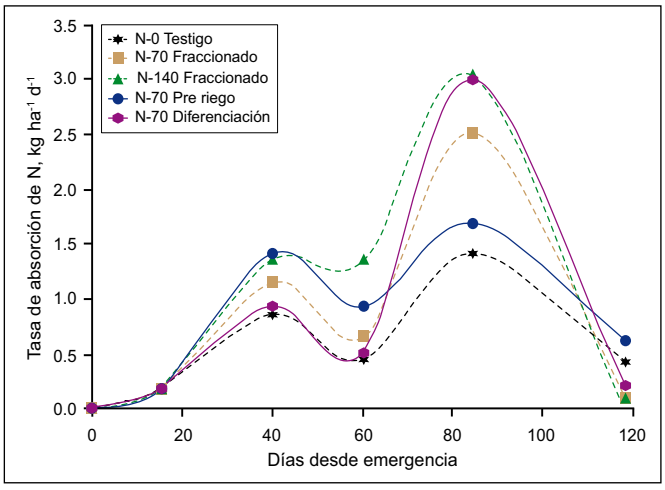

Figura 2. Tasa de absorción de N para el cultivar Cambá-INTA-PROARROZ. Promedio de 4 ensayos. Campaña 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos.

Tabla 6. Promedio de resultados para las variables relacionadas a la absorción de nitrógeno (N) en arroz. Campañas 2008/09 a 2010/11. Entre Ríos. Letras distintas indican diferencias significativas (p< 0.05). EAN: Eficiencia agronómica del uso del N aplicado (kg de grano / kg de N fertilizante). ERN: Eficiencia de Recuperación del N del Fertilizante [100 x (N absorbido por el tratamiento - N Absorbido testigo)/dosis de N].

a. Ensayos 1 a 4.

Tratamiento	n	N Abs. kg ha^{-1}	EAN kg kg^{-1}	ERN %	N Abs. kg t^{-1}
T1 = N-0 Testigo	12	87 a	-	-	11.2 a
T2 = N-70 Siembra	12	108 b	19.1 ab	29.8 a	11.8 ab
T3 = N-70 Pre riego	12	108 b	18.2 a	29.5 a	11.9 ab
T4 = N-70 Diferenciación	12	122 c	25.6 b	50.4 b	12.7 b
T7 = N-210 Fraccionado	12	161 d	13.3 a	35.1 a	15.0 c

b. Ensayos 5 a 10.

Tratamiento	n	N Abs. kg ha^{-1}	EAN kg kg^{-1}	ERN %	N Abs. kg t^{-1}
T1 = N-0 Testigo	18	87 a	-	-	13.1 a
T3 = N-70 Pre riego	18	116 bc	24.6 b	42.3 bc	13.7 ab
T4 = N-70 Diferenciación	18	117 bc	24.2 b	44.4 c	14.2 b
T5 = N-70 Fraccionado	18	108 b	18.1 ab	31.6 ab	13.7 ab
T6 = N-140 Fraccionado	18	123 c	13.0 a	26.6 a	13.9 ab

la respuesta observada. Los tratamientos fertilizados con urea, absorbieron significativamente más N **(Tabla 6)**.

La eficiencia de conversión del N del fertilizante en grano o eficiencia agronómica fue de 18-26 kg ha^{-1} para la dosis de 70 kg de N, con diferencias significativas solamente en los ensayos 1 a 4 a favor de la aplicación en diferenciación por sobre la aplicación de pre-riego **(Tabla 6)**. Para las dosis superiores, la eficiencia tendió a disminuir.

La proporción de N del fertilizante que fue absorbida por el cultivo (ERN) fue del 30% o superior para la dosis de 70 kg ha de N aplicada en pre-riego, en diferenciación o fraccionada. La mayor eficiencia se observó cuando el N fue aplicado en diferenciación en los dos grupos de ensayos.

La evaluación del crecimiento y la absorción de N durante el ciclo de cultivo de los diferentes ensayos, ha permitido conocer de manera indirecta la liberación de N disponible en el suelo que puede absorber el cultivo de arroz en los distintos momentos de su ciclo, al igual que la recuperación del N aplicado en distintos momentos.

En las **Figuras 1 y 2** pueden verse la tasa de absorción para las principales variedades sembradas en Entre Ríos. Puede observarse que el suelo no es capaz de abastecer de N a tasas suficientes en ningún momento del ciclo.

La variedad Puitá mostró similares tasas de absorción de N tanto en el periodo vegetativo como en el reproductivo, mientras que la variedad Cambá mostró tasas más altas de absorción luego de la diferenciación del ápice reproductivo.

Conclusiones

Estos ensayos han permitido aclarar en alguna medida la respuesta del arroz a la aplicación del N en distintos momentos. En las condiciones de cultivo de Entre Ríos, donde la disponibilidad instantánea de agua puede ser relativamente reducida, dado que proviene de pozos profundos o de represas, el riego en etapas tempranas vegetativas es comúnmente intermitente. Estas condiciones pueden determinar en la práctica una reducción en la eficiencia de aprovechamiento del N aplicado a inicios de macollaje previo al riego. Por otro lado, la aplicación de la urea en diferenciación, con el cultivo desarrollado y cubierto con una lámina de agua que permanece hasta la madurez, mostró una mayor eficiencia y superiores tasas de absorción del N, sobre todo en los cultivares Cambá y Gurí.

Estos resultados sugieren que bajo condiciones similares, la aplicación de la urea en macollaje temprano previo al primer riego o en diferenciación en una única dosis, o en dosis fraccionadas tienen una efectividad similar. La mayor o menor respuesta estará dada por el manejo del agua en etapas tempranas y la variedad cultivada.

Bibliografía

Craswell, E.T., S.K. De Datta, W.N. Obcemea, y M. Hartantyo. 1981. Time and mode of nitrogen fertilizer application to tropical wetland rice. Fertilizer Research 2(4):247-259.

Norman, R., C. Wilson, y N. Slaton. 2003. Soil Fertilization and Mineral Nutrition in U.S. Mechanized Rice Culture. In: Rice: Origin, History, Technology, and Production. Smith, C.W. and Dilday, R. H. Ed. pp. 331-411.

Quintero, C.E., y E.A. Figueroa. 2008. Fertilización de Arroz. En: Fertilización de Cultivos y Pasturas (2da Ed.) Melgar, R. y Díaz-Zorita, M. Hemisferio Sur. INTA. pp. 244-260.

Reddy, K.R., y W.H. Patrick. 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. Agron. J. 68:965-969.

Walker, T.W., y J.E. Street. 2003. Rice fertilization. Information Sheet No. 1341. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station. Mississippi State University.

Wilson, C.E., P.K. Bollich, y R.J. Norman. 1998. Nitrogen application timing effects on nitrogen efficiency of dry-seeded rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:959-964.❖

Eficiencia de respuesta de trigo, maíz y soja a la fertilización azufrada en la región pampeana argentina

H.S. Steinbach[1] y R. Álvarez[1,2]

Antecedentes

Los requerimientos de azufre (S) y de fósforo (P) de trigo, maíz y soja varían entre 4 y 7 kg t^{-1} de grano. La exportación es alrededor de 30 a 50% de lo absorbido en trigo y maíz, llegando de 60 a 70 % en soja (Álvarez et al., 2013; IPNI, 2013). A pesar del alto requerimiento de S y a diferencia con lo que sucede con P, en la región pampeana argentina no ha sido habitual la fertilización azufrada hasta años recientes. Durante los últimos 15 años se han realizado gran cantidad de ensayos de fertilización azufrada en la región. En muchos casos se han detectado respuestas positivas a la fertilización, pero en otros no, sin encontrarse una relación directa entre la respuesta y el nivel de S como sulfatos (S-sulfatos) del suelo (Echeverría et al., 2011). Nuestro objetivo, fue integrar la información disponible para evaluar la significancia y magnitud de la respuesta a la fertilización azufrada en los cultivos de trigo, maíz y soja en la región pampeana argentina y analizar qué factores condicionan esa respuesta.

Generación y análisis de la base de datos

Se recopiló información publicada de ensayos de fertilización azufrada realizados en la región pampeana donde se reportaron rendimientos de tratamientos testigo y fertilizados, dosis de S y características del suelo de los sitios experimentales. De 107 trabajos analizados, 55 correspondieron a ensayos con trigo, 25 con maíz y 27 con soja, en su mayoría desarrollados por organismos oficiales (INTA y Universidades Nacionales) y en algunos casos privados (CREA e IPNI).

Si además de S, el fertilizante azufrado tenía en su composición otro nutriente, se seleccionaron solamente aquellos casos en que este hubiera sido aplicado a los tratamientos testigos en igual dosis que a los tratamientos con S.

Para cada trabajo se registró el número de ensayos reportados, el año de experimentación, los rendimientos de testigos y tratamientos fertilizados, la dosis de S y, cuando se disponía de la información, el contenido de materia orgánica y S-sulfatos del estrato 0-20 cm del suelo **(Tabla 1)**. En los casos donde los datos de rendimiento se presentaban en forma gráfica estos se adquirieron utilizando GetData Graph Digitizer (2008). Los datos de rendimiento que eran promedios de varios años o sitios fueron clasificados como redes y también incluidos en el análisis.

En el 50-60% de los casos, el fertilizante azufrado utilizado fue sulfato de calcio (yeso agrícola), en un 30% sulfato de amonio y en las demás situaciones se utilizó tiosulfato de amonio o nitrosulfato de amonio. En trigo aproximadamente el 70% de los experimentos fueron realizados en la zona húmeda de la región (Pampa Ondulada, Pampa Arenosa, sur de Santa Fe y sudeste bonaerense) y el otro 30 % en la semiárida (sudoeste bonaerense, este de La Pampa, noreste de Córdoba). Por el contrario, casi toda la información sobre maíz y soja correspondió a la primera zona. En soja, el 57% de los datos correspondió a ensayos de fertilización al cultivo y 43% a ensayos de fertilización del cultivo antecesor, pero se informaba también la respuesta de la soja, que fue integrada al análisis. Un 43% de los experimentos con soja reportaban respuesta de soja de primera (soja de ciclo completo) y 57% de soja de segunda (sembrada inmediatamente luego de la cosecha de trigo o cebada).

Se graficó la relación entre el rendimiento de cada uno de los tratamientos de fertilización con el testigo sin fertilizar de cada ensayo o red, estimando con IRENE (2001), si la pendiente de la recta de ajuste no difería de 1 y la ordenada de 0. En los casos que había diferencias, la recta de ajuste se usó como evidencia de respuesta significativa a S. También se estimó la significancia estadística de la respuesta (rendimiento fertilizado - rendimiento testigo) con una prueba de t apareada entre testigos y fertilizados a un nivel α=0.05. Se calculó

Tabla 1. Número de ensayos independientes disponibles, redes de ensayos, pares de datos de rendimiento (testigos vs. fertilizados), dosis media, respuesta media y eficiencia agronómica media para los cultivos de trigo, maíz y soja en la región pampeana argentina.

