

Informaciones Agronómicas

del Cono Sur



Instituto de la Potasa y el Fósforo

Potash & Phosphate Institute

Potash & Phosphate Institute of Canada

En este número:

Siembra directa en Paraguay y sur del Brasil

Ensayos de fertilización fosforada de soja

Fertilización con fósforo y azufre en maíz

Cinc en el cultivo de maíz

Fertilización y roturación de soja en Bolivia

Archivo Agronómico N°10: Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla

Manejo del suelo para la obtención de altos rendimientos en soja en el sistema de siembra directa en Paraguay y en el sur del Brasil

**Telmo J.C. Amado¹, Martín M. Cubilla², Jairo A. Schleindwein³,
Antonio L. Santi⁴ y Luis Enrique Cubilla Ramos⁵**

¹ Profesor Dr., Bolsista del CNPq. Depart. de Suelos, UFSM, Santa Maria-RS Cep.

² M.Sc. Biodinámica y Manejo del Suelo, UFSM.

³ Doctor en Fertilidad del Suelo, Consultor agrónomo.

⁴ Doctorando PPGCS, UFSM. ⁵ Consultor Técnico. CAPECO, Paraguay.

tamado@smail.ufsm.br

Presentado en el III Congreso de Soja del Mercosur – MERCOSOJA 2006

Introducción

La obtención de elevados rendimientos es el resultado de una compleja interacción de factores de clima, planta y suelo. Una de las críticas frecuentes que es hecha en cuanto al manejo del suelo en las últimas décadas, es el énfasis a los atributos químicos del suelo que determinan la fertilidad, relegando a un segundo plano los atributos físicos y biológicos del mismo, también importantes para la obtención de elevados rendimientos. La expansión de la siembra directa (SD) a partir de la década de los 90, ha proporcionado cierto grado de control de la erosión y la recuperación gradual del stock de materia orgánica del suelo (MOS). A medida que ocurre la recuperación del tenor de la MOS, se verifica un gradual incremento de la capacidad productiva del suelo. Este hecho está asociado a la mejora de la fertilidad, con sustancial aumento de



Ensayo de fertilización con P y K en Paraguay.



Director: Dr. Fernando O. García
 INPOFOS Cono Sur
 Av. Santa Fe 910
 (B1641ABO) Acassuso – Argentina
 Tel/Fax (54) (011) 4798-9939
 E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org
 Sitio Web: www.inpofos.org
www.ppi-ppic.org



Propietario: Potash and Phosphate
 Institute of Canada (PPIC)



ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

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

Contenido:

Manejo del suelo para la obtención de altos rendimientos en soja en el sistema de siembra directa en Paraguay y en el sur del Brasil 1

Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana 6

Maíz: Efecto de la fertilización con fósforo y azufre en la zona central de Santa Fé 9

Cinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad 11

Respuestas a fertilización y roturación en soja en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia) 15

Publicaciones de Inpofos 18

Congresos, Cursos y Simposios 19

Archivo Agronómico N°10.
Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos

Diseño e Impresión: www.agroeditorial.com.ar
amatthiess@amatthiess.com.ar

la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y de la mejora de la estructura del suelo, por el incremento de la agregación, con un efecto positivo en la infiltración y almacenamiento de agua. La actividad biológica también es favorecida por la recuperación del tenor de la MOS, incrementando el ciclaje de nutrientes. Prácticas de manejo como la mínima perturbación, elevada adición de residuos vegetales, permanente cobertura y elevada tasa de fotosíntesis favorecen a la mejora de la calidad del suelo. La expansión de la SD en el cultivo de la soja, que alcanza aproximadamente 80% del área cultivada en Río Grande del Sur (RS) y en las áreas mecanizadas del Paraguay, ha posibilitado la gradual mejora de la calidad del suelo, que aliada al perfeccionamiento de las prácticas de manejo, han proporcionado un incremento de la productividad del cultivo. El sistema de SD provocó profundos cambios en los atributos químicos del suelo y en la dinámica de nutrientes, exigiendo la utilización de nuevos procedimientos de manejo en relación a aquellos adoptados anteriormente en el sistema convencional de cultivo.

Dinámica de la Materia Orgánica del Suelo

La SD se ha mostrado eficiente en promover el incremento del stock de la MOS en suelos agrícolas. Este resultado está relacionado a la reducción en la tasa de oxidación biológica debido a la combinación

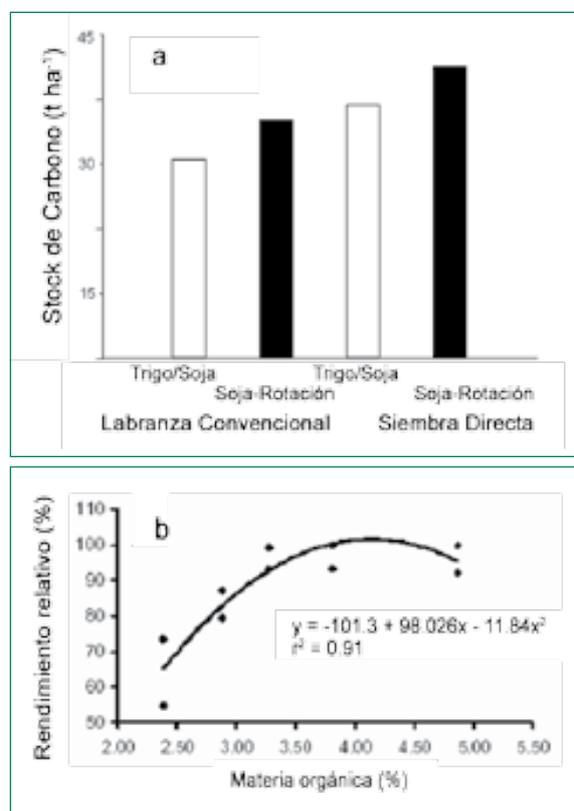


Figura 1. Stock de carbono en el suelo, a la profundidad de 0-10 cm, en sistemas de cultivo (a). Fuente: Campos (2006). Relación entre el tenor de MOS, a la profundidad de 0-10 cm, y el rendimiento de soja (b). Fuente: Pontelli (2006).

de los siguientes factores: reducción de la temperatura del suelo, menor oxigenación y menor perturbación del suelo, preservación e incremento de la agregación, que ha sido considerada como uno de los principales mecanismos de protección del carbono adicionado al suelo. Además de los mecanismos de protección y estabilización de la MOS, se debe destacar la importancia de la adición de elevada y diversificada cantidad de residuos vegetales, a través de un programa de rotación de cultivos. La soja presenta un limitado aporte cuantitativo de residuos culturales al suelo. A pesar de esto, posee relación C/N baja, hecho que favorece la rápida descomposición. Así, esta leguminosa cuando es utilizada en monocultivo o con gran frecuencia en el programa de rotación de cultivos, puede promover inclusive la disminución del stock de la MOS, aun en SD (Havlin et al., 1990; Garcia, 2003). Este efecto puede, por lo tanto, ser contrabalanceado por la utilización de cultivos de invierno, como avena negra, raigras anual, centeno y trigo, y por la rotación de cultivos de verano, como maíz o sorgo. Campos (2006), en un experimento de larga duración conducido en Cruz Alta (RS), observó que los mayores incrementos de MOS fueron obtenidos en SD con soja insertada en un programa de rotación de cultivos (Fig. 1a). Pontelli (2006), utilizando las herramientas de la agricultura de precisión en SD, encontró que la MOS, en la profundidad de 0 a 10 cm, fue el atributo del suelo que mejor se correlacionó con el rendimiento de soja. El autor estableció de forma preliminar la relación entre el tenor de la MOS y el rendimiento de soja (Fig. 1b) con base en rendimientos obtenidos en años normales de precipitación, 2002 y 2003, en un suelo Hapludox (Latossolo Vermelho distrófico típico). La concentración crítica para el 90% del rendimiento relativo (RR) fue de 3,2% y 4,1% correspondió a la máxima eficiencia técnica (MET - 100% de RR). Los valores presentados

sirven como una referencia, pues necesitan ser confirmados por una mayor base de datos.

Dinámica del fósforo

A pesar que entre los tres macronutrientes primarios el fósforo (P) sea el menos extraído por la soja, normalmente este es el que presenta mayor limitación para la obtención de elevados rendimientos, sea por la baja concentración en el suelo, y/o sea por su compleja dinámica. Según un relevamiento realizado en 2001, 79% de los muestreos de suelos analizados por los laboratorios de RS poseían tenores de P debajo del suficiente, mientras que en Paraguay en un trabajo realizado desde 1980 hasta 2002, se constató que más del 80% de los análisis de suelos se encuadraron en niveles bajos o de insuficiencia de P para las plantas (Fatecha, 2004). La exportación por los granos es equivalente a 14 kg de P_2O_5 - 6.1 kg P por tonelada de granos. El P es el macronutriente con menor movilidad en el perfil del suelo. En SD el P puede ser movilizado en el perfil a través del transporte por insectos, lombrices y por la erosión vertical en las grietas del suelo y las galerías de origen biológico. Por lo tanto, normalmente el P permanece muy próximo del lugar donde es depositado por el fertilizante, una vez que es poco transportado en el perfil por el flujo de agua. Entre los nutrientes, el P presenta la mayor variabilidad en la concentración tanto vertical como horizontal en el perfil del suelo. La variabilidad horizontal es resultado de fertilizaciones en línea en el surco de la siembra. Una variabilidad de aproximadamente 85%, en el tenor de P, fue encontrada cuando se comparó el muestreo de suelo en la línea y en la entre línea de siembra. Esta elevada variabilidad demanda un mayor número de muestras de suelo para que la disponibilidad del nutriente sea correctamente evaluada. En SD con rotación, la siembra de sucesivos

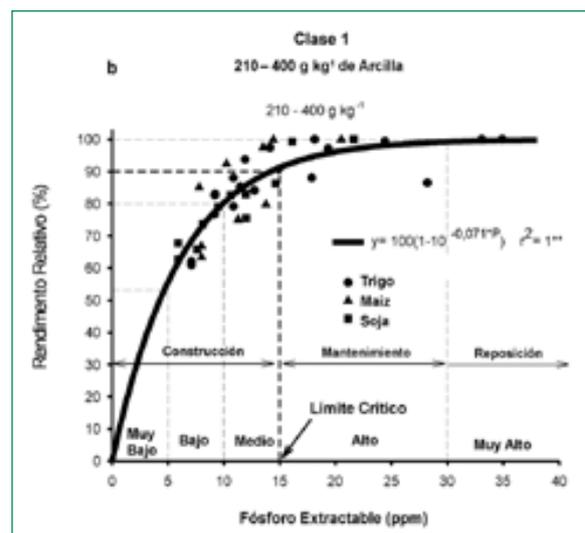
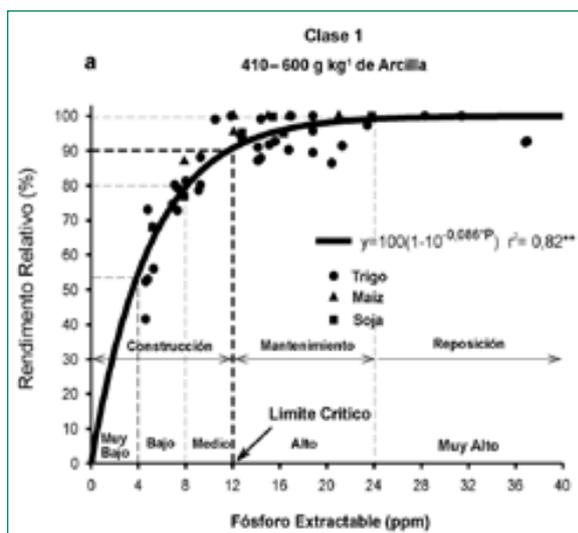


Figura 2. Rendimiento relativo de trigo, maíz y soja cultivados en SD con valores de P determinados por el método Mehlich-1, a la profundidad de 0-10 cm, para dos contenidos texturales de arcilla diferentes: 410-600 (a) y 210-400 (b) g kg⁻¹ de arcilla. ** significativo $P < 0,01$. (Paraguay). Fuente: Cubilla (2005).

cultivos con diferentes espaciamientos, que muchas veces poseen línea de siembra no coincidente, inducen a la variabilidad horizontal, que es mayor en la fase inicial y disminuye con el tiempo de adopción del sistema. Cuando los tenores de P en el suelo se encuentran de medios a elevados, la fertilización al voleo ha presentado eficiencia semejante a la fertilización en línea. La variabilidad vertical del P, en SD, puede ser todavía mayor que la horizontal. Así, la variabilidad vertical del P está relacionada a la fertilización superficial o sub-superficial, la deposición superficial de los residuos de los cultivos y la baja movilidad de este nutriente en el perfil. La variabilidad vertical es agravada con el tiempo de adopción de SD. Varios autores constataron que la mayor concentración de P en SD ocurre principalmente en los primeros 5 cm, o como máximo hasta 10 cm, cuando fueron utilizadas sembradoras con abresurco (cuchilla). La concentración superficial de P, en caso de déficit hídrico frecuente, puede resultar en menor aprovechamiento por las plantas. Este hecho enfatiza la importancia del mantenimiento de una adecuada cantidad de residuos sobre la superficie del suelo, buscando conservar la humedad del mismo y, consecuentemente, favorecer la absorción de P. El stock de P orgánico aumenta con el tenor de MOS y con el tiempo de adopción del sistema de SD (Sá, 1993).

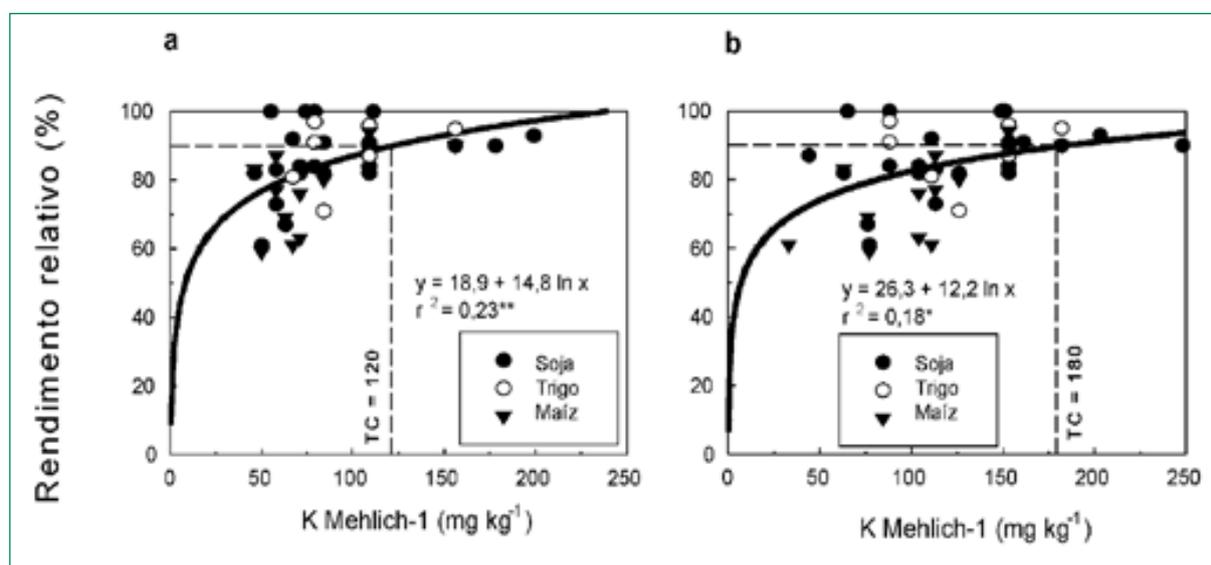
La mayoría de los experimentos de calibración fueron conducidos en sistemas convencionales de cultivo y con un intervalo de tiempo en el cual hubo cambios en el potencial productivo de las variedades de soja utilizadas y perfeccionamiento en las prácticas de manejo (Schlindwein, 2003). Los recientes y pocos experimentos de calibración en SD han indicado que los tenores críticos de P pueden ser superiores a los anteriormente propuestos en sistema de labranza convencional. Cubilla (2005) encontró, para suelos del Paraguay con clase textural de arcilla, de 210 a 400 g kg⁻¹, el tenor crítico de 15 mg dm⁻³ (ppm) y para la

clase de arcilla, de 410 a 600 g kg⁻¹, el tenor crítico de 12 mg dm⁻³ de P determinado por el método Mehlich I y a la profundidad de 0-10 cm (Fig. 2).

Por otro lado, Schlindwein (2003), investigando experimentos en SD en el estado de RS, encontró tenores críticos de P mayores que los anteriores, estimando en 30, 21 y 12 mg dm⁻³, respectivamente, para las clases texturales de arcilla de 110-400, 410-550 y >550 g kg⁻¹, determinados por el mismo método anterior y a la profundidad de 0-10 cm.

Dinámica del Potasio

El potasio (K) es un macronutriente demandado en cantidades elevadas por la soja. El K presenta movilidad en el suelo, pudiendo ser redistribuido en el perfil, por el flujo de agua (movilidad vertical) y por absorción y reciclaje por las plantas (movilidad horizontal). Así, la variabilidad vertical y horizontal de los tenores de K, normalmente, es menor que la de P. La continua deposición de residuos en la superficie del suelo en SD, aliado a las reducciones de pérdidas por erosión y lixiviación, inducen a una mayor concentración de K próximo a la superficie del suelo. La exportación de K en los granos cuantificada en la forma de K₂O es mucho mayor en la soja (20 kg t⁻¹- 16.7 kg K t⁻¹) que en otros cultivos, como el trigo y el maíz (6 kg t⁻¹ - 5 kg K t⁻¹). Así, para obtener altos rendimientos y mantener la fertilidad del suelo, en sistemas de cultivo con predominio de soja, se debe realizar una adecuada fertilización de K, ya que este nutriente es requerido y exportado en grandes cantidades por este cultivo. Schlindwein (2003) realizó un trabajo de calibración de los tenores de K en el suelo en SD con 17 diferentes experimentos cultivados con soja, trigo y maíz en RS y encontró un nivel crítico de 120 mg kg⁻¹ de K, a la profundidad de 0-20 cm. Sin embargo, el tenor crítico fue un 50% superior, cuando el análisis sólo conside-



ro la profundidad de 0-10 cm (Fig. 3). Por otro lado, Wendling (2005), en un estudio de calibración en el Paraguay, reportó un tenor crítico de K (Mehlich 1) de 74 mg dm^{-3} , en cuanto la MET fue obtenida con el tenor de 150 mg dm^{-3} , a la profundidad de 0 a 10 cm.

Consideraciones Finales

La obtención de elevados rendimientos de soja es una necesidad en función de los altos costos de producción y la creciente competitividad a la que todos los productores están sometidos, en consecuencia del proceso de globalización. Entre tanto, la obtención y, más importante, el mantenimiento de elevados rendimientos es el resultado de una compleja interacción de factores de clima, planta y suelo. La recuperación del stock de MOS ha sido frecuentemente relacionada con el incremento de la capacidad productiva de los suelos agrícolas. En SD, la rotación y el uso de cultivos de cobertura son esenciales para alcanzar elevados rendimientos de soja. Los tenores de nutrientes en el suelo, buscando elevados rendimientos, deben estar en la faja entre la máxima eficiencia económica y la máxima eficiencia técnica. Entre tanto, estos parámetros, en los experimentos de calibración de la fertilidad en SD, han sido variables de acuerdo con el tipo de suelo y manejo del cultivo. Considerando los efectos de concentración de nutrientes y el muestreo superficial, los tenores críticos de P y K en el suelo, deben ser superiores a los propuestos en sistema convencional. La mayor variabilidad horizontal y vertical de nutrientes en SD demanda una mayor intensidad en el muestreo de suelo. El mantenimiento de elevados rendimientos del cultivo de soja requiere, por lo menos de la reposición cuantitativa de los nutrientes exportados en la cosecha, algo que no siempre es observado como una práctica usual realizada por los agricultores.