Cultivo	Ensayos	Redes	Datos	Datos media kg S ha^{-1}	Respuesta media kg grano ha^{-1}	Eficiencia media kg grano kg^{-1} S
Trigo	141	10	475	19	300	17
Maíz	138	4	259	18	715	45
Soja	186	0	378	22	348	19

[1] Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, 1417 Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: steinbac@agro.uba.ar
[2] CONICET

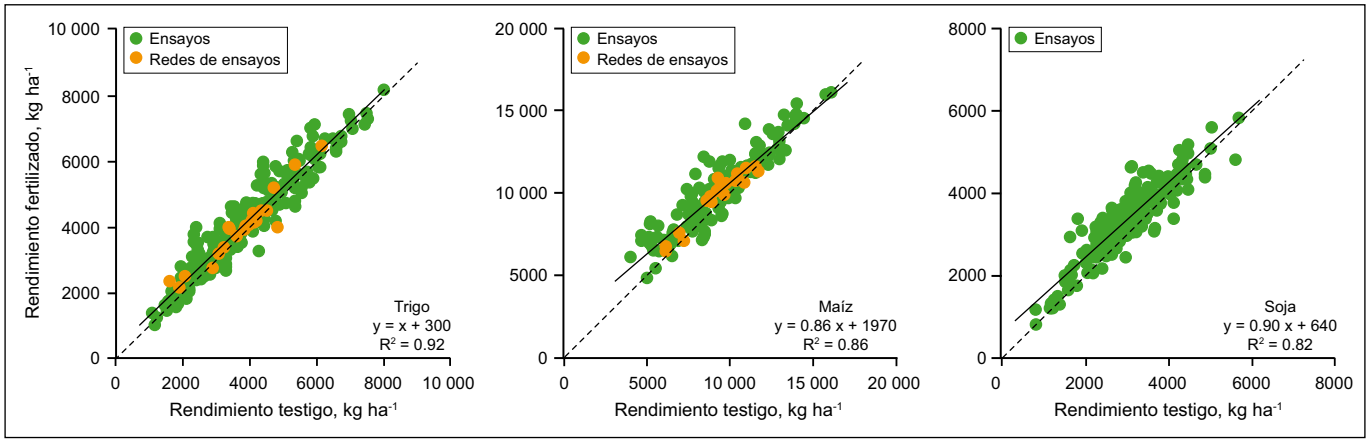

Figura 1. Relación entre el rendimiento de trigo, maíz y soja de los tratamientos fertilizados con S y el rendimiento de los testigos. Círculos verdes corresponde a resultados de ensayos independientes y círculos naranja a resultados promedios de redes experimentales.

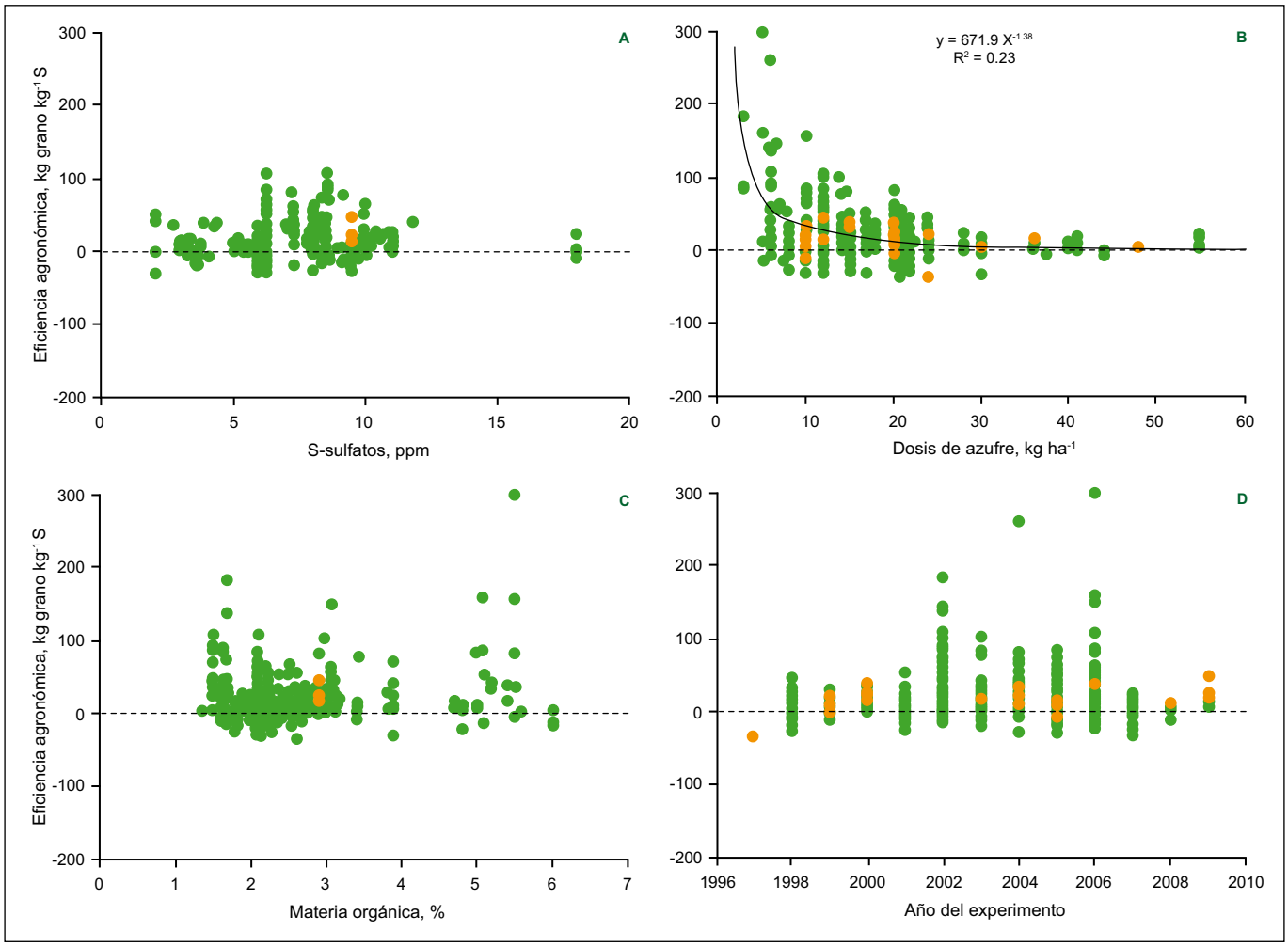

Figura 2. Eficiencia agronómica de la fertilización azufrada en trigo en función del nivel de S-sulfatos del suelo (0-20 cm, A), la dosis de S-fertilizante (B), el contenido de materia orgánica edáfico (C) y el año de realización del experimento o la red de fertilización (D). Círculos verdes corresponden a resultados de ensayos independientes y círculos naranjas a resultados promedios de redes experimentales.

la eficiencia agronómica de cada tratamiento de cada experimento por separado como el cociente entre la respuesta a S y la dosis aplicada en el tratamiento. Se testearon en conjunto las diferencias entre las eficiencias agronómicas medias de fertilizar al antecesor o a la soja y de fertilizar soja de primera o de segunda por Kruskal-Wallis (α=0.05). Por análisis de regresión se evaluó la relación entre la eficiencia agronómica lograda y el contenido de materia orgánica (MO), S-sulfatos del suelo o el año de experimentación (α=0.05). Con el precio del grano y del fertilizante sulfato de calcio (en US$ a moneda corriente) se calculó la relación de precios para cada cultivo. Comparando las relaciones de precios de trigo, soja y maíz con sus respectivas eficiencias agronómicas se evaluó la conveniencia económica de la fertilización azufrada.

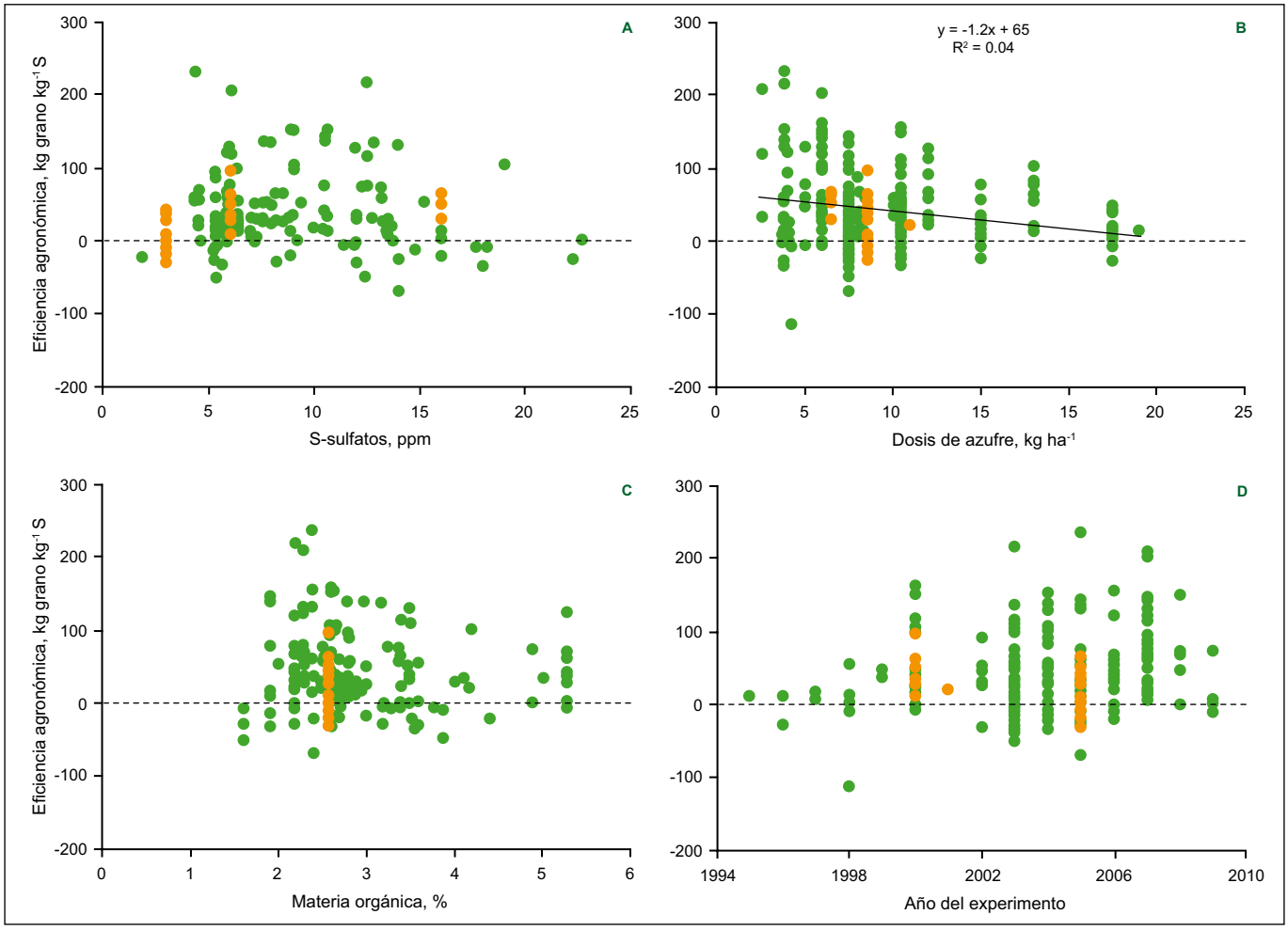

Figura 3. Eficiencia agronómica de la fertilización azufrada en maíz en función del nivel de S-sulfatos del suelo (0-20 cm, A), la dosis de S-fertilizante (B), el contenido de materia orgánica edáfico (C) y el año de realización del experimento o la red de fertilización (D). Círculos verdes corresponden a resultados de ensayos independientes y círculos naranja a resultados promedios de redes experimentales.

La información de trigo se tomó de: Abeledo et al. (2008), Arens et al. (2008), Barraco et al. (2009), Bergh (2005), Bergh et al. (2006), Bianchini et al. (2002), Bianchini et al. (2007), Calviño et al. (2001), Capurro et al. (2005a, 2005b, 2005c, 2008b), Castellarín et al. (2009), Caviglia et al. (2000), Echeverría (2002), Echeverría et al. (2011), Fernández et al. (2004a, 2004b 2005), Ferrari et al. (2001), Fontanetto et al. (2002), Fontanetto et al. (2003a, 2008), Galantini et al. (2006), Gambaudo et al. (2006), García et al. (2010), González et al. (2002, 2004), González y Polidoro (2001), Gutiérrez Boem et al. (2001), Keller y Fontanetto (2003a, 2004), Landriscini y Galantini (2001), Loewy et al. (2007), Masgrau y Maich (2008), Reussi Calvo et al. (2001, 2006a, 2006b, 2008, 2010), Rossi y Gambaudo (2008), Salomón et al. (2007), Salvagiotti et al. (2009), Salvagiotti y Miralles (2008), Satorre et al. (2010), Thomas et al. (2002), Ventimiglia et al. (2000, 2004, 2008), y Vivas et al. (2003, 2005, 2007b, 2009, 2011).