Bibliografía

- Campos B.C.** 2006. Dinâmica do carbono em sistemas de preparo e de culturas em Latossolo Vermelho distrófico típico. 2006. 165f. Tese (Doutorado) - PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria.
- Cubilla Andrada M.M.** 2005. Calibración visando recomendações de fertilización fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. 2005. 160f. Dissertação (Mestrado) - PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria.
- Fatecha D.A.** 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay.
- García F.O.** 2003. Agricultura sustentable y materia orgánica del suelo: siembra directa, rotaciones y fertilidad. In: Congreso nacional de la ciencia del suelo, 3, 2003. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: INPOFOS, (CD ROM).
- Havlin J.L., D. Kissel, L. Maddux, M. Claassen y J. Long.** 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.54, p.448-452.
- Pontelli C.B.** 2006. Caracterización da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão. 117f. Dissertação (Mestrado) - PPGEA, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria.
- Sá J.C.M.** 1993. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 96 p.
- Schindwein J.A.** 2003. Calibración de métodos de determinación de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto. 2003. 169f. Tese (Doutorado) - PPGCS, Univ. Fed. Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Wendling A.** 2005. Recomendación de nitrogenio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. 2005. 160f. Dissertação (Mestrado) - PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria. ■

Visite nuestro sitio web

www.inpofos.org

Latin America
Southern Cone
(INPOFOS-Cono Sur)



Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana

Flavio H. Gutiérrez Boem, Pablo Prystupa y Carina R. Alvarez
FAUBA, Av. San Martín 4453, C1417DSE Buenos Aires, Argentina
gutierrez@agro.uba.ar

Presentado al XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - Salta-Jujuy, 19-22 de Septiembre de 2006

Introducción

La expansión del cultivo de soja y la aparición de deficiencias nutricionales en la región pampeana, han llevado a realizar varias redes de ensayos de fertilización fosforada en este cultivo. Entre estas se encuentran las redes de Echeverría et al. (2001; 2002) y de Calviño y Redolatti (2004), cuyas áreas geográficas se superponen parcialmente. Cada una de estas redes generó un set de datos que permitió ajustar una función que describe la relación entre la respuesta y el fósforo (P) extractable en el suelo a la siembra. Las funciones ajustadas a ambos set de datos pueden ser distintas porque representan distintas zonas de producción y/o condiciones de manejo del cultivo. O puede ocurrir que las distintas redes sean simplemente muestras de una misma población y, por lo tanto, que se puedan representar adecuadamente con una sola función. Por otra parte, la comparación de los resultados de distintas redes de ensayos permite validar los resultados de cada red con un set de datos independiente. Si en distintas redes de ensayos realizadas por distintos grupos de investigadores se obtiene la misma relación respuesta-disponibilidad, aumenta la estabilidad de la relación común observada y la confianza para su uso como herramienta de diagnóstico de la fertilidad. El objetivo de esta revisión fue determinar si las respuestas del cultivo de soja a la fertilización fosforada observadas en dos redes de ensayos realizadas en la región pampeana fueron distintas.

Materiales y métodos

Se compararon los resultados de dos redes de ensayos de fertilización fosforada del cultivo de soja. La primera de ellas (Red 1) fue realizada por Echeverría et al. (2001; 2002) durante dos campañas (2000-2002) y contó con 34 sitios experimentales ubicados en el sur de Santa Fe (9), sudeste de Córdoba (3), centro norte de Buenos Aires (16), oeste de Buenos Aires (3) y sur de Buenos Aires (3). Se utilizaron los rendimientos del tratamiento testigo (sin fertilizar) y el tratamiento fertilizado con 20 kg ha⁻¹ de fósforo. La otra red (Red 2) fue realizada por Calviño y Redolatti (2004) durante cuatro campañas (1998-2003) y contó con 15 sitios experimentales en el sudeste de Buenos Aires. Para realizar la presente comparación, se utilizaron los rendimientos del tratamiento testigo y el tratamiento

fertilizado con 24 kg ha⁻¹ de P. Ambas redes reportan el nivel de fósforo extractable (P_{Bray1}) en los primeros 20 cm de suelo a la siembra del cultivo. El rendimiento relativo se calculó como el cociente entre el rendimiento del testigo y el del fertilizado de cada sitio. La respuesta se calculó como la diferencia de rendimiento entre el tratamiento fertilizado y el testigo.

Para describir la relación entre el rendimiento relativo y el P_{Bray1} se utilizó una función de tipo Mitscherlich, con la restricción de que y tienda a 100. Esta función tiene dos parámetros: c y b

$$y = 100 (1 - e^{c(x+b)}) \quad [1]$$

Para describir la relación entre respuesta y P_{Bray1} se utilizó una función de tipo linear-plateau, con la restricción de que el plateau sea igual a cero,

$$\begin{aligned} y &= a + b x & \text{Si } x < c \\ y &= 0 & \text{Si } x \geq c \end{aligned} \quad [2]$$

Cuando $x \geq c$, $y = 0 = a + b c$, por lo tanto $b = -a/c$

Reemplazando b en [2] queda,

$$\begin{aligned} y &= a + (-a/c) x & \text{Si } x < c \\ y &= 0 & \text{Si } x \geq c \end{aligned} \quad [3]$$

Esta función tiene dos parámetros: a y c .

Para establecer si las dos redes pueden combinarse y representarse con una sola función o si deben representarse con dos funciones, una para cada red, se compararon dos modelos: i) el Modelo Completo describe los resultados de las dos redes utilizando dos funciones, una para cada set de datos (y tiene cuatro parámetros, dos por función) y ii) el Modelo Combinado que describe los resultados de las dos redes con una sola función, y es una restricción del Modelo Completo, ya que tiene sólo dos parámetros. Se probó si eran diferentes mediante un test de F (Mead et al., 1993). Este test asume que los desvíos de las observaciones de cada set de datos alrededor de su función ajustada es la misma. Esta homogeneidad de varianzas entre set de datos se evaluó comparando los cuadrados medios del error de cada función mediante una prueba de F .

Resultados y discusión

En las Figuras 1 y 2 se muestra el modelo completo ajustado a los datos de ambas redes, mientras que en las Figuras 3 y 4 se muestra el modelo combinado ajustado a los datos de ambas redes.

Al pasar del Modelo Completo (cuatro parámetros, dos líneas) al Combinado (dos parámetros, una línea), se aumenta la parte de la variación de los datos no explicada por el modelo (suma de cuadrados del error del modelo, SCE) (Tabla 1).

Se puede testear si este incremento en el error es significativo o no mediante una prueba de *F*. Esta *F* es el cociente entre el cuadrado medio del aumento en el error (diferencia entre los SCE de los dos modelos/grados de libertad) y el cuadrado medio del error del modelo completo (Tabla 1).

Se observó que el aumento del error por describir ambos set de datos con el Modelo Combinado en vez del Completo es muy pequeño, y no significativo ($p > 0.05$). Por lo tanto, se puede utilizar el Modelo Combinado para describir los resultados de ambas redes conjuntamente. Este modelo indica que el cultivo alcanza el 90 y 95% del rendimiento relativo con valores de P_{Bray1} de 8.0 y 12.4 mgP kg⁻¹, respectivamente (Fig. 3). La respuesta del cultivo al agregado de fósforo es nula cuando $P_{\text{Bray1}} = 15.8$ mgP kg⁻¹ y aumenta 48.5 kg ha⁻¹ por cada mgP kg⁻¹ que baje el P_{Bray1} por debajo de ese valor.

Conclusiones

La respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosforada fue la misma en las dos redes de ensayos comparadas. Por lo tanto se puede utilizar una sola función para describirla, ajustada a los dos set de datos combinados. Esta nueva función es más estable que las obtenidas con cada una de las redes separadamente ya que está basada en un mayor número de observaciones.

Bibliografía

Calviño P.A. y M. Redolatti. 2004. Respuesta al agregado de fósforo en el cultivo de soja en el sudeste de Buenos Aires I: Elementos de diagnóstico. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 22-24 junio, Paraná, Entre Ríos, Actas en CD.

Echeverría H.E., G. Ferraris, F.H. Gutierrez Boem, F. Salvagiotti, A. Bono, H. Carta, J. Castellarin, G. Cordone, M. Diaz Zorita, G. Duarte, M. Ferrari, H. Fontanetto, C. Garlarza, N. Gonzalez, V. Gudelj, P. Vallone, E. Guevara, A. Quiroga, F. Martinez, S. Meira, R. Melchiori, F. Mousegne, J. Ostojic, O. Papparotti, H.

Pedrol, S. Rillo, H. Sainz Rozas, N. Trentino, L. Ventimiglia, H. Vivas, F. García y R. Melgar. 2001. Soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados campaña 2000-01 de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. INTA EEA Pergamino, 36p.

Echeverría H.E., G. Ferraris., G. Gerster, F.H. Gutierrez Boem, F. Salvagiotti, S. Bacigalupo, A. Bono, H. Carta, J. Castellarin, G. Cordone, G. Duarte, M. Ferrari, H. Fontanetto, C. Garlarza, N. Gonzalez, V. Gudelj, P. Vallone, E. Guevara, A. Quiroga, F. Martinez, S. Meira, R. Melchiori, E. Mieres, F. Mousegne, O. Novello, J. Ostojic, G. Papani O. Papparotti, H. Pedrol, A. Riboltella, S. Rillo, H. Sainz Rozas, H. Sanchez, N. Trentino, P. Vallone, L. Ventimiglia, H. Vivas, M. Diaz Zorita, F. García y R. Melgar. 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA campaña 2000/01 y 2001/02. INTA EEA Pergamino, 43p.

Mead R., R.N. Curnow and A.M. Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p. ■

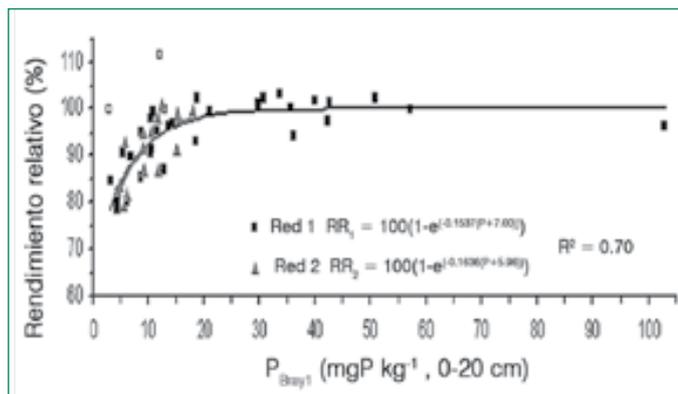


Figura 1. Rendimiento relativo de soja en función del P extractable a la siembra. Dos valores extremos de la Red 1 no fueron utilizados (cuadrados vacíos).

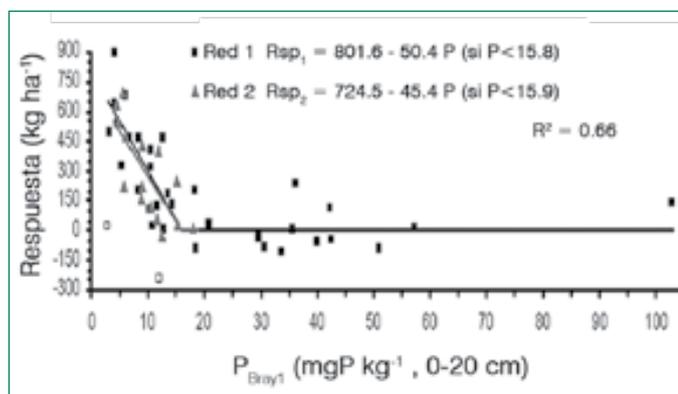


Figura 2. Respuesta a fósforo en soja, en función del P disponible a la siembra.

Tabla 1. Análisis de la variación del error entre el modelo completo y el combinado, y de la significancia de la diferencia entre los dos modelos.

	SCE	gl	n	par	CME	F	p
Rendimiento relativo vs. P_{Bray1} - Función tipo Mitscherlich							
Red 1	449.053	30	32	2			
Red 2	288.290	13	15	2			
Modelo Completo	737.343	43	47	4	17.147		
Modelo Combinado	739.431	45	47	2			
Diferencia entre modelos	2.087	2			1.043	0.0608	0.941
Respuesta vs. P_{Bray1} - Función linear-plateau							
Red 1	639941	30	32	2			
Red 2	335154	13	15	2			
Modelo Completo	975096	43	47	4	22676		
Modelo Combinado	985211	45	47	2			
Diferencia entre modelos	10115	2			5057	0.2230	0.801

SCE: Suma de cuadrados del error del modelo

Diferencia en SCE entre modelos = $SCE_{\text{combinado}} - SCE_{\text{completo}}$

$SCE_{\text{completo}} = SCE_{\text{red1}} + SCE_{\text{red2}}$

gl: grados de libertad del SCE ($gl = n - \text{par}$)

n: número de casos en el modelo

par: número de parámetros en el modelo

CME: Cuadrado medio del error del modelo completo, y de la diferencia entre modelos

$CME = SCE / gl$

F: cociente entre $CME_{\text{diferencia}}$ y CME_{completo}

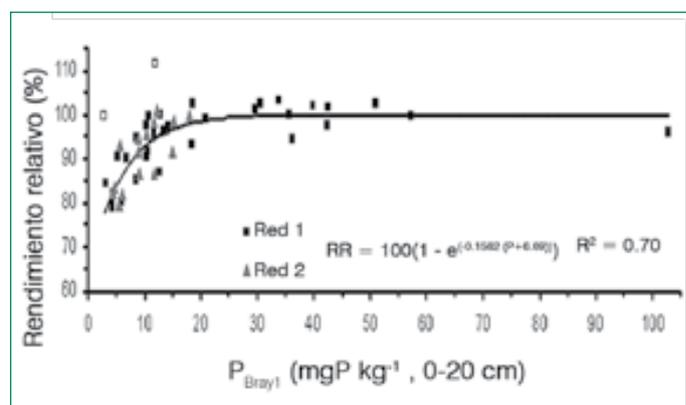


Figura 3. Rendimiento relativo en función del P disponible a la siembra. Modelo Combinado.

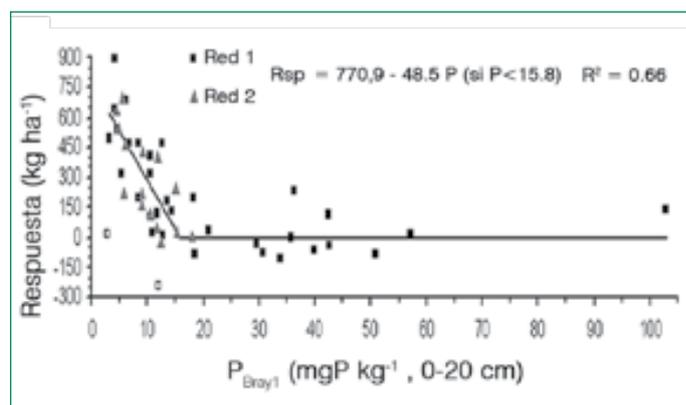


Figura 4. Respuesta a fósforo en soja, en función del P disponible a la siembra. Modelo Combinado.

UNA OPORTUNIDAD PARA ACTUALIZARSE

INPOFOS Cono Sur ofrece la siguiente combinación de publicaciones - Precio \$70.



Jornada Fertilidad 2000



Jornada Fertilidad 2001



Jornada Fertilidad 2002



Simposio Fertilidad 2003



Simposio Fertilidad 2004



Simposio Fertilidad 2005

Maíz: Efecto de la fertilización con fósforo y azufre en la zona central de Santa Fé

Hugo Fontanetto¹, Oscar Keller¹, Carlos Negro² y Leandro Belotti²

¹ INTA EEA Rafaela, ²Asesor Privado

hfontanetto@rafaela.inta.gov.ar

Introducción

Los suelos del departamento San Jerónimo bajo agricultura continua abarcan aproximadamente el 70% de su superficie. Las respuestas a nitrógeno (N) y al fósforo (P) son consistentes en las últimas campañas, evidenciando una alta pérdida de la fertilidad química de los suelos. También comenzaron a registrarse sostenidas respuestas al agregado de azufre (S) en trigo y principalmente en soja (Albrecht *et al.*, 2000 y 2002; Fontanetto *et al.*, 2000a, 2000b, 2003 y 2004; Keller y Fontanetto, 2000 y 2001; Vivas *et al.*, 2001a, 2001b y 2001c). En los sistemas productivos, el N y el P son de uso generalizado y experiencias realizadas por INTA Rafaela detectaron que el S también se torna necesario para optimizar la producción de maíz. La importancia del S es secundaria respecto a N y a P, por lo que su efectividad se vuelve significativa cuando se satisfacen las necesidades de estos últimos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la fertilización con dosis crecientes de S a tres niveles de P sobre la producción de grano del maíz, luego de una fertilización básica con N.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el año 2003 en el área de San Carlos sobre un suelo serie Esperanza con más de 35 años de agricultura continua. El análisis químico inicial del suelo (0-20 cm) se detalla en la Tabla I.

El ensayo se realizó en la zona rural de San Carlos (Santa Fé). El antecesor fue un cultivo de soja de segunda. El suelo fue un Argiudol típico y el control de malezas se realizó con una aplicación presiembra de Glifosato (1,70 kg p.a. ha⁻¹) más Lightning (116 g ha⁻¹). El híbrido utilizado fue Sirocco, sembrado el 28/08/2003 a 0,52 m entre surcos y con una densidad de 70.500 plantas/ha.

La fertilización básica con N fue de 110 kg/ha y sobre la misma, los tratamientos fueron combinaciones de P (0, 20 y 40 kg/ha) y de S (0, 12, 24, 36 y 48 kg/ha), aplicadas al momento de la siembra. El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela principal correspondió a las dosis de P y la subparcelas a las de

S. La unidad experimental fue de 3 m de ancho x 10 m de largo. El N utilizado fue aplicado bajo la forma de nitrato de amonio (32 % de N), el P como superfosfato triple de calcio (20% de P) y el S como sulfato de amonio (21 % de N y 24% de S).

La cosecha de granos se realizó el 06/02/2004, sobre los 2 surcos centrales de cada parcela y sobre una superficie de cosecha de 10 m² (2 surcos apareados de 7 m de largo c/u).

Los rendimientos de los cultivos fueron analizados mediante el análisis de la variancia con el procedimiento GLM de SAS, estableciendo como significativo el nivel del 5%. La comparación de medias se realizó con el test LSD a igual significancia (SAS, 1986).

Resultados y Discusión

Las precipitaciones registradas en el sitio del ensayo se detallan en la Figura 1.

Las condiciones de lluvias fueron muy favorables durante la primer etapa del cultivo (siembra a R2), a excepción del período comprendido entre el 20 de enero hasta el 3 de febrero de 2003. La falta de lluvias en ese momento del ciclo afectó la fase final de llenado de granos (R5-R6) y el resultado fue que el peso de 1.000 granos fue menor (en un 10% aproximadamente) al de la campaña precedente.

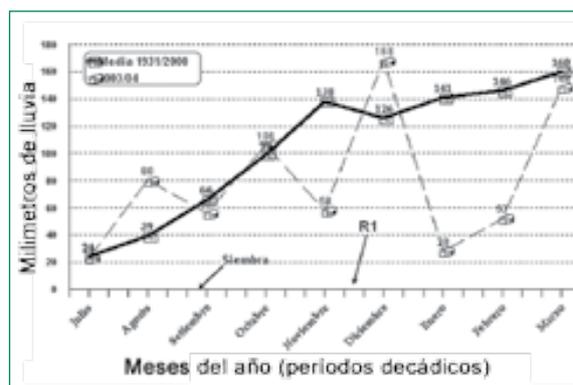


Figura 1. Lluvias durante el ciclo del maíz. San Carlos, campaña 2003/04.

Tabla I. Características químicas del suelo a la siembra del maíz. Campaña 2003/04.

M. O.	Nt	N-NO ₃ ⁻	P Ext.	S-SO ₄	pH	Ca	Mg	K	Na
	%		ppm				meq/100 g		
2,81	0,128	12,6	24,2	6,3	5,9	9,78	1,62	1,18	1,09

Los efectos separados del P y S sobre los rendimientos del maíz se pueden ver en la Figura 2 y todos los efectos combinados en la Figura 3.

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos y fueron importantes los efectos debidos al P ($Pr>F=0,0001$), las respuestas al S ($Pr>F=0,0001$), pero no a la interacción P x S ($Pr>F=0,08$). La influencia positiva del S fue más notable con las dosis P20 y P40 que para el Testigo (P0). Los aumentos de rendimientos de los niveles P40-S0, P40-S12, P40-S24, P40-S36 y P40-S48, respecto de P0-S0 fueron de 620, 985, 1.310, 1.290 y 1.325 kg ha⁻¹, respectivamente.

Conclusiones

- La fertilización con P y S, luego de una aplicación básica de N, produjo significativos aumentos de los rendimientos del maíz y de efecto similar.
- Las máximas respuestas se dieron con las dosis altas de P y las dosis medias de S.
- Producciones altas y sustentables de maíz necesitan como mínimo dosis de P de 20 kg ha⁻¹ y de S de 12 kg ha⁻¹.

Bibliografía

Albrecht R.E., H.S. Vivas, H. Fontanetto y J.L. Hotián. 2000. Residualidad del fósforo y del azufre en Soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999-2000. En. Información Técnica de Soja y Maíz de Segunda. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 93.

Albrecht R.E., H.S. Vivas, H. Fontanetto y J.L. Hotián. 2002. Franjas de evaluación exploratorias de fertilización en trigo y su residualidad en soja, en dos secuencias de cultivo. Bernardo de Irigoyen. Santa Fe. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de cultivos de verano. Campaña 2002. Publicación Miscelánea N° 97, N° 10: 1-4.