La información de maíz se tomó de: Bianchini et al. (2007), Capurro et al. (2001), Capurro et al. (2008a), Carta et al. (2000), Castillo et al. (2006), Caviglia et al. (2000), Cordone et al. (2001), Ferraris et al. (2003), Ferraris et al. (2005), Ferraris y Mousegne (2011), Fontaneto (2004), Fontanetto et al. (2006), Funaro et al. (2004), García (1999), García et al. (2010), González Montaner y Dinápoli (2002), Melchiori et al. (2005), Pagani et al. (2009), Pagani y Echeverría (2011), Pedrol et al. (2001), Ventimiglia et al. (2003), y Vivas et al. (2005, 2008).

La información de soja se tomó de: Álvarez et al. (2008), Boga (2010), Caviglia et al. (2000), Cicore et al. (2005), Espósito et al. (2009), Ferraris et al. (2001, 2004a, 2004b), Fontanetto et al. (2003b, 2004, 2009), García et al. (2010), Gutiérrez Boem et al. (2000, 2006), Keller y Fontanetto et al. (2003b, 2006), Rivero et al. (2000), Rodríguez et al. (2002), Salvagiotti et al. (2004), Tysko y Rodríguez (2006), Ventimiglia et al. (2000), Vivas y Fontanetto (2003), y Vivas et al. (2005, 2007a, 2008, 2009b, 2010).

Respuesta y eficiencia agronómica de la fertilización azufrada

Para trigo, la variación de la respuesta fue muy amplia con un rango de -980 a +1620 kg grano ha^{-1}. La recta ajustada entre los rendimientos de los tratamientos fertilizados vs. los rendimientos de los tratamientos testigo tuvo pendiente no distinta de 1 e intercepción mayor a cero, indicando una respuesta promedio significativa a la fertilización con azufre de 300 kg grano ha^{-1} **(Figura 1)**.

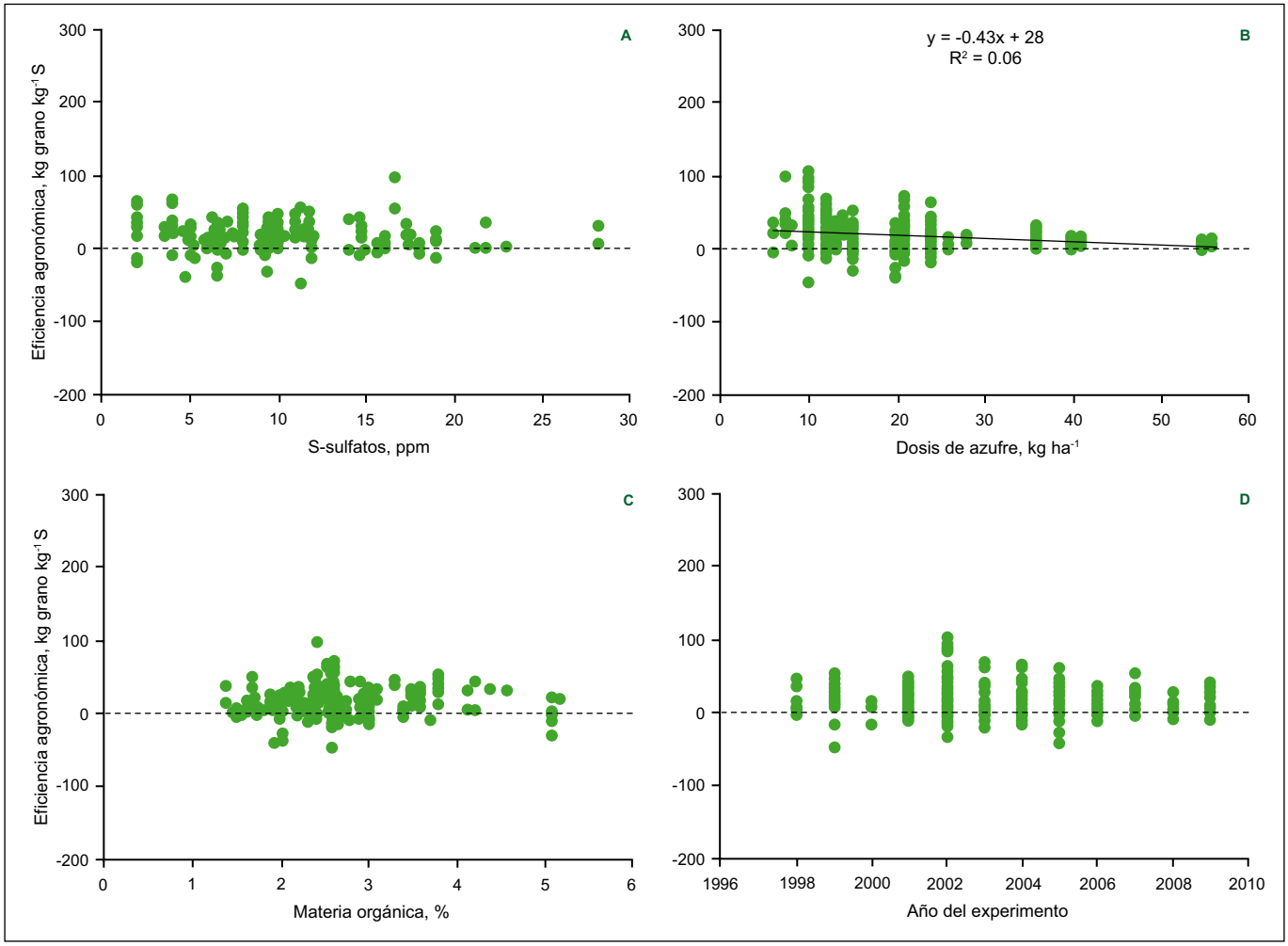

Figura 4. Eficiencia agronómica de la fertilización azufrada en soja en función del nivel de S-sulfatos del suelo (0-20 cm, A), la dosis de S-fertilizante (B), el contenido de materia orgánica edáfico (C) y el año de realización del experimento de fertilización (D). Círculos verdes corresponden a resultados de ensayos independientes.

También se detectó respuesta significativa a S en maíz, con intercepción mayor a cero y pendiente menor a 1 en la regresión de rendimiento fertilizado vs. testigo (**Figura 1**). Esto indicó que la respuesta a S fue mayor en sitios de rendimiento más bajo. La respuesta promedio fue de 715 kg grano ha^{-1}, con un rango de -1180 a +3750 kg grano ha^{-1} **(Tabla 1)**.

La respuesta a la fertilización y la eficiencia agronómica en soja de primera no difirió respecto de la de segunda. Tampoco se detectaron diferencias entre las respuestas y eficiencias de fertilizar el antecesor o la soja. Por ello, toda la información se integró para un análisis en conjunto. La pendiente de la recta de ajuste entre rendimiento con fertilizante y testigos fue menor de 1 y la intercepción de 0, indicando mayor respuesta a S en sitios de menor rendimiento **(Figura 1)**. La respuesta promedio a la fertilización en soja fue de 348 kg grano ha^{-1}, variando de -800 a +555 kg grano ha^{-1} **(Tabla 1)**. Para dosis promedio similares, que rondaron los 20 kg S ha^{-1}, el maíz logró eficiencias agronómicas que duplicaron los promedios de trigo y soja **(Tabla 1)**.

Para ninguno de los cultivos se pudieron establecer relaciones predictivas de la eficiencia agronómica con el nivel de S-sulfatos del suelo, el de MO o el año en que se realizó la experimentación **(Figuras 2, 3 y 4)**. Solo la dosis de azufre aplicada mostró efectos claros sobre la eficiencia agronómica, siendo la eficiencia menor a mayor dosis. Los ajustes logrados fueron significativos pero con bajo coeficiente de determinación (R2), por lo que carecen de valor predictivo. Las estimaciones de respuesta esperada y eficiencia agronómica solo pueden hacerse, con la información disponible, sobre la base de los promedios reportados en la **Tabla 1**.

Para el periodo 2004-2011, la relación de precios promedio del S-sulfato de calcio y el valor de los granos de trigo, maíz y soja fue de 9, 10 y 5 kg grano kg^{-1} S, respectivamente **(Figura 5)**. Comparando estas relaciones de precios promedio con las eficiencias agronómicas promedio de la fertilización azufrada **(Tabla 1)**, resulta económicamente conveniente la aplicación de S en los tres cultivos en la región pampeana.

Concideraciones finales

Existe respuesta generalizada de los cultivos de trigo, maíz y soja a la fertilización azufrada en la región pampeana argentina. Esta respuesta no puede predecirse por el momento usando variables de sitio pero tiende a decrecer con la dosis aplicada. La eficiencia agronómica

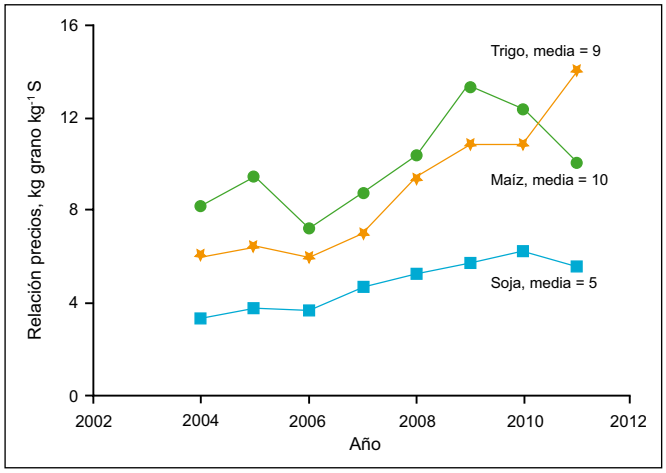

Figura 5. Relaciones de precios entre S de sulfato de calcio y granos para el periodo 2004/11. Al precio del fertilizante se le sumó un 10% en concepto de interés y al valor del grano se descontó 25% en trigo y soja, y 30% en maíz en concepto de gastos por secado, flete y comercialización. Fuente de precios: Agromercado (2004/11), Márgenes Agropecuarios (2011) y Bolsa de Cereales (2011).

en maíz es mucho más alta que en trigo y soja. Para dosis de 20 kg S ha^{-1}, las respuestas son altamente rentables en los tres cultivos. Cuando se aplican dosis mayores a 30 kg S ha^{-1}, la eficiencia agronómica de la aplicación de S cae marcadamente y la respuesta puede dejar de ser rentable en función de la relación de precios del año, especialmente en trigo y soja.

Agradecimientos

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (G004 and G033), CONICET (PIP 02050 y PIP 02608) y FONCYT (PID-BID 37164 - 49).

Bibliografía

Abeledo, L., C. Mignone, y M. Daniel. 2008. VII Congreso Nacional de Trigo, V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Actas en CD.

Agromercado. 2011. www.agromercado.com.ar/?economico.

Álvarez, R., P. Prystupa, M. Rodríguez, y C. Álvarez. 2013. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Segunda edición, 2013, 652 p.

Álvarez, R., H.S. Steinbach, S.V. Irrazabal, R. Salazar, G. Plet, N. Munafó, I. Sojo, A. Costa, I. Jaca, A. Toneloto, C. Mesquida, T. Perearnau, M. Zeballos, T. Berhongaray, T. Wulfsohn, J.P. Forcat, R. González Chavez, J.A. Marzilio, M. Reales, y T. Nolting. 2008. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD. AACS.

Arens, O., M. Ron, y T. Loewy. 2008. VII Congreso Nacional de trigo. Actas en CD.

Barraco, M., M. Díaz-Zorita, C. Brambilla, C. Álvarez, y C. Scianca. 2009. Ciencia del Suelo, 27:217-224.

Bergh, R.G. 2005. http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/carpeta_cos_fina/redazufre59.pdf.

Bergh, R.G., H.J. Forján, M.L. Seghezzo, y E.R. Molfese. 2006. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta Jujuy. Actas en CD.

Bianchini, A., M. Ambrogio, S. Lorenzatti, y F.O. García. 2002. Simposio Jornadas de actualización técnica para profesionales Fertilidad 2002, INPOFOS, 31-36.

Bianchini, A., A.S. Begnis, D. Peruzzi, M.E. Magnelli, S. Lorenzatti, J. Rabasa, y F.O. García. 2007. Simposio Fertilidad 2007. IPNI-Fertilizar Asociación Civil: 28-34.