Fontanetto H., O. Keller, R. Inwinkelried, N. Citroni y F. García. 2000a. Phosphorus and sulphur Fertilization of corn in the Northern Pampas (Argentina). Better Crops International. Vol. 14 (1): 3-5. May 2000.

Fontanetto H., H. Vivas, O. Keller, J. Alesso, J. Borsarelli y C. Grosso. 2000b. Franjas exploratorias de fertilización en trigo. Campaña 1999/2000. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Macrorregión Pampeana Norte. Publicación Miscelánea N° 91, N° 5: 1-4.

Fontanetto H., H. Vivas, R. Albrecht y J. Hotian. 2003. La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe: Efecto sobre los rendimientos de granos. INPOFOS Cono Sur, Simposio "El fósforo en la Agricultura Argentina", Rosario (Arg.), 91-93.

Fontanetto H., M. Diaz-Zorita y H. Vivas. 2004. Efecto de la Inoculación y Fertilización con fósforo y azufre sobre la nodulación y los rendimientos de soja. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, 22 al 25 de junio de 2004. Resúmenes: 143.

Keller O. y H. Fontanetto. 2000. Fertilización en soja. Experiencias con azufre en el centro de Santa Fe. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea N° 93, N° 5: 1-3.

Keller O. y H. Fontanetto. 2001. Fertilización nitrogenada y azufrada en trigo. Resultados preliminares de fuentes, dosis y momentos de aplicación. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea N° 94, N° 14: 1-4.

SAS Institute. 1986. SAS/STAT Guide for personal computer. Version 6.04. SAS Institute, Cary, NC.

Vivas H.S., H. Fontanetto, R. Albrecht y J.L. Hotián. 2001a. Fertilización con fósforo y azufre para la producción de trigo en el departamento San Jerónimo. 2000/01. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 94.

Vivas H.S., H. Fontanetto, R. Albrecht, C. Quintero, G. Boschetti. 2001b. Fósforo y Azufre en la Producción de Trigo en un Suelo del centro de Santa Fe. V Congreso Nacional de Trigo, III Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño invernal. Resúmenes.

Vivas H.S., H. Fontanetto, R. Albrecht y J.L. Hotián. 2001c. Fertilización con Fósforo y Azufre para la Producción de Trigo en el departamento San Jerónimo. 2000/01. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea N°94, N°12: 1-6.

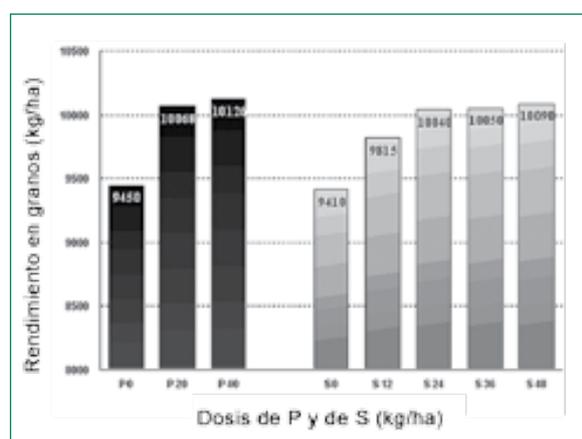


Figura 2. Producción de maíz en función de los niveles de P y de S con una fertilización básica de N. San Carlos (Santa Fe), campaña 2003/04.

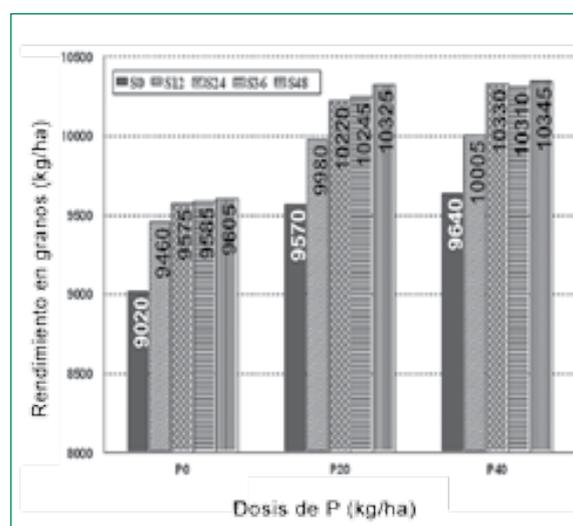


Figura 3. Producción de maíz en función de los niveles de P y de S (todos los niveles de cada nutriente) con una fertilización básica de N. San Carlos (Santa Fe), campaña 2003/04.

Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos Fitotóxicos

Ignacio A. Ciampitti¹, Federico G. Micucci¹, Hugo Fontanetto² y Fernando O. García¹

¹INPOFOS Cono Sur, ²EAA INTA Rafaela
iciampitti@inpofos.org

Introducción

La práctica de fertilización involucra la determinación de la dosis de fertilizantes, el momento y la tecnología de aplicación. Precisamente, en este último factor mencionado, se debe destacar la ubicación del fertilizante con respecto a la semilla, cuando la fertilización es realizada en el momento de siembra de los cultivos. En la actualidad, muchas sembradoras están equipadas como para aplicar el fertilizante fuera de la línea de siembra, pero no todas las sembradoras presentes en actividad ofrecen esta posibilidad, sobretodo maquinarias utilizadas para la siembra de grano fino y equipos que quedaron obsoletos debido al transcurso del tiempo. En algunas situaciones existe la necesidad de aplicar todo el fertilizante a la siembra de los cultivos. En esos casos, las aplicaciones de fertilizantes en la línea de siembra pueden ser más efectivas y generar una mayor respuesta respecto de las aplicaciones al voleo (Randall y Hoeft, 1988).

El poder determinar la correcta ubicación del fertilizante es tan importante como realizar un correcto diagnóstico mediante análisis de suelo, para recomendar la dosis de producto a aplicar. En la actualidad existen numerosos métodos de ubicación del fertilizante. Esta variable interviene en la maximización de la eficiencia del uso del fertilizante, y su incorrecto manejo involucra efectos negativos desde una reducción en la tasa de germinación y emergencia de las semillas hasta la pérdida de plántulas (Havlin et al., 2005).

Las aplicaciones de fertilizantes a la siembra pueden realizarse en banda incorporada o con la semilla. Estas últimas aplicaciones junto con la semilla incluyen a los fertilizantes de tipo “arrancadores” o **pop-up**, cuyo objetivo es maximizar en etapas bien tempranas, la germinación y el crecimiento inicial de los cultivos, especialmente en suelos fríos y/o húmedos. Los arrancadores pueden ubicarse cerca de la semilla, y usualmente se aplican dosis bajas para evitar perjuicios. Si bien los efectos negativos se manifiestan en una disminución del número de plantas emergidas, en algunas situaciones estos efectos no se traducen en una merma del rendimiento, debido a una compensación del cultivo durante su desarrollo y crecimiento. La capacidad de compensar la disminución del stand de plántulas varía con los cultivos a implantar, el trigo con un mayor número de macollos, un mayor número de ramificaciones en soja y, en menor medida, un aumento del tamaño de hojas y capítulos en girasol.

Este artículo tiene por objetivo analizar la información proveniente de ensayos de diferentes sitios e instituciones para establecer criterios de dosis máxima de fertilización de acuerdo al tipo de cultivo y fertilizante utilizado, cuando el mismo se ubica junto con la semilla. Se debe tener en cuenta que en el análisis de la información se evalúa el efecto fitotóxico de la fertilización expresándolo en dosis de productos fertilizantes y no de nutrientes en forma de elementos. La concentración elemental de los fertilizantes es una información básica que se debe manejar para realizar un uso eficiente de los nutrientes.

¿Cuáles son los efectos fitotóxicos que generan los fertilizantes?

Los dos factores más importantes que inciden en el proceso de interferencia del fertilizante con la emergencia y desarrollo de las plántulas son:

- i) El efecto salino que deriva en un stress hídrico debido a la competencia por el agua del suelo entre el fertilizante y la semilla. En situaciones de buena provisión hídrica este efecto tiene menor relevancia.
- ii) En el caso de los fertilizantes amoniacales, la liberación de amoníaco (NH_3) a niveles tóxicos. Altos niveles de amoníaco disipan los gradientes de protones en las membranas celulares, alterando el metabolismo general de la planta.

Con respecto al efecto salino, el perjuicio del fertilizante puede deberse a una elevada concentración de sales en contacto con la semilla o las raíces durante la germinación. Esto puede provocar daños a las plántulas, produciéndose retrasos o fallos en la emergencia del cultivo (Dowling, 1996). El fertilizante como sal se disocia al entrar en contacto con la solución del suelo. Todas las sales solubles, producen una disminución del potencial osmótico y, por consiguiente del potencial agua del suelo. Esto produce una restricción en la disponibilidad de agua para la plántula, que genera una deshidratación de sus tejidos (plasmólisis) y consecuente muerte. La capacidad para disminuir el potencial osmótico difiere entre los fertilizantes y es cuantificado mediante el “índice salino”. El índice salino indica el incremento en la presión osmótica producido por un peso igual de fertilizante relativo al nitrato de sodio (Mortvedt et al., 1999). Los fertilizantes con menor índice salino producen menores daños a las plántulas durante la germinación. En la Tabla I se encuentran caracterizados los principales fertilizantes en relación al índice salino. En general, las sales de N y K tienen un mayor índice salino que las de P.

La liberación de NH_3 se produce cuando se aplican fertilizantes amoniacales de reacción alcalina como es el caso de la urea y FDA. La urea y el FDA incrementan el pH en la zona de reacción con el suelo a valores de hasta 9.5 y 8.5, respectivamente. A estos niveles de pH, el NH_4 del fertilizante pasa a NH_3 . El NH_3 tiene efectos directos sobre las membranas celulares y una alta afinidad por el agua, lo que conlleva a una desecación de las semillas y/o raíces seminales de las plántulas.

Factores reguladores de los efectos fitotóxicos

Los principales factores que determinan la cantidad máxima de fertilizante a aplicar junto a la semilla son:

- Dosis y tipo de fertilizantes
- Tolerancia del cultivo a implantar
- Humedad del suelo al momento de la siembra
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo
- Distancia entre surcos

Respecto del *tipo de fertilizante*, entre los nitrogenados, la urea presenta el mayor nivel de N-amoniaco, seguido por el UAN, y el sulfato de amonio, calificado este último como fertilizante azufrado. En el caso de la urea, su hidrólisis rápida produce gran cantidad de amoniaco, que al liberarse podría resultar tóxico para las semillas que están germinando. Esto ocurre rápidamente cuando la temperatura del suelo está por encima de 10°C, presentando este proceso una velocidad máxima a 25°C. Esta reacción química es catalizada por la enzima ureasa que está presente en todos los suelos, y que se incrementa a medida que aumenta la materia orgánica (MO). El nitrato de amonio hace menos daño a la semilla que la urea porque, a pesar que tiene un índice salino más alto (Tabla 1), presenta una muy baja toxicidad amoniaco.

Con respecto a la *tolerancia de la especie* a sembrar, algunas especies son más susceptibles a la presencia del NH₃ durante la germinación (Tabla 2). Más precisamente, la sensibilidad o tolerancia de las especies al NH₃, puede variar dependiendo de la etapa de crecimiento, o bien durante la etapa de germinación, o el crecimiento de la radícula o coleoptile (Dowling, 1993). En general, la gran mayoría de los cultivos tienen menor tolerancia durante la germinación, aumentando en los posteriores estadios, crecimiento radicular y coleoptile (Woodstock y Tsao, 1986). Una excepción es el trigo, con menor tolerancia al NH₃ en la etapa de crecimiento de la radícula (Tabla 2).

La variabilidad edáfica, se basa en parámetros como la *humedad del suelo* a la siembra y la *Capacidad de Intercambio Catiónico* (CIC). La humedad influye porque el amoniaco tiene gran afinidad por el agua, si hay agua queda en solución e inmediatamente pasa a amonio, tomando un protón del medio acuoso. Asimismo, los mayores contenidos de humedad edáfica reducen el efecto salino al diluir la concentración de sales del fertilizante en la solución del suelo. En cuanto a la CIC, por lo general cuanto mayor es la misma, mayor será la dosis que se puede aplicar. Ello se debe a que los cationes se adsorben a la matriz y no quedan en la solución del suelo. En la medida que se incrementa el porcentaje de arcilla, disminuye la conductividad de las sales, siendo los suelos de texturas gruesas (arenosos) más susceptibles a este tipo de perjuicios. Por otro lado, los suelos arcillosos tienen mayor

Tabla 1. Índices Salinos de los principales fertilizantes. Fuente: Mortvedt et al. (1999).

Fertilizante	Índice salino
Fertilizantes nitrogenados	
Nitrato de Amonio	105
Urea	75
UAN	74
Fertilizantes fosforados	
Fosfato diamónico	34
Fosfato monoamónico	30
Superfosfato triple	10
Fertilizantes potásicos	
Cloruro de potasio	116
Nitrato de potasio	74
Sulfato de potasio	46
Fertilizantes azufrados	
Sulfato de Magnesio	116
Sulfato de Amonio	69

retención de humedad, reduciéndose el efecto perjudicial del amoniaco (NH₃).

En cuanto a *distanciamiento entre hileras* de siembra, la dosis de fertilizante que puede ser aplicada en forma segura en el surco de siembra decrece al incrementarse el espaciamiento entre surcos y, por lo tanto, decrece el índice de utilización de la cama de siembra (IUCS) (Roberts y Harapiak, 1997).

$$IUCS = \frac{\text{Ancho del surco de siembra} \times 100}{\text{Espaciamiento entre hileras}}$$

Como ejemplo, en la Tabla 3, partiendo de una dosis máxima de 25 kg de N ha⁻¹ en trigo, o sea con un distanciamiento de 0.18 m, se ve como en la medida que aumenta el distanciamiento, necesariamente se debe reducir la dosis máxima de N y por ende de fertilizante.

Para suelos de diferentes texturas, ubicados en Saskatchewan, Canadá, se hallaron diferentes dosis máximas toleradas de N en trigo, teniendo en cuenta dos distanciamientos entre hileras (Tabla 4). Se observa que tanto en texturas con mayor proporción de arcilla, como a menor distanciamiento, la dosis admisible de N junto a la semilla aumenta (Roberts y Harapiak, 1997).

Análisis de la Información

En base a ensayos realizados por el INTA y otras instituciones correspondientes a diferentes cultivos, campañas y localidades del país, se compuso una base de 438 datos. De esta base se seleccionaron los datos de aplicaciones de N, P y/o S junto con la semilla, de cultivos bajo secano, resultando en, 70, 60, 16, 18, 31 y 7 datos útiles, del total de información para trigo, soja, maíz, girasol, alfalfa y cebada, respectivamente.

Para cada cultivo se relacionó la variación en la emergencia en porcentaje (Δ Emergencia en %) con la dosis de nutriente aplicada (kg ha⁻¹). La Δ de emergencia, fue expresada en porcentaje de número de plántulas y resultó de la siguiente ecuación [1]:

$$\Delta \text{Emergencia en \%} = \frac{(PF - PT)}{PT} * 100$$

PF: Plántulas emergidas del tratamiento fertilizado
 PT: Plántulas emergidas del Testigo

Las Δ Emergencia se relacionaron con las dosis de fertilizantes aplicadas, ajustándose a funciones lineales cuando las mismas fueron significativas. Cuando se dispuso de más de una condición para determinado cultivo (tipo de

Tabla 2. Tolerancia de las especies a la concentración de amoniaco durante la germinación y el crecimiento de la radícula. Fuente: Dowling (1993).

Especie	Germinación	Radícula
garbanzo	alta tolerancia	alta tolerancia
cebada	tolerancia media	tolerancia media
trigo	tolerancia media	tolerancia baja
maíz	tolerancia media	tolerancia media
girasol	tolerancia media	alta tolerancia
sorgo	tolerancia media	alta tolerancia
algodón	tolerancia media	alta tolerancia
canola	tolerancia baja	tolerancia media
alpiste	tolerancia baja	tolerancia media

fertilizante, tipo y humedad de suelo), se determinaron las diferencias entre las funciones lineales mediante un test de *F* (Mead et al., 1993). Este test asume que los desvíos de las observaciones de cada set de datos alrededor de su función ajustada es la misma. Esta homogeneidad de varianzas entre set de datos se evaluó comparando los cuadrados medios del error de cada función mediante una prueba de *F*. En definitiva, este test indica si las funciones lineales pueden combinarse y representarse con una sola función o si las diferencias entre tratamientos son significativas.

Fitotoxicidad por cultivo

Cultivo de Trigo

En el cultivo de trigo, la fitotoxicidad de los fertilizantes aplicados a la siembra junto a la semilla varía teniendo en cuenta algunos de los factores mencionados en la introducción. Un factor de importancia es la textura de los suelos, propiedad que influye en su CIC y capacidad de retención de humedad.

En la Figura 1a, en suelos Argiudoles típicos, se evaluó como fuente nitrogenada la urea (U), presentando diferentes combinaciones: urea sola, combinada con superfosfato triple (SFT) y con fosfato monoamónico (FMA). En el caso de las últimas dos combinaciones, las dosis de los fertilizantes SFT y FMA fueron constantes, correspondiendo 33 kg ha⁻¹ SFT y 55 kg ha⁻¹ FMA. Se debe considerar que el tratamiento con fertilizante FMA adiciona de forma extra, 5-6 kg ha⁻¹ de N elemento y en ambos casos, FMA y SFT, incrementan adicionalmente los efectos de salinidad al aumentar la dosis de fertilizante aplicado junto con la semilla.

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre las pendientes de estos tres tratamientos ($P=0.1133$). Sintetizando, las tres combinaciones presentan el mismo efecto de fitotoxicidad sobre el número de plántulas emergidas, teniendo en consideración las prácticas de manejo utilizadas, utilizándose sistema de siembra directa, con condiciones de humedad moderadas (rango 17-27% HA) al momento de la siembra y un distanciamiento entre hileras de 0.175 metros. La función lineal indica que dosis de Urea de 19 y 40 kg ha⁻¹ resultan en pérdidas de 10 y 25% de plántulas a emergencia, respectivamente, cuando la fertilización se realiza junto a la semilla.

Tabla 3. Ejemplo de máxima dosis de N en trigo según el distanciamiento entre hileras y la cantidad de N amoniacal de los fertilizantes. Fuente: Roberts y Johnston (2005).

D (m)	L (m)	N	Urea	NA	FDA	FMA
			(kg/ha)			
0,18	58823	25	54	147	139	227
0,35	28571	12	26	71	67	110
0,45	22222	9	21	56	52	86
0,50	20000	9	18	50	47	77
0,55	18182	8	17	45	43	70
0,55	16667	7	15	42	39	64

D: Distancia entre surcos en m.

L: Largo para obtener 1 ha en m.

N: Cantidad tolerada de nitrógeno amoniacal en kg/ha

NA: Nitrato de Amonio (17% de N amoniacal)

FDA: Fosfato Diamónico.

FMA: Fosfato Monamónico.

En la Figura 1b, el ensayo se realizó en un complejo de suelos Haplustoles/Argiustoles, y la única fuente utilizada fue la urea. Los datos se analizaron para dos poblaciones diferentes debido a variaciones que presentaban de distanciamiento entre hileras (DH) y humedad actual (HA) al momento de siembra.

Se observa como varía el grado de fitotoxicidad con el contenido hídrico edáfico y la DH. En el caso del suelo seco, dosis crecientes de N en forma de urea incrementan la pérdida de plántulas en mayor medida con respecto a la situación de suelo húmedo a la siembra. Las pérdidas en este caso para dosis de 60 kg ha⁻¹ de U (27.6 kg ha⁻¹ de N elemento) podrían variar dentro de un rango de 23 a 42% en el N° plantas por metro cuadrado, dependiendo de las condiciones de suelo húmedo o seco y de el DH de 17 o 25 cm, respectivamente. Las pendientes de pérdidas de plántulas no presentan diferencias significativas en forma estadística ($P=0.9165$), y la única divergencia entre las funciones se deben exclusivamente a sus correspondientes "ordenadas al origen". Esto significa que a dosis bajas de fertilizante, el efecto desfavorable de baja humedad al momento de siembra y mayores DH, se incrementa.

En las Figura 1 a y b, en forma general, se puede observar el efecto de la *textura*, en suelos con mayor proporción de clases texturales gruesas, disminuye la CIC y su capacidad de retención hídrica, situación que se ve agravada por una tendencia decreciente en la MO del suelo. Teniendo en cuenta estos factores, se puede observar que a dosis bajas, el efecto de toxicidad es mayor en suelos Haplustoles (Fig 1b) que en Argiudoles típicos (Fig 1a).