Boga, L. 2010. IPNI. Informaciones Agronómicas No. 47:10-12.

Bolsa de cereales. 2011. http://www.bcr.com.ar/Pages/Granos/Cotizaciones/default.aspx

Calviño, P.A., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, y R. Redolatti. 2001. V Congreso Nacional de Trigo. Publicado en actas.

Capurro, J.E., C. Fiorito, M.C. González, E. Casasola, A. Zazzarini, J. Andriani, y A. Vernizzi. 2008a. Maíz- Para mejorar la producción 338- INTA Oliveros, 56-61. http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/documentos/maiz/maiz08%2004.pdf

Capurro, J.E., C. Fiorito, M.C. González, y R. Pagani. 2001. INPOFOS. Informaciones Agronómicas No. 11:13-14.

Capurro, J.E., J.M. Monti, y C. González. 2005a. Para mejorar la producción No. 28-INTA EEA Oliveros, http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/informacion.htm.

Capurro, J.E., J.M. Monti, y C. González. 2008b. Revista Trigo. Para mejorar la producción No. 37-INTA EEA Oliveros, http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/informacion.htm.

Capurro, J.E., R. Pagani, J.M. Monti, C. Florito, y C. González. 2005b. Revista Trigo. Para mejorar la producción No. 28-INTA EEA Oliveros, http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/informacion.htm.

Capurro, J.E., A. Zarini, y C. González. 2005c. Revista Trigo. Para mejorar la producción No. 31-INTA EEA Oliveros, http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/informacion.htm.

Carta, H., L.A. Ventimiglia, y S.N. Rillo. 2000. Revista de tecnología agropecuaria-INTA Pergamino, IV No. 14:32-34.

Castellarín, J.M., H.M. Pedrol, D. Dignani, F. Ferraguti, y F. Salvagiotti. 2009. Revista Trigo. Para mejorar la producción No. 40 INTA EEA Oliveros, 45-52. http://www.inta. gov.ar/oliveros/info/informacion.htm.

Castillo, C., G. Espósito, y R. Balboa. 2006. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.

Caviglia, O.P., O.F. Paparotti, y P.A. Barbagelata. 2000. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 2000. Actas en CD.

Cicore, P.L., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, y P.A. Barbieri. 2005. RIA, 34:57-74.

Cordone, G., F. Martínez, J.E. Capurro, y R. Abrate. 2001. Actas VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA.

Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, e I. Fernández. 2011. Simposio Fertilidad 2011. La fertilidad de los cultivos integrada al sistema de producción, IPNI-Fertilizar AC, 98-107.

Echeverría, H.E. 2002. EEAB Boletín técnico No. 156, 19 p.

Espósito, G., C. Castillo, G. Balboa, y R. Balboa. 2009. IPNI. Informaciones Agronómicas No. 43:16-18.

Fernández, R., J. Galantini, M.R. Landriscini, A. Marinissen, y E. Mario. 2004a. IV Simposio Nacional de Siembra otoño – invernal. Actas en CD.

Fernández, R., J. Galantini, M.R. Landriscini, y R.A. Rosell. 2004b. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.

Fernández, R., J. Galantini, y M.R. Landriscini. 2005. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.

Ferraris, G., L. Courerot, R. Falconi, P. Traficante, F.H. Gutiérrez Boem, y P. Prystupa. 2004a. Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA Pergamino, 28:22-26.

Ferraris, G., N. González, y A. Rivoltella. 2003. Revista de Tecnología Agropecuaria-INTA Pergamino, III No. 24:10-13.

Ferraris, G., F.H. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, y L. Couretot. 2005. Proyecto Regional agrícola. Desarrollo Rural INTA Pergamino. http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/ext06/Inf_redM_SFertilizar05.pdf.

Ferraris, G, y F. Mousegne. 2011. http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilización-Maiz-Deficiencias-Buenos-Aires.pdf.

Ferraris, G., F. Salvagiotti, P. Prystupa, y F.H. Gutierrez Boem. 2004b. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD.

Ferraris, G., M. Ferrari, y J. Ostojic. 2001. Revista Tecnología Agropecuaria INTA Pergamino, 18:16-19.

Fontaneto, H. 2004. Simposio de Fertilidad 2004. Fertilidad de suelos para una Agricultura sustentable. INPOFOS, 19-28.

Fontanetto, H., M. Díaz Zorita, y H. Vivas. 2004. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, C. Negro, y L. Belotti. 2003a. INTA Rafaela Información técnica de trigo-Campaña 2003, 1-9. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info /documentos/miscelaneas.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Giailevra, C. Negro, L. Belotti. 2009. Simposio Fertilidad 2009. Mejoras prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. IPNI-Fertilizar AC, 109-118.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, C. Negro, L. Belotti, y D. Giailevra. 2008. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 109:35-43. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Fontanetto, H., O. Keller, C. Negro, y L. Belotti. 2006. INPOFOS. Informaciones Agronómicas No. 31:9-10.

Fontanetto, H., H. Vivas, O. Keller, R. Albrecht, J.L. Hotian, y J. Borsarelli. 2002. Jornadas de actualización técnica para profesionales "Fertilidad 2002". INPOFOS, 51-52.

Fontanetto, H., H. Vivas, O. Keller, R. Albrecht, y J.L. Hotian. 2003b INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 100, 1-7. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Funaro, D., R. Fernández, y A. Quiroga. 2004. Boletín de Divulgación Técnica No. 81:18-30.

Galantini, J., M.R. Landiscini, R. Fernández, G. Minoldo, J. Cacchiarelli, y J.O. Iglesias. 2006. INPOFOS. Informaciones Agronómicas, No. 29:23-27.

Gambaudo, S., M. Torres Dugan, y O. Quaino. 2006. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 105:44-48. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

García, F.O. 1999. Fósforo y azufre en el cultivo de maíz. INPOFOS. Informaciones Agronómicas No. 3:6-9.

García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, N. Reussi Calvo. 2010. La red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009, AACREA, 2da edición, 62 p.

Getdata Graph Digitizer 2.24. 2008. http://getdata-graph-digitizer.com/.

González Montaner, J., y M. Dinápoli. 2002. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS.

González, N., O. Polidoro, E. Mieres, y G. Pagani. 2002. Revista de Tecnología Agropecuaria. Divulgación técnica del INTA Pergamino. Ediciones INTA, VII, 28-30.

González, N., O. Polidoro, y A. Rivoltella. 2004. Revista de Tecnología Agropecuaria. Divulgación técnica del INTA Pergamino. Ediciones INTA. IX, 11-14.

González, N., y O. Polidoro. 2001. Revista de Tecnología Agropecuaria. Divulgación técnica del INTA Pergamino. Ediciones INTA, VI, 11-12.

Gutiérrez Boem, F.H., M.A. Young, y P. Prystupa. 2001. V Congreso Nacional de trigo. Publicado en actas.

Gutiérrez Boem, FH., F. Salvagiotti, G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H.S. Vivas, P. Prystupa, y H.E. Echeverría. 2006. Proyecto Regional Agrícola. Centro Regional Buenos Aires Norte, Área de Desarrollo Rural. EEA Pergamino y Villegas, 156-162.

Gutiérrez Boem, F.H., J.D. Scheiner, N. Capurro, y R.S. Lavado. 2000. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD.

IPNI (International Plant Nutrition Institute). 2013. Planilla Cálculo de Requerimientos Nutricionales en cultivos de cereales, oleaginosos, industriales y forrajeros. http://lacs.ipni.net/topic/nutrient-requirements.

IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates). 2001. A Software to Test Model Performance http://www.sipeaa.it/tools/IRENE/IRENE_ISMCS2001.pdf.

Keller, O., y H. Fontanetto. 2003a. INTA Rafaela Información técnica de trigo, 1-3. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas/099/indice.htm.

Keller, O., y H. Fontanetto. 2003b. Publicación Miscelánea No. 10. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos miscelaneas.

Keller, O., y H. Fontanetto. 2004INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 101:39-41. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Keller, O., y H. Fontanetto. 2006. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 105:39-41. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Landriscini, M.R., y J. Galantini. 2001. Diagnostico V Congreso Nacional de trigo. Publicado en actas.

Loewy, T., N. Salomon, y M.M. Ron. 2007. Simposio Fertilidad 2007. Base para el manejo de la Nutrición de los cultivos y los suelos. IPNI-Fertilizar AC, 119-122.

Márgenes Agropecuarios. 2011. http://www.margenes.com/estadistica/.

Masgrau, A., y R. Maich. 2008. VII Congreso Nacional de trigo. Actas en CD.

Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, y N. Faccendini. 2005. VIII Congreso Nacional de Maíz. Publicado en actas.

Pagani, A., H.E. Echeverria, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Ciencia del Suelo, 27:21-29.

Pagani, A., y H.E. Echeverría. 2011. IPNI. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica No. 2:17-24.

Pedrol, H., F. Salvagiotti, J. Castellarín, N. Trentino, J. Méndez, J. Capurro, J.C. Felizia, O. Gentili, A. Gargicevich, G. Prieto, D. Damen, y A. Gelin. 2001. VII Congreso Nacional de Maíz. Publicado en actas.

Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2001. V Congreso Nacional de Trigo. Publicado en actas.

Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2006a. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta. Actas en CD.

Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2006b. Ciencia del Suelo 24:77-87.

Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2008. Ciencia del Suelo, 26:161-167.

Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. En CD.

Rivero, E., F. Fontan, L. Brutti, S. Quiroga, y E. Schoningh. 2000. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD.

Rodriguez, M.B., D. Altube, P. Prystupa, F.H. Gutierrez Boem, J. Scheiner, y R.S Lavado. 2002. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas publicadas en CD.

Rossi, M., y S. Gambaudo. 2008. VII Congreso nacional de Trigo. Simposio Nacional de cereales de siembra otoño invernal. MF 39.

Salomón, N., T. Loewy, H.E. Echeverría, R. Bergh, y R. Miranda. 2007. Simposio Fertilidad 2007. Base para el manejo de la Nutrición de los cultivos y los suelos. IPNI. Fertilizar AC, 131-134.

Salvagiotti, F., J. Castellarin, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Field Crop Research, 113:170-177.

Salvagiotti, F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. Gonzalez, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallone. 2004. Ciencia del suelo, 22:92-101.

Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. European J of Agronomy, 28, 282-290.

Satorre, H.E., G.A. Tinghitella, y M. Ermácora. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.

Thomas, A., M. Boxler, M.L. Alvarez De Toledo, A. Berardo, y F.O. García. 2002. Jornadas de actualización técnica para profesionales “Fertilidad 2002”, 43-50.

Tysko, M., y M.B. Rodríguez. 2006. Ciencia del suelo, 24:139-146.

Ventimiglia L., Richmond P., Carta H., Rillo S. 2003. Revista de Tecnología Agropecuaria-INTA Pergamino, III No. 23:6-8.

Ventimiglia, L.A., L. Torrens Baudrix, y J. Camarasa. 2008Proyecto Regional Agrícola y Ganadero. Centro regional Buenos Aires Norte. EEA Pergamino Agencia extensión Rural 9 de Julio. http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/actividad/aer/9dejulio/publi9.htm.

Ventimiglia, L.A., H.G. Carta, S.N. Rillo, y P.F. Richmond. 2004. Divulgación Técnica del INTA Pergamino, IX, 40-42.

Ventimiglia, L.A., H.G. Carta, y S.N. Rillo. 2000. Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA Pergamino, 15-17.

Vivas, H. 2005. Publicación Miscelánea No. 104:66-71.

Vivas, H., R. Albrecht, H. Fontanetto, y J.L. Hotian. 2003. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Vivas, H., R. Albrecht, y J.L. Hotian. 2005. Publicación Miscelánea No. 103:27-30, http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Vivas, H., R. Albrecht, J.L. Hotián, y L. Gastaldi. 2007a. Residualidad del fósforo y del azufre. Estrategia de fertilización en una secuencia de cultivos. INPOFOS. Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 42:11-16.

Vivas, H., R. Albrecht, A. Oliveira Ferreira, y J.L. Hotián. 2007b. INTA Rafaela. Publicación miscelánea No. 107:109-118.

Vivas, H., N. Vera Candioti, y R. Albrecht. 2009. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 113:38-46. En: http://www.inta.gov.ar/rafaela/info /documentos/miscelaneas.

Vivas, H., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, y J.L. Hotián. 2011. IPNI. Informaciones Agronómicas No. 1:17-21.

Vivas, H., R. Albrecht, N. Vera Candioti, y J.L. Hotián. 2008. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 112:108-118. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Vivas, H., y H. Fontanetto. 2003. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 100:1-6.

Vivas, H., N. Vera Candioti, R. Albrecht, L. Martins, y J.L. Hotián. 2010. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 118:109-118. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.

Vivas, H., N. Vera Candioti, R. Albrecht, y J.L. Hotián. 2009b. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 115:57-65. http://www.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/miscelaneas.❖

Maíz tardio en Entre Ríos, Argentina: Calibración de umbrales críticos en nitrógeno*

Santiago Díaz Valdez,[1] , Fernando García[2] y Octavio Caviglia[3]

Introducción

En muchas de las regiones agrícolas de Argentina, a pesar de que las precipitaciones anuales en general exceden la demanda del maíz (500-600 mm), la distribución a lo largo del año presenta bajas precipitaciones durante el invierno y ciertos periodos del verano. Es frecuente la ocurrencia de bajas precipitaciones en enero, lo que sumado a la alta demanda atmosférica que se registra en esta época resulta en sequías estacionales (Maddonni, 2011). Tanto el agua como el nitrógeno (N) deben estar bien provistos en cantidad y oportunidad para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración del cultivo de maíz, momento alrededor del cual se determina el rendimiento (Andrade et al., 1996). Una posibilidad para evitar la coincidencia de la floración del maíz con la sequía estacional del verano, es sembrar el cultivo al final de la estación primaveral, de esta manera, la floración femenina ocurre a mediados del verano y el periodo de llenado de los granos se corre a finales del verano y otoño (Maddonni, 2011).

En la provincia de Entre Ríos, a partir de la aparición de híbridos de maíz transgénico resistentes a lepidópteros, la superficie de maíz sembrada en fechas tardías se ha ido incrementando. La principal ventaja es que se aumentan los rendimientos mínimos, otorgándole más estabilidad al productor. Sin embargo, es poca la información disponible en esta región, como en otras, referente al manejo de la fertilización nitrogenada en maíces tardíos.

En Argentina se han calibrado, para maíz en fechas de siembra normales al inicio de la primavera, umbrales críticos de disponibilidad de N (Nd: N-NO_3 suelo, 0-60 cm, + N fertilizante), constituyéndose en el método más difundido para determinar la necesidad de N. Estos umbrales varían según la zona y el nivel de rendimiento objetivo (García, 2009). En Entre Ríos, Mistrorigo y Valentinuz (2004) determinaron que es necesaria una disponibilidad de 162 kg N ha^{-1} (0-60 cm suelo V2-V4 + fertilizante) para obtener un rendimiento relativo del 94%. La Cátedra de Cerealicultura de la FAUBA definió un umbral de 125 kg N ha^{-1} (0-60 cm suelo a la siembra + fertilizante) para rendimientos potenciales en ensayos realizados con el CREA Litoral Sur (Ruiz et al., 2004). AAPRESID-INPOFOS realizaron una red de 23 ensayos en Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe, y propusieron que rendimientos de 10 000 kg ha^{-1} se pueden obtener con una disponibilidad de 130 kg N ha^{-1} (0-60 cm suelo a la siembra + fertilizante) mientras que los umbrales críticos de N-NO_3 en V6 fueron de 19 y 24 ppm para las profundidades 0-20 y 0-40 cm respectivamente (Bianchini, 2004).

En fecha de siembra tardía hay una menor proporción de crecimiento reproductivo sobre el vegetativo, debido al deterioro de las condiciones radiativas y térmicas durante el llenado de granos y al mejor ambiente para el crecimiento inicial (Cirilo y Andrade, 1994). A su vez, la mineralización de la materia orgánica del suelo aumenta con las mayores temperaturas en siembras tardías, reduciendo así la respuesta al agregado del nutriente (Melchiori y Caviglia 2008). El cambio marcado en el ambiente de los maíces de siembra tardía en relación a los de fecha de siembra normal, indican la necesidad de verificar y/o ajustar nuevos umbrales para el manejo de la fertilización nitrogenada.

El objetivo de este trabajo fue calibrar umbrales críticos de N en pre siembra (PS) y en V6 para maíces de siembra tardía en la provincia de Entre Ríos.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2011/12 y 2012/13 se realizaron experimentos en microparcelas y en franjas. Los ensayos en microparcelas se sembraron en los departamentos de Paraná y Gualeguay (2011/12) y Victoria y Gualeguaychú (2012/13). Los tratamientos evaluados fueron 5 dosis de N: 0, 25, 50, 100 y 150 kg N ha^{-1}, durante la campaña 2011/2012 y 0, 25, 50, 75 y 150 kg N ha^{-1} en la campaña 2012/13. El diseño fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 6-8 hileras de ancho por 10 metros de largo, el fertilizante se aplicó en los cuatro surcos centrales en post- emergencia del maíz (V6), los surcos laterales cumplen la función de zona buffer entre tratamientos, y el hibrido utilizado fue DK72-10MGRR2 en todos los experimentos. Los ensayos en franjas, se realizaron en las localidades de Cerrito, Gualeguay, Rincón de Nogoyá y Pehuajó Sud, durante el año 2011/12 y en General Galarza, Gualeguaychú, Rincón de Nogoyá y Larroque (2 localidades), durante la campaña 2012/13. Las dosis de N aplicado fueron 0, 25, 50, 75 y 100 kg N ha^{-1} y el hibrido utilizado fue DK72-10MGRR2.

[1] Monsanto Argentina SAIC, Ruta 188, Km. 72 (2700) Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: ssdiaz@monsanto.com
[2] IPNI Latinoamérica Cono Sur. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net
[3] INTA Paraná-FCA (UNER) – CONICET. Correo electrónico: caviglia.octavio@inta.gob.ar
* Adaptado de la presentación realizada al XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. 5-9 Mayo 2014.

Los muestreos de N-NO_3 en PS, se realizaron a 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm. En V6, se determinó N-NO_3 a 0-20 cm y 20-40 cm. En ambos muestreos, considerando el espesor muestreado y la densidad aparente, se transformaron los valores en kg N ha^{-1}.

El umbral crítico de N (kg N ha^{-1} suelo + N fertilizante) se determinó ajustando la relación de esta variable con el rendimiento o el rendimiento relativo del cultivo (relativo al rendimiento promedio del tratamiento de mayor rendimiento dentro de cada ensayo). Las funciones que relacionaron rendimiento y disponibilidad de nutriente a partir de los datos experimentales, se ajustaron por el método de mínimos cuadrados. Se testearon funciones de tipo lineal-plateau y cuadrática-plateau.

La función lineal-plateau se define como:

$$Y = a + b\,x \qquad x < C \text{ (ec. 1)}$$

$$Y = P \qquad x \geq C \text{ (ec. 2)}$$

donde Y representa al rendimiento relativo, a la ordenada al origen, b la respuesta del rendimiento relativo a la disponibilidad de N, x los valores de Nd, C el umbral crítico de Nd, el valor umbral ocurre en el punto a partir del cual no hay respuesta en rendimiento relativo a incrementos de Nd y P (plateau) representa todos los valores de Nd (x) en los cuales Y se torna constante.

La función cuadrática-plateau se define como:

$$Y = a + b\,x + c\,x^2 \qquad x < C \text{ (ec. 3)}$$

$$Y = P \qquad x \geq C \text{ (ec. 4)}$$

donde Y representa al rendimiento relativo, a la ordenada al origen, b la respuesta del rendimiento relativo a la disponibilidad de N, c el coeficiente cuadrático, x los valores de Nd, C el umbral crítico de Nd, el valor umbral ocurre en el punto a partir del cual no hay respuesta en rendimiento relativo a incrementos de Nd y P (plateau) representa todos los valores de Nd (x) en los cuales Y se torna constante.

La ecuaciones 1 y 3, se utilizan cuando el Nd (x) es menor al umbral crítico (C), situaciones donde hay repuesta a un aumento en la disponibilidad de N. Las ecuaciones 2 y 4, representa las situaciones donde en Nd (x) es mayor o igual al umbral crítico (C), en esta situación, no hay variaciones de rendimiento relativo debido al agregado de N.

Resultados y discusión

El tratamiento testigo sin fertilizar exploró un amplio rango de rendimiento, de 3725 a 11 906 kg ha^{-1}. La campaña 2011/12 presentó rendimientos medios mayores que la campaña 2012/13: 9935 y 5720 kg ha^{-1}, respectivamente. También se exploró un amplio rango de disponibilidad de N en el suelo, en PS 0-60 cm, los valores fueron de 66 a 119 kg N-NO_3 ha^{-1}, siendo la media de 87 kg N-NO_3 ha^{-1}. En el muestreo de V6 (0-40 cm), los valores de disponibilidad de N en el suelo fueron de 63 a 98 kg N-NO_3 ha^{-1}, siendo la media de 83 kg N-NO_3 ha^{-1}.

En el conjunto de los datos, no hubo asociación entre Nd en PS y V6 con el rendimiento, lo que se refleja en

Tabla 1. Parámetros de las funciones ajustadas en PS y V6 a las distintas profundidades de muestreo.

Parámetro	---------- PS ----------			---------- V6 ----------	
	0-60 cm	0-40 cm	0-20 cm	0-40 cm	0-20 cm
a	74	75	79	76	78
b	0.16	0.16	0.16	0.14	0.14
c	165	150	121	168	137
R^2	0.64	0.63	0.60	0.48	0.51

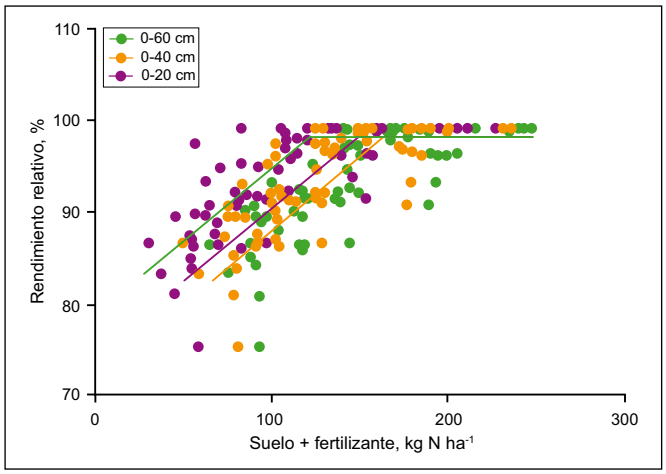

Figura 1. Rendimiento relativo en función del Nd (PS) según diferentes profundidades de muestreo.

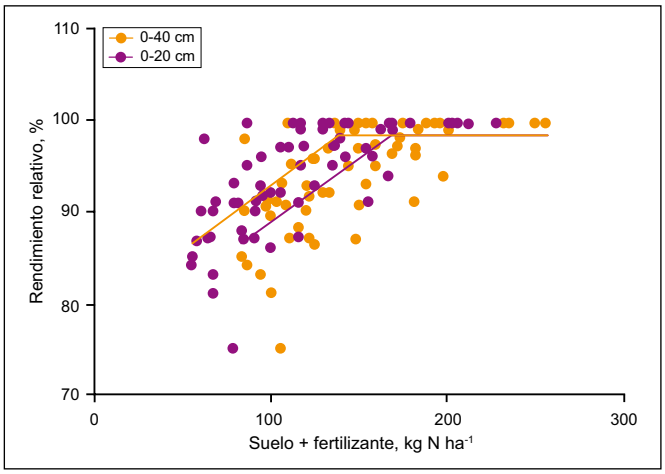

Figura 2. Rendimiento relativo en función del Nd (V6) según diferentes profundidades de muestreo.