En forma general, se puede observar que dosis superiores a 50 kg ha⁻¹ de Urea, producirían efectos fitotóxicos sobre las semillas cuando la fertilización se realiza junto a las mismas, con pérdidas de 30% y de 20 a 40% de plántulas en suelos Argiudoles y en complejos de Haplustoles/Argiustoles, respectivamente. Sin embargo, hay que tener en consideración que independientemente de la fuente, los máximos valores de fitotoxicidad se correspondieron con valores de humedad a la siembra bajos, lo que demuestra la importancia del contenido hídrico actual del suelo al momento de la fertilización, en cuanto al efecto del N-amoniacal y su relación con la toxicidad provocada a la semilla.

En el sudeste de Córdoba, Gudelj et al. (2001), observaron que la urea fue la fuente que mayor fitotoxicidad produjo, aumentando la mortandad con dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de N elemento o sea 54 kg ha⁻¹ de urea. Otros autores encontraron que para prevenir la fitotoxicidad, es recomendable agregar no más de 30 kg ha⁻¹ de N (65 kg ha⁻¹ de urea o 167 kg ha⁻¹ de FDA) en suelos con mayor contenido de MO y texturas medias, mientras que en suelos de textura gruesa y menor contenido de MO no se debería superar los 15 kg ha⁻¹ de N (26 a 33 kg ha⁻¹ de urea o 67 a 83 kg ha⁻¹ de FDA). Estas son dosis orientativas, e indican que la dosis límite no puede generalizarse y que la misma aumenta con el contenido de humedad del suelo, arcilla y

Tabla 4. Dosis máximas posibles de nitrógeno (kg N elemento ha⁻¹) en trigo en diferentes texturas a dos distanciamientos (adaptado de Roberts y Harapiak, 1997).

Textura	DEH=22.8 cm	DEH=15.2 cm
Franco Arenosa	15	20
Franca	25	30
Arcillosa	30	35

DEH: Distancia entre hileras.

materia orgánica, disminuyendo a su vez cuando aumenta la distancia entre hileras (Ron y Loewy, 2000).

Con respecto a otros fertilizantes, los efectos de FDA serían similares a los de la U en cuanto a los niveles críticos de N, ya que el NH_4 del FDA puede generar NH_3 por la reacción alcalina de este fertilizante en el suelo (pH 8-8.5). Los efectos de superfosfatos y FMA son menores ya que no producen NH_3 , por lo tanto sólo generan efecto salino.

Cultivo de Soja

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

Analizando el riesgo de fitotoxicidad de los fertilizantes fosforados en soja, cuando son aplicados junto a la semilla, se presentan resultados con cuatro fuentes de P: fosfato diamónico (FDA), fosfato monoamónico (FMA), superfosfato triple (SFT) y superfosfato simple (SFS) en suelos Argiudoles típicos con textura franco limosa (Fig 2a). Las variables que se controlaron fueron el distanciamiento entre hileras (0.70 m) y la humedad al momento de siembra del cultivo (21% HA).

La fuente que presentó una tendencia superior en la disminución del número de plantas fue el FDA, seguido por el SFT, FMA y, por último, el SFS. El análisis estadístico indica,

que no existen diferencias de pendientes entre las fuentes FDA, SFT (46% de P_2O_5) y FMA ($P=0.911$); sin embargo el SFS difirió con respecto al resto de los fertilizantes utilizados. En resumen, el SFS (21% de P_2O_5) tiene un efecto menor en la expresión de la fitotoxicidad. La explicación del efecto del FDA, SFT y FMA en la variación porcentual de la emergencia de las plántulas de soja, se sintetiza en una única función de respuesta (Fig 2a).

En la Figura 2b, las mismas fuentes que en el caso anterior se someten a este análisis, en suelos clasificados como Hapludoles enticos que presentan una textura arenosa franca. Las variables que se controlaron en estos ensayos, fueron el distanciamiento entre hileras (0.52 m) y la humedad al momento de siembra del cultivo (14% HA). En este caso, se observa una tendencia superior en disminución del número de plántulas para la fuente SFT, seguida por FDA, FMA y, por último, el SFS. Estas tendencias no fueron significativamente diferentes ($P=0.345$), lo que indica que mediante una ecuación lineal sencilla, con una única pendiente y ordenada al origen, se explica la variación porcentual en la emergencia del cultivo de soja.

Analizando las Figuras 2 a y b, en forma general se puede afirmar que dosis de 50 kg ha^{-1} de FMA, FDA o SFT producen una disminución porcentual de plántulas a emergencia del cultivo, que varía dentro de un rango de 29-46%, según

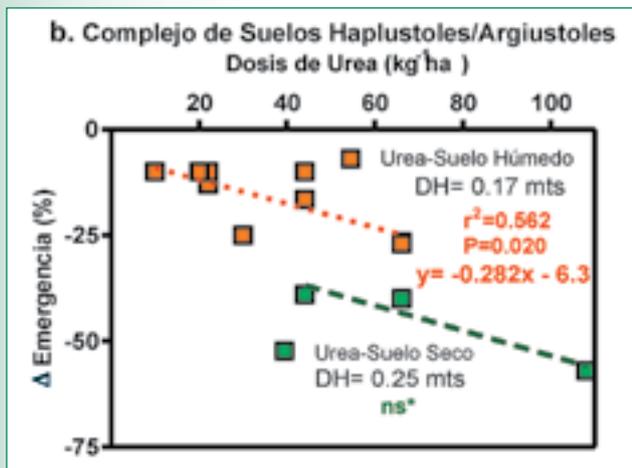
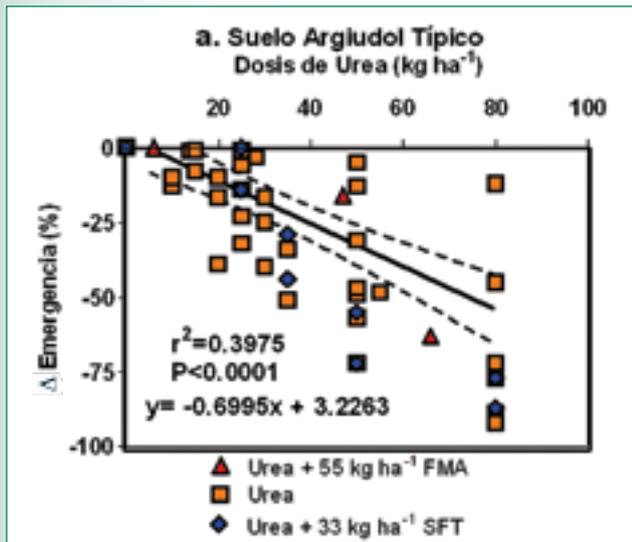


Figura 1 a y b. Fitotoxicidad de la urea en el cultivo de trigo dependiendo de los tipos y condición hídrica de suelos y con la combinación de otros tipos de fertilizantes. Elaborado con datos de Baumer et al. (1995/96), Gudelj et al. (2001), Loewy (2000a) y H. Fontanetto (no publicado).

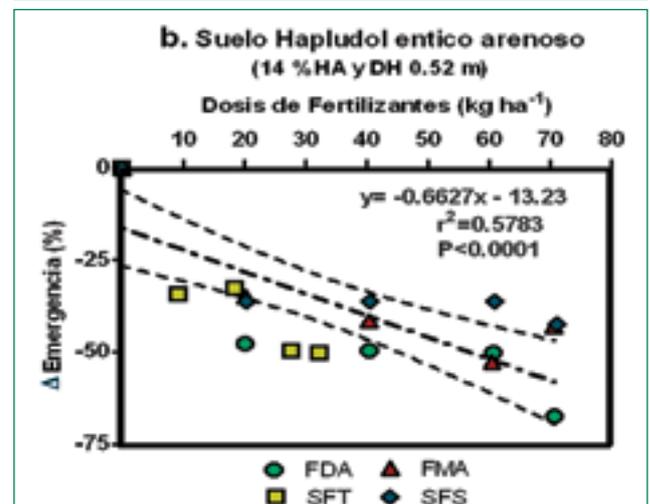
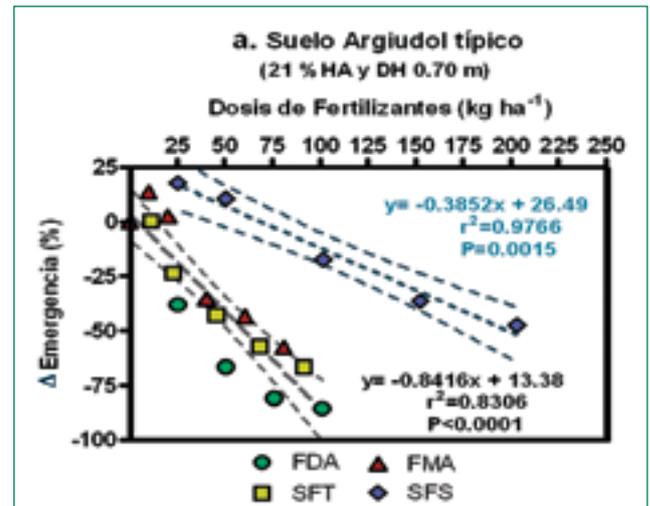


Figura 2a y b. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de P fertilizante en el cultivo de soja para suelos que presentan diferencias en su clase textural. Elaborado con datos de Barraco y Díaz-Zorita (2002), Díaz-Zorita y Duarte (2005), Ferraris et al. (2004), Ventimiglia y Carta (2005) y Vivas y Seffino (1998).

corresponda a suelos Argiudoles (textura arcillo limosa) o Hapludoles (textura arenosa franco), respectivamente. Este rango de variación disminuye a dosis de fertilización crecientes, para 75 kg ha⁻¹ de fertilizante las pérdidas de plántulas a emergencia del cultivo de soja son de un rango de 50-63%, para suelos Argiudoles (textura arcillo limosa) o Hapludoles (textura arenosa franco), respectivamente, destacándose que el menor distanciamiento entre hileras en suelos de texturas gruesas, permite tolerar dosis críticas mayores junto a la semilla.

En síntesis, en la Figura 3 se compilan los datos de los dos tipos de suelos y se relaciona la respuesta únicamente a dos tipos de funciones lineales, la respuesta I se asocia a tres tipos de fertilizantes, FDA, SFT y FMA, y la respuesta II, al SFS. Se podría afirmar que dosis de FDA, FMA o SFT superiores a 20 kg ha⁻¹, producirían algún efecto fitotóxico sobre las semillas de soja, cuando la fertilización se realiza junto a las mismas, sin tener en cuenta el efecto de compensación del cultivo a través del proceso de desarrollo y crecimiento de ramificación. Cuando se comparan los efectos de SFS con los otros fertilizantes fosfatados, debe recordarse que el SFS tiene una concentración de 8-9% P, mientras que el FMA, FDA y SFT varían de 20 a 22% de P.