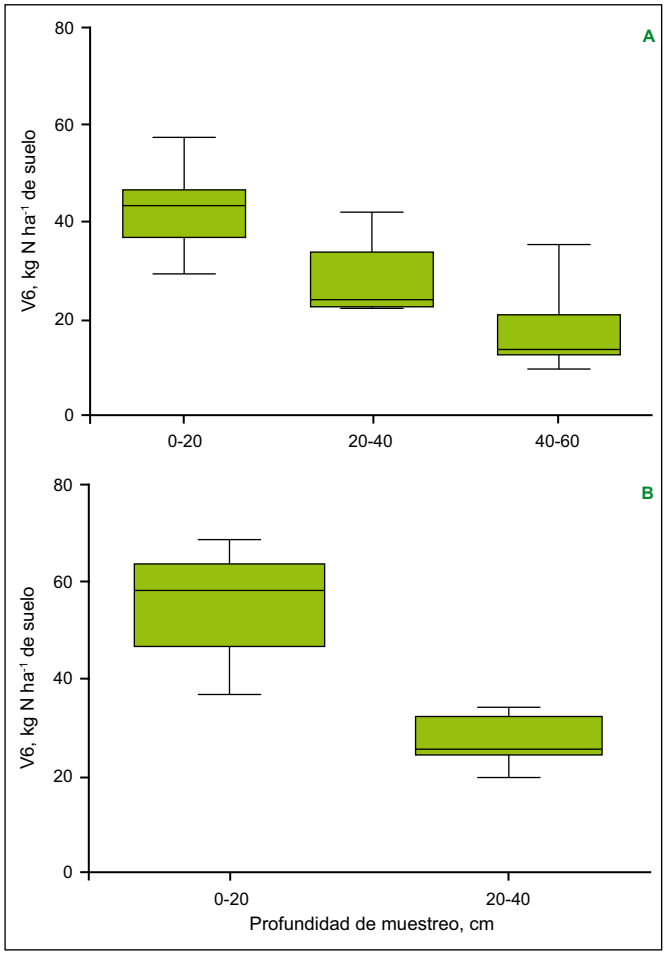

Figura 3. Distribución del N en el suelo según la profundidad de muestreo en A) PS y B) V6.

el bajo R^2 de la función ajustada (R^2=0.04) y (R^2=0.02), respectivamente. Al utilizar el rendimiento relativo, las mismas funciones obtuvieron ajustes de R^2=0.64 y R^2=0.48, respectivamente. La relación entre el rendimiento relativo y el Nd, puede ser descripta por funciones del tipo lineal-plateau o cuadrática-plateau, al no haber diferencias entre ambos modelos (p = 0.69), se recomienda la utilización de la función lineal-plateau, por ser esta de mas simple explicación.

En las **Figuras 1 y 2**, se pueden observar las funciones lineal-plateau ajustadas para las tres profundidades de muestreo en PS y para las dos profundidades de muestreo en V6, respectivamente. Los parámetros para las ecuaciones de ajuste en PS y V6 se presentan en la **Tabla 1**.

Las funciones que relacionan el rendimiento relativo con el Nd lograron un mayor ajuste con los muestreos de suelo realizados en PS que con los realizados en V6. El Nd correspondiente al umbral crítico (C) a una misma profundidad de muestreo, fue mayor en V6 que en PS **(Tabla 1)**. El Nd en PS a 0-60 cm coincidió con el indicado por Mistrorigo y Valentinuz (2004) y es mayor que el indicado por Ruiz et al. (2004) para siembras tempranas.

Al analizar las funciones para las diferentes profundidades de muestreo en PS, se observa que el umbral crítico (parámetro C de la ecuación) disminuye a medida que la profundidad muestreada es más superficial, lo cual es lógico, ya que se considera un menor volumen de suelo. En las **Figuras 3A y 3B**, se observa que la concentración de N del suelo es mayor en los primeros 20 cm del suelo que en las profundidades 20-40 cm y 40-60 cm.

Conclusión

El presente trabajo constituye una herramienta de diagnóstico, que en base a la disponibilidad de N en el suelo, permite ser la base para una recomendación de fertilización nitrogenada en maíces de siembra tardía en la provincia de Entre Ríos. En trabajos posteriores se deberían generar pautas para recomendaciones de fertilización nitrogenada específicas por sitio. En el muestreo en PS, independientemente de la profundidad de muestreo, se logró un mejor ajuste de la función respecto al muestreo en V6. Los umbrales de Nd en PS para alcanzar el umbral crítico fueron de 121, 150 y 165 kg N ha^{-1} según se considere una profundidad de muestreo de 0-20 cm, 0-40 cm o 0-60 cm (R^2= 0.60, R^2=0.63 y R^2=0.64, respectivamente).

Bibliografía

Andrade, F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart, Y M.E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press. 292 p.

Bianchini A, Magnelli ME, Canova D, Lorenzatti S, Peruzzi D, Rabasa J, Begnis AS, García F. 2004. Diagnóstico de fertilización nitrogenada para maíz en siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Actas en CD.

Melchiori, R.J.M., Y O.P. Caviglia. 2008. Maize kernel growth and kernel water relations as affected by nitrogen supply. Field Crops Research 108:198-205.

Cirilo, A.G., y Andrade FH. 1994. Sowing date and maize productivity: Crop growth and dry matter partitioning. Crop Science 34:1039-1044.

García, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores prácticas de manejo para la nutrición de cultivos de grano. Simposio Fertilidad 2009, Actas 9-18.

Maddonni, G.A. 2011. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina - A probabilistic approach. Theorical Application Climatology 107:325-345.

Mistrorigo, D., y O. Valentinuz. 2004. Fertilización de maíz en siembra directa en suelos molisoles y vertisoles del oeste de Entre Ríos. Revista científica agropecuaria 8:99-107.

Ruiz, R.A., G.A. Maddonni, J.L. Mercau, y E.H. Satorre. 2004. Bases para la fertilización de maíz en la región litoral sur de AACREA (provincia de Entre Ríos). XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Actas en CD.❖

Manejo de la fertilización en la región pampeana centro-norte: Resultados económicos en el largo plazo*

Adrián Correndo,[1] Miguel Boxler[2] y Fernando García[1]

Introducción

La fertilización de los cultivos de grano ha adoptado en las dos últimas décadas una especial relevancia en los sistemas de producción de la región pampeana argentina, donde los principales cultivos son soja [*Glycine max* (L.) Merr.] y maíz (*Zea mays* L.) en verano, y trigo (*Triticum aestivum* L.) en invierno. Para las gramíneas -maíz y trigo-, las recomendaciones de fertilización normalmente incluyen nitrógeno (N) y fósforo (P), y más recientemente azufre (S). En el caso de la soja, las recomendaciones se basan principalmente en la nutrición fosforada y recientemente azufrada, pero generalmente las dosis utilizadas son bastante menores respecto de las gramíneas.

Para facilitar la toma de decisiones, existen diferentes metodologías de diagnóstico mediante las cuales es posible estimar requerimientos, respuestas o probabilidad de respuesta a los nutrientes. Para todas ellas, la calibración local es una característica deseada para mejores recomendaciones. Sin embargo, la decisión de fertilización -tomada *ex-ante*- finalmente depende de aspectos económicos -y financieros-, donde las relaciones insumo:producto determinan la probable rentabilidad de la fertilización. Posteriormente, en una instancia *ex-post*, normalmente se utilizan indicadores que estiman la eficiencia de uso de los nutrientes, siendo clásico el uso de la eficiencia agronómica (kg respuesta kg^{-1} nutriente aplicado), dada su utilidad para realizar cálculos económicos.

El uso de las herramientas de análisis mencionadas constituye parte fundamental del desarrollo de las mejores prácticas de manejo (MPM) del uso de fertilizantes en función de características específicas de cada sitio (Bruulsema, 2008). Las MPM de la nutrición de cultivos son estratégicas para incrementar la productividad del sistema de forma sustentable. Este concepto es complejo, y consiste tanto de dimensiones económicas, como sociales y ambientales, que necesitan ser incluidas en las recomendaciones de manejo (IPNI, 2013). En este trabajo, se analizan algunos aspectos de la dimensión económica referidos al manejo de la nutrición nitrogenada, fosforada y azufrada en maíz, trigo y soja en experimentos de fertilización de largo plazo en la región pampeana centro-norte.

Materiales y métodos

Desde el año 2000, CREA Sur de Santa Fe, IPNI Cono Sur y Agroservicios Pampeanos SA (ASP) mantienen en conjunto ensayos de nutrición de cultivos en campo de productores de la región pampeana centro-norte (García et al., 2010). Esta red experimental se estableció con once ensayos bajo sistemas de siembra directa estabilizados, de los cuales se analizaron cinco sitios **(Tabla 1)**. El periodo evaluado estuvo comprendido entre las campañas agrícolas 2000/01 y 2012/13. El diseño experimental de los ensayos es en bloques completos aleatorizados (DBCA), con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas es de 25-30 m de ancho y 65-70 m de largo. En cada sitio, con el objetivo de evaluar diferentes manejos y respuestas a la fertilización con N, P, y S, se disponen distintos tratamientos que se repiten de forma anual sobre las mismas parcelas **(Tabla 2)**. La soja de primera no se fertiliza con N, mientras que la secuencia trigo/soja de segunda se maneja fertilizando a la siembra del trigo con dosis para ambos cultivos. Las fuentes de nutrientes son urea (46-0-0), fosfato monoamónico (FMA; 11-52-0), y yeso agrícola (0-0-0-19S) para N, P, y S, respectivamente.

Tabla 1. Características básicas de los sitios evaluados. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe.

Establecimiento	Balducchi	San Alfredo	La Blanca	La Hansa*	Lambaré
CREA	Teodelina	Santa Isabel	Gral. Baldissera	Amstrong-Montes de Oca	San Jorge - Las Rosas
Serie de suelo	Santa Isabel	Hughes	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos
Tipo de suelo	Hapudol típico	Argiudol típico	Hapludol típico	Argiudol ácuico	Argiudol típico
Años de agricultura	+60	15	6	+20	12
Rotación	---------- M-T/Sj ----------		---------- M-Sj-T/Sj ----------		

* *Comenzó con soja de primera en la campaña 2001/02.*

[1] IPNI Cono Sur. Correo electrónico: acorrendo@ipni.net
[2] CREA Sur de Santa Fe.
* Adaptado del trabajo presentado al XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo AACS, Bahía Blanca, 5-9 Mayo 2014.

Tabla 2. Rangos de nutrientes aplicados a los cultivos anualmente en los cinco tratamientos establecidos en los sitios experimentales. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000/01 a 2012/13.

Nutriente	Testigo	Tratamiento			
		PS	NS*	NP*	NPS*
		Nutrientes, kg ha^{-1}			
N	-	10-20	90-175	90-175	90-175
P	-	20-46	-	20-46	20-46
S	-	17-25	17-25	-	17-25

* *En los cultivos de soja no se aplica N.*

Tabla 3. Promedios de las relaciones de precios (kg grano para comprar 1 kg de nutriente) registradas entre las campañas 2000/01 y 2012/13, y sus respectivos coeficientes de variación (CV, %).

Grano	Trigo			Maíz			Soja	
Nutriente	N	P	S	N	P	S	P	S
kg grano para comprar 1 kg de nutriente	8.0	20.5	9.7	11.3	28.9	13.7	12.2	5.8
CV, %	23	29	19	19	28	14	28	13

Debido a la existencia de efectos residuales en las parcelas por la historia de fertilización, la respuesta de los cultivos a la fertilización no se analizó en forma pura para cada nutriente, sino que se evaluó mediante la diferencia de producción de granos (kg ha^{-1}) entre cada tratamiento fertilizado (PS, NS, NP y NPS) y el Testigo absoluto **(Figura 1)**.

A partir de dichos valores, se estimó el beneficio económico o margen bruto (MB) parcial por fertilización (US$ ha^{-1}) y el retorno de inversión (RI, US$ US$$^{-1}$ invertido) considerando la producción de granos (kg ha^{-1}) y la aplicación acumulada de N, P, y S (kg ha^{-1}) entre las campañas 200/01 y 2012/13. El primero se estimó como la diferencia entre los ingresos adicionales por cosecha -respecto del testigo- y los costos de fertilización de cada tratamiento. El segundo se calculó como el cociente entre los ingresos adicionales acumulados respecto del testigo y el costo de fertilización acumulado de cada tratamiento.

Para contemplar las variaciones en las relaciones grano:fertilizante y el valor monetario, los precios utilizados fueron los correspondientes a la serie histórica entre las campañas 2000/01 a 2012/13, expresados en US$ constantes al 31 de Diciembre de 2013 (INDEC, 2014; IMF, 2014). Las series se elaboraron en base a las cotizaciones de granos "Rosario disponible" y fertilizantes (Agromercado, 2013; Márgenes Agropecuarios, 2013). El precio de los granos se ajustó descontando gastos de comercialización (fletes corto y largo a Rosario, secado, acopio, paritaria, zarandeo, impuestos y sellado), y al costo del fertilizante se adicionó el costo de aplicación y un interés por inmovilización igual a la tasa vigente por depósito en plazo fijo (BCRA, 2014).

Dentro de cada sitio, la producción acumulada de granos y el retorno de inversión se estudiaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y se utilizaron comparaciones múltiples entre los tratamientos de fertilización (Tukey, α=0.05). En el caso del margen económico acumulado, se utilizó un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo, con una estructura de correlación AR1. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete Infostat versión 2013 (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

Producción de granos

La producción acumulada de granos de maíz, trigo y soja, mostró importantes variaciones en función del sitio y los tratamientos de fertilización **(Figura 1)**. Estas variaciones entre sitios en cuanto a respuestas a N, P y/o S, dependieron de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la historia del lote y el nivel de rendimiento de los cultivos (García et al., 2010). En general, los cultivos que más respuesta a la fertilización manifestaron fueron trigo y maíz y, en menor medida, soja de segunda. En contraparte, la soja de primera fue el cultivo que registró los menores efectos del manejo de la nutrición.

En todos los sitios, los mayores niveles de producción se alcanzaron con el tratamiento NPS y los más bajos con el Testigo. Las diferencias más importantes se observaron en el sitio Balducchi donde el Testigo registró una producción acumulada de 53.9 t respecto de las 118.5 t del tratamiento NPS (+119%). En contraste, las menores diferencias se registraron en el sitio Lambaré, donde el tratamiento NPS no se diferenció de NS y NP, y resultó 27% y 10% superior a los tratamientos Testigo y PS, respectivamente. Este comportamiento contrastante se atribuye a que el sitio Balducchi es aquel que documenta

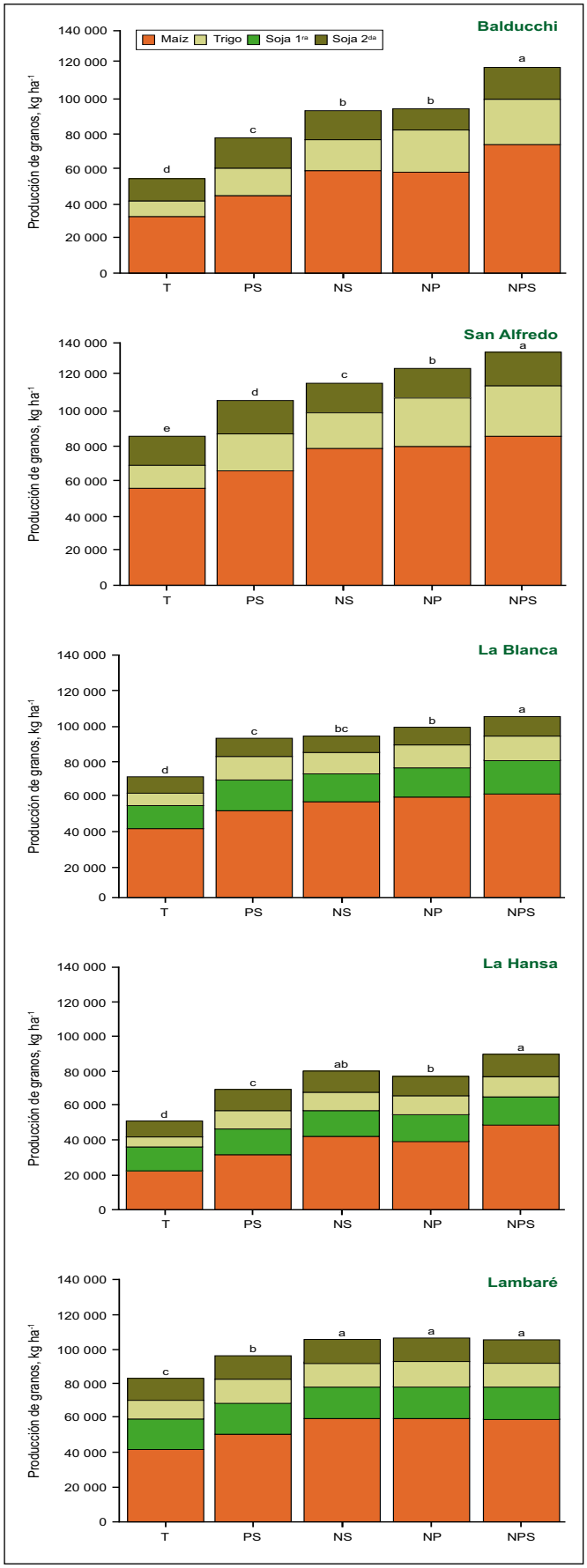

Figura 1. Producción acumulada de granos según los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo sitio, según Tukey al 5%.

la más prolongada historia de agricultura continua previa a los ensayos (más de 60 años), mientras que Lambaré documenta una historia de rotación agrícola-ganadera más reciente. Esta condición se refleja en los análisis de suelos de cada sitio, donde se observa que Balducchi y Lambaré fueron los sitios de la red con mayor y menor degradación del suelo, respectivamente (García et al., 2010).

En los sitios en rotación M-T/Sj, los rendimientos sin limitaciones nutricionales (NPS) fueron mayores en San Alfredo, pero las mayores diferencias entre sitios se registraron en la producción del Testigo, que en Balducchi fue claramente menor **(Figura 1)**. Por otro lado, en Balducchi se observan importantes reducciones de producción por no aplicar N (PS), P (NS) o S (NP), siendo más importante la limitación por N que la de P y S. En tanto en San Alfredo, la falta de aplicación de N generó las mayores mermas de producción, seguido por la falta de P y S.

Bajo rotación M-Sj-T/Sj, la producción sin limitaciones fue similar en los tres sitios. La producción de granos acumulada en el Testigo fue mayor en Lambaré respecto de La Blanca, reflejando una mejor condición de fertilidad en el primero debida, en parte, a su menor historia agrícola que además incluía rotación con pasturas. Por otra parte, en La Blanca los nutrientes más limitantes fueron N y P (en similar magnitud) y, en menor medida, S. En este sitio fue donde el P fue más limitante. En La Hansa, la mayor limitación se dio por la falta de N, seguido por la falta de S o P. En Lambaré, el principal limitante fue el N, y la falta de P o S no generó reducciones respecto del manejo NPS.

Margen por fertilización

Durante el periodo analizado, las relaciones de precios registraron altibajos que generaron momentos más y menos aptos para la inversión en fertilizantes. A modo de resumen, en la **Tabla 3**, se detallan las relaciones de precios (kg grano para comprar 1 kg de nutriente) medias y los coeficientes de variación (CV) entre las campañas 2000/01 y 2012/13. La tendencia general fue de márgenes positivos, mayores en los últimos años, con variaciones entre sitios y entre campañas según condiciones climáticas, incidencia de enfermedades, y relaciones de precios (ejemplo, 2008/09, atípicamente altas), registrando márgenes reducidos en algunos casos y pérdidas en otros (especialmente para los tratamientos con P) **(Figura 2)**.

En la **Figura 2**, se muestra cómo fue la evolución del MB parcial acumulado para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios. Luego de trece campañas, los mayores márgenes por fertilización se registraron en los sitios bajo rotación M-T/Sj. En Balducchi (con mayor historia de agricultura continua), los márgenes acumulados fueron de 1679, 2774, 1606 y 4770 US$ ha^{-1} para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, respectivamente.

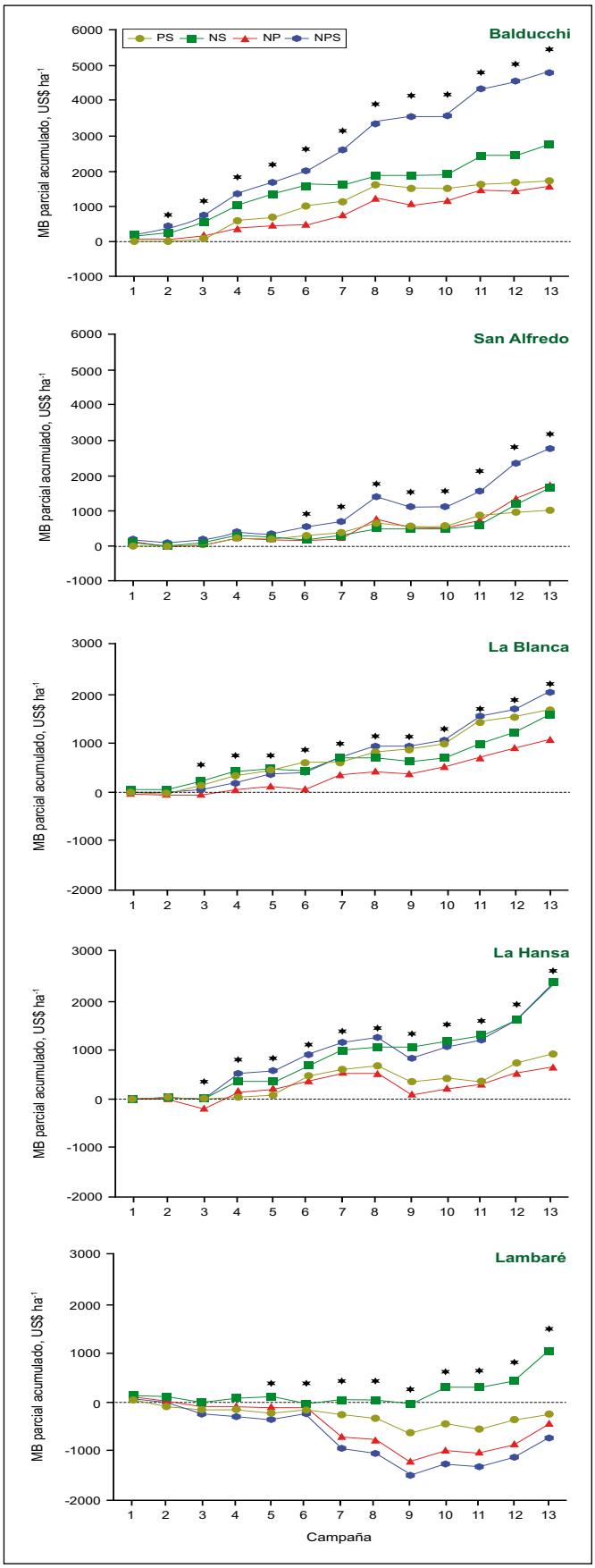

Figura 2. Margen acumulado (US$ ha^{-1}) por sobre el testigo no fertilizado para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Las líneas punteadas indican el testigo. *Diferencias significativas entre tratamientos, dentro de una misma campaña en cada sitio, según Tukey al 5%.

Para los mismos tratamientos, los márgenes acumulados en San Alfredo fueron de 1019, 1650, 1714 y 2748 US$ ha^{-1}, respectivamente. En Balducchi, el margen por fertilización comenzó a diferenciarse entre tratamientos a partir de la segunda campaña y, a partir de la sexta, el beneficio acumulado del manejo NPS comenzó a ser notoriamente superior al resto. En San Alfredo, se comenzaron a registrar diferencias significativas a partir de la sexta cosecha y, a partir de la octava campaña, el tratamiento NPS fue claramente superior al resto.

Por otra parte, los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj, presentaron márgenes por fertilización relativamente menores respecto de la rotación M-T/Sj, principalmente debido a las diferentes proporciones de maíz y soja en la rotación, que son los cultivos que más y menos respondieron a la fertilización **(Figura 1)**, y que más y menos inversión en fertilizantes registraron, respectivamente. El sitio La Blanca registró márgenes acumulados por 1659, 1604, 1094, y 2034 US$ ha^{-1} para PS, NS, NP y NPS, respectivamente. Para los mismos tratamientos, en La Hansa se obtuvieron beneficios por 901, 2296, 653 y 2279 US$ ha^{-1}, y en Lambaré los márgenes fueron de -280, 1005, -435 y -761 US$ ha^{-1}, respectivamente. En este último sitio, el único tratamiento con un beneficio neto fue NS, mientras el resto de los tratamientos -que incluyeron P en dosis de reposición-, resultaron en márgenes negativos dada la baja respuesta a causa de los altos niveles de P en el suelo.

En la **Figura 3** se detalla el retorno de la inversión en fertilización, al final de la decimo-tercera campaña, para cada sitio según el manejo de la nutrición. En Balducchi, los manejos más rentables fueron NPS y NS (2.15 y 2.11 US$ US$$^{-1}$), seguidos de PS (1.78 US$ US$$^{-1}$) y luego NP (1.43 US$ US$$^{-1}$). En San Alfredo, con un RI medio de 1.56 US$ US$$^{-1}$, no se detectaron diferencias entre tratamientos. En La Blanca, se determinaron diferencias significativas entre NS (1.86 US$ US$$^{-1}$) y NP (1.36 US$ US$$^{-1}$). En La Hansa, el tratamiento NS registró la mayor rentabilidad (2.31 US$ US$$^{-1}$) seguido de NPS, PS, y NP con 1.70, 1.46, y 1.23 US$ US$$^{-1}$, respectivamente. En Lambaré, el sitio de mejores condiciones iniciales de fertilidad, solo resultó rentable el tratamiento NS (1.54 US$ US$$^{-1}$), mientras que el resto de los tratamientos registró un RI medio de 0.83 US$ US$$^{-1}$ invertido. Estos resultados, indican que la rentabilidad media de la práctica en Lambaré, el suelo con menor respuesta a la fertilización, fue de un 54% con un manejo razonable dados los altos niveles de P en el suelo.

A nivel general, si bien el tratamiento NPS fue el que más beneficios acumuló en el periodo evaluado **(Figura 2)**, fue el tratamiento NS el que mejor pagó la inversión en fertilización **(Figura 3)**, principalmente relacionado al bajo costo relativo y a la creciente respuesta de los cultivos a la fertilización azufrada. Sin embargo, es importante mencionar que este manejo, que omite la aplicación de P, tiene un costo no cuantificado en este trabajo correspondiente a un empobrecimiento en P

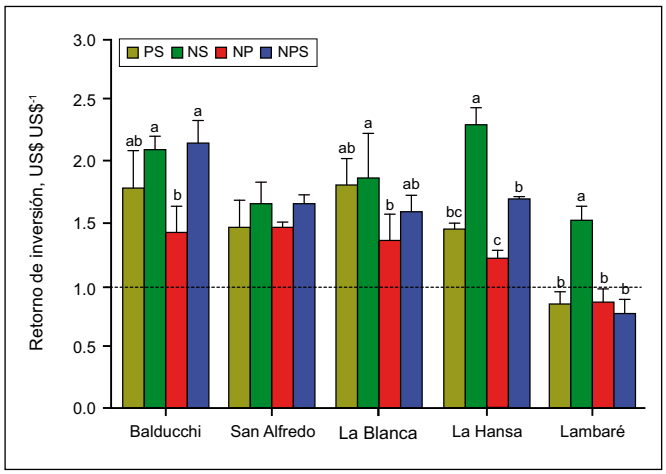

Figura 3. Retorno medio de inversión (US$ US$$^{-1}$$ invertido) para los diferentes tratamientos de fertilización en los cinco sitios evaluados. Campañas 2000/01 a 2012/13. Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. La línea punteada horizontal indica el umbral de indiferencia. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de un mismo sitio, según Tukey al 5%.

del suelo respecto del tratamiento NPS que, en general, mantiene y/o mejora los niveles de este nutriente clave para la producción de cultivos (Ciampitti et al., 2011). De forma similar, aplicar un manejo sin fertilización (Testigo), además de degradar progresivamente la fertilidad del suelo, en el período evaluado generó lucros cesantes por 367, 211, 156, 177, y 77 US$ ha^{-1} año^{-1} en Balducchi, San Alfredo, La Blanca, La Hansa, y Lambaré, respectivamente.

Conclusión

En este trabajo se muestra cómo, en el largo plazo, las dimensiones productiva y económica expresan los efectos del manejo de la fertilización. La disponibilidad de nutrientes en el suelo, la historia del lote y el nivel de rendimiento de los cultivos determinaron respuestas y resultados económicos específicos por sitio. En general, las mayores ganancias acumuladas correspondieron al manejo NPS, indicando que además de los beneficios sobre la fertilidad del suelo, existe un efecto económico significativo. La fertilización como práctica de manejo resultó rentable especialmente cuando se incluyó S debido al bajo costo relativo de la fertilización azufrada, y a la creciente y cada vez más generalizada respuesta al nutriente. Finalmente, la decisión de no utilizar fertilizantes generó lucros cesantes entre 77 a 367 US$ ha^{-1} año^{-1}. Este costo, sumado a la degradación del recurso suelo, ratifica como un aspecto clave la necesidad de un correcto manejo de la nutrición de los cultivos, en el marco de sistemas de producción sustentables.

Agradecimientos

A todos los productores, asesores técnicos y personal de la región CREA Sur de Santa Fe, y a Agroservicios Pampeanos (ASP) por su apoyo continuo a la Red de Nutrición.

Bibliografía

Agromercado. 2013. Series históricas. http://www.agromercado.com.ar/?economico

Banco Central de la República Argentina. 2014. Estadísticas monetarias y financieras. http://www.bcra.gov.ar/index.asp

Bruulsema, T.W., C. Witt, F.O. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. Better Crops 92(2):13-15. IPNI. Norcross, EE.UU.

Ciampitti, I.A., F.O. García, L.I. Picone, y G. Rubio. 2011. Phosphorus: balance and soil extractable dynamics in field crops rotations in Pampean soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 75:131-142.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

García, F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. 2da Ed. Buenos Aires, AACREA. 2010. 64 p.

IMF. 2014. International Monetary Found. United States and the IMF. http://www.imf.org/external/country/USA/index.htm

INDEC. 2014. Índices de precios. http://www.indec.mecon.ar/principal.asp?id_tema=10

IPNI. 2013. 4R de la Nutrición de Plantas: Un Manual para Mejorar el Manejo de la Nutrición de Plantas. Bruulsema, T.W., P. Fixen, y G. Sulewski (Eds.). 1ra Ed. Acassuso. International Plant Nutrition Institute. 140 p.

Márgenes Agropecuarios. 2013. Estadísticas. http://www.margenes.com/estadistica/.❖

Foto 1. Visita aérea del ensayo de fertilización de largo plazo en Teodelina, Santa Fe, Argentina.

Cursos y Simposios

1. VIII Jornada Demostrativa. Producción Agrícola en Sistemas Mixtos

Organiza : UE y DT INTA Gral. Pico
Lugar : Gral. Pico, La Pampa, Argentina
Fecha : Marzo, 20, 2014
Información : intapico@speedy.com.ar

2. Congreso Chileno de la Ciencia del Suelo

Organiza : SCCS - U. de Magallanes
Lugar : U. de Magallanes, Punta Arenas, Chile
Fecha : Abril, 1-4, 2014
Información : http://congresosuelos2014.umag.cl/web

3. Curso - Taller "Análisis de Suelos y Evaluación de la Fertilidad Edáfica"

Organiza : CPIA-AACS
Lugar : CPIA-Buenos Aires, Argentina
Fecha : Abril, 4, 2014
Información : http://www.cpia.org.ar/curso.html?op=v&noticia_id=3032

4. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar : Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
Fecha : Mayo, 5-9, 2014
Información : www.xxivcongresodesuelo.org.ar

5. Simposio Internacional sobre Mejores Prácticas de Manejo de Fertilizantes - IPNI Brasil y Cono Sur

Organiza : IPNI - Brasil y Cono Sur
Lugar : Foz de Iguazú, Brasil
Fecha : Mayo, 20-21, 2014
Información : http://lacs.ipni.net
http://brasil.ipni.net

6. XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Organiza : IUSS
Lugar : Jeju, Corea
Fecha : Junio, 8-13, 2014
Información : www.iuss.org

7. XXII Congreso de AAPRESID

Organiza : AAPRESID
Lugar : Rosario, Santa Fé, Argentina
Fecha : Agosto, 6-8, 2014
Información : http://www.aapresid.org.ar

8. I Congreso Uruguayo de Suelos - VI Encuentro de la SUCS

Organiza : SUCS
Lugar : Colonia del Sacramento, Uruguay
Fecha : Agosto, 6-8, 2014
Información : sucs.directiva@gmail.com
http://sucs.org.uy

9. Simposio Latino Americano de la Canola - SLAC 2014

Organiza : Embrapa trigo - ABRAS Canda
Lugar : Passo Fundo, RS, Brasil
Fecha : Agosto, 19-21, 2014
Información : http://www.cnpt.embrapa.br/slac/index_espanhol.htm

10. III Congreso Nacional de Ciencias Agrarias

Organiza : Facultad de Ciencias Agrarias (UNA)
Lugar : Asunción, Paraguay
Fecha : Agosto, 20-22, 2014
Información : cnca2014@gmail.com
http://www.agr.una.py/congreso

11. Taller Medición de Gases de Efecto Invernadero y I Conferencia de Gases de Efecto Invernadero en Sistemas Agropecuarios de Latinoamérica (GALA)

Organiza : INIA Remehue
Lugar : INIA Remehue, Osorno, Chile
Fecha : Octubre, 1-3, 2014
Información : eojeda@inia.cl
http://www.inia.cl/remehue

12. XX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Organiza : IUSS
Lugar : Cuzco, Perú
Fecha : Noviembre, 9-15, 2014
Información : http://xxcongresolatinoamericanodesuelos.org

Publicaciones Disponibles

Titulo de la Publicación	Costo (US$)	Costo ($ arg.)
NUEVO: Manual 4R de la Nutrición de Plantas. El Manual 4R brinda una idea general de la base científica que define a los cuatro requisitos de manejo de la fertilización: aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos, discutiendo la adopción de prácticas a campo y enfoques para la planificación del manejo de nutrientes.	20.00	160.00
Actas CD del Simposio Fertilidad 2013 "Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable". Trabajos orales y posters presentados en el Simposio organizado por el IPNI y Fetilizar AC en Rosario (Argentina) en Mayo del 2013.	12.50	100.00
Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2011.	10.00	80.00
Manual de Manejo del Cultivo de Soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	12.50	100.00
Simposio Fertilidad 2009. Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	5.00	40.00
Simposio Fertilidad 2007. Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	2.50	20.00
Como se Desarrolla una Planta de Soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
Como se Desarrolla una Planta de Maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5.00	40.00
Síntomas de Deficiencias Nutricionales de Trigo, Maíz y Soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5.00	40.00
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	2.50	20.00
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	2.50	20.00
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003.	2.50	20.00
Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre el uso y el manejo de suelos y fertilizantes.	15.00	120.00

Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI Cono Sur en http://Lacs.ipni.net

Consulte la forma de pago de las publicaciones y la versión completa de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica en su versión digital en: http://Lacs.ipni.net

Forma de pago de las publicaciones

Argentina

- ☐ Giro postal o telegráfico a través de Correo Argentino - Los datos para realizar su envío son los siguientes:
  Sra. Laura Nélida Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
  Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina
- ☐ Depósito bancario a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. Nº 3856/4 053/5
- ☐ Transferencia bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. Nº 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4

Otros países

- ☐ Envío de dinero a través de Western Union - Los datos para realizar su envío son los siguientes:
  Sra. Laura Nélida Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
  Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o correo electrónico, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (Nº de giro y fecha, datos de depósito o transferencia bancaria).

Para conocer los gastos de envio y cualquier otra consulta de publicaciones por favor enviar un correo electrónico a Lpisauri@ipni.net