Vivas y Seffino (1998), llevaron a cabo una experiencia en el Departamento Las Colonias-Santa Fe, en un suelo Argiudol típico con laboreo convencional, y con un distanciamiento entre hileras de 0.7 metros. Se observó una disminución del 24, 43, 57 y 67 % para las dosis de 25, 50, 75 y 100 kg ha⁻¹ de SFT, respectivamente respecto del testigo. El resultado fue atribuido al efecto salino del superfosfato y por el bajo

pH generado en los primeros días en que se disuelven los gránulos del fertilizante. El fosfato diamónico tuvo un efecto tóxico más acentuado que el superfosfato triple y el número de plantas resultante para las dosis de 25, 50, 75 y 100 kg ha⁻¹, disminuyó en 38, 67, 81 y 86 %, respectivamente. En este caso, el efecto tóxico se lo debemos atribuir al NH₃ liberado y al aumento del pH resultante de su liberación.

Fitotoxicidad de Fuentes Azufradas (S)

En la Figura 4, se observan los datos de una serie de ensayos realizados en un suelo clasificado como Argiudol típico que presenta una textura franco limosa, para tres fuentes de azufre: yeso (sulfato de calcio-18% S elemento), kieserita (Kie-20% S elemento) y sulfato de amonio (SA-48% S elemento). La fuente yeso no presentó una relación significativa, por lo que la respuesta es variable; pero presenta una tendencia de disminución muy leve del número de plantas a medida que se incrementan las dosis de S como yeso. En el caso del SA, se observa que a dosis bajas, genera el impacto de mayor importancia, efecto que no es tan importante con la fuente kieserita. Para la fuente SA, el efecto fitotóxico se mantiene en un aumento constante, dosis superiores a 46 kg ha⁻¹ de SA (11.04 kg ha⁻¹ de S elemento) provocan una reducción de un 50% en la variación del número de plántulas. Con la fuente Kieserita se debería agregar 110.4 kg ha⁻¹, para adicionar un cantidad equivalente de S elemento (22.08 kg ha⁻¹ de S elemento), esto provocaría una disminución en la

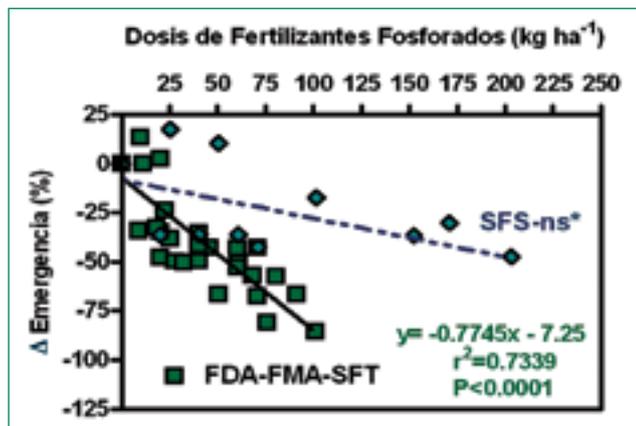


Figura 3. Fitotoxicidad de aplicaciones de P junto a la semilla, en forma general para el cultivo de Soja, independientemente de la textura de los suelos.

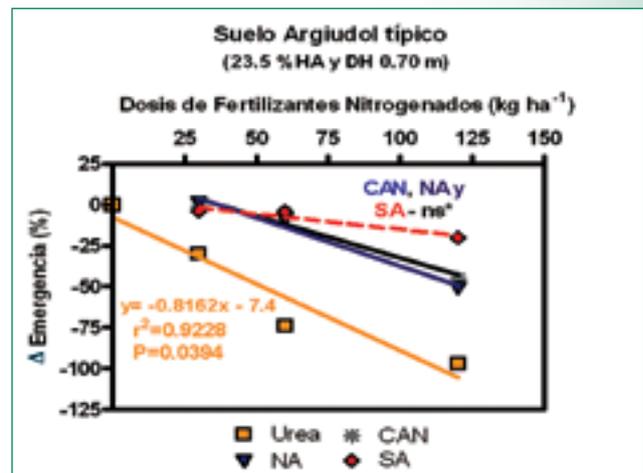


Figura 5. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de N fertilizante en el cultivo de Maíz. NS*= No Significativo para las distintas fuentes. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

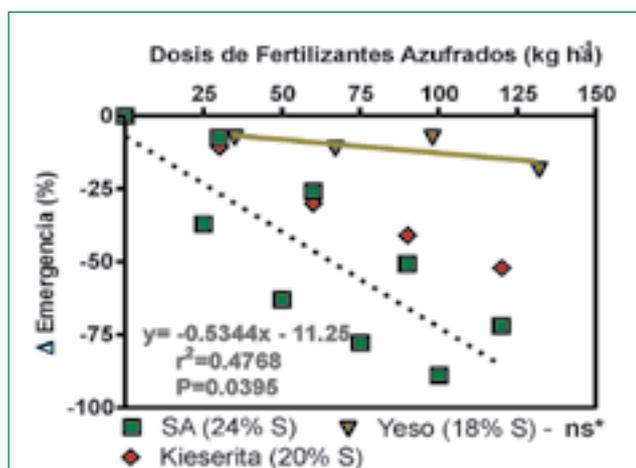


Figura 4. Fitotoxicidad de fertilizantes azufrados en el cultivo de soja para suelos clasificados como Argiudoles típicos INTA Rafaela. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

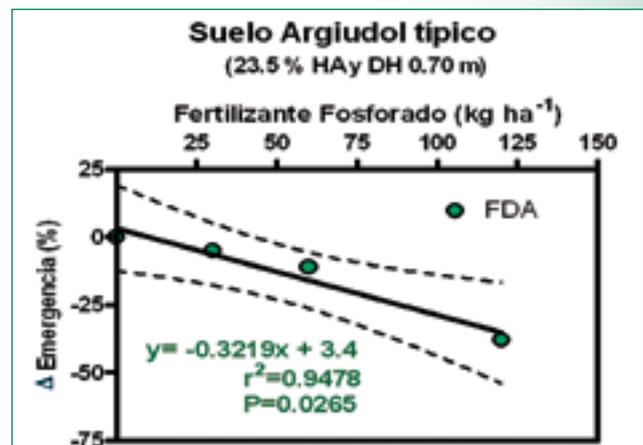


Figura 6. Fitotoxicidad de la fuente FDA en el cultivo de Maíz. Elaborado con datos de H. Fontanetto (datos inéditos).

emergencia en un 49%, efecto similar al provocado por la mitad de la dosis de S elemento del SA.

El SA y Kieserita se agruparon estadísticamente, sin encontrar diferencias significativas en el test de pendientes ($P=0.0546$), lo que determina una ecuación lineal unificada, para estos dos tipos de fuentes de fertilizantes (Fig 4).

En general, dosis de S elemento superiores a 15 kg ha^{-1} producen disminuciones de un 25-50% del stand de plántulas, dependiendo del tipo de fertilizante azufrado utilizado, esto atenta contra la productividad del cultivo de soja, y este efecto se agrava en ciclos cortos de cultivo con una menor capacidad de compensación.

Debe destacarse que con la semilla de soja se aplican inoculantes con bacterias fijadoras de N. Los efectos salinos de los fertilizantes afectan a estas bacterias, por lo que, más allá de los efectos fitotóxicos sobre las semillas y plántulas de soja, se recomienda fuertemente evitar la aplicación de fertilizantes ubicados junto con las semillas inoculadas de soja.

Cultivo de maíz

Fitotoxicidad de Fuentes Nitrogenadas (N)

La fitotoxicidad de los fertilizantes afecta de modo diferente a los cultivos de maíz, por la diferente separación entre hileras y por su tolerancia genética al daño. El maíz acepta menos urea por ha que el trigo, a pesar de poseer mayor tolerancia (Tabla 2), debido a la mayor separación entre hileras. Dentro de los cultivos de escarda, el maíz es más tolerante que sorgo, girasol y soja, tanto para N como para P. Sin embargo, se debe tener en cuenta la nula capacidad de compensación, por lo que es mucho más peligrosa la pérdida de plántulas, con respecto al resto de los cultivos de escarda.

En la Figura 5, se observan los datos de ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con distintas fuentes de N fertilizante: Urea, nitrato de amonio calcáreo (CAN), nitrato de amonio (NA) y sulfato de amonio (SA). Las variables que se mantuvieron constantes, fueron la distancia entre hileras, 0.70 metros, y la humedad del suelo al momento de la implantación del maíz, 23.5% HA.

La única fuente que presentó una asociación significativa fue la urea, mientras las otras fuentes no presentaron diferencias de forma estadística. La fuente que genera mayores pérdidas es la U, seguida del CAN, NA y SA. Con dosis de 50 kg ha^{-1} de urea (23 kg ha^{-1} de N elemento), se producen aproximadamente pérdidas de hasta un 48% del stand de plántulas al momento de la emergencia del cultivo de maíz, cuando el fertilizante se ubica junto a la semilla. La fuente de menor

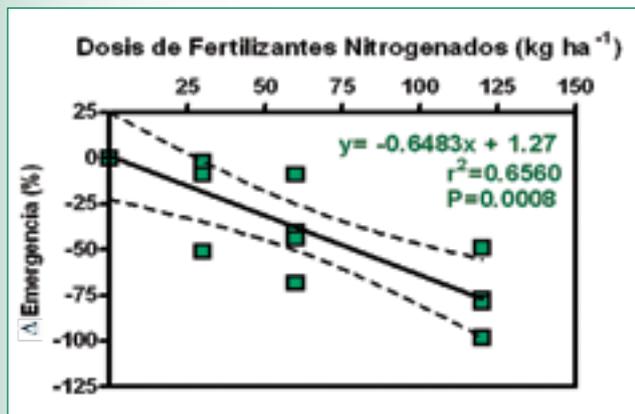


Figura 7. Fitotoxicidad de N fertilizante de forma general en el cultivo de Girasol.

efecto fue el SA (21% de N elemento), seguido por el CAN (27% de N elemento), y el NA (34% de N elemento).

En general, dosis superiores de 50 kg ha^{-1} de urea, pueden llegar a significar pérdidas de plantas de hasta un 50% o más.

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

En la Figura 6, se observan los datos de ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con FDA como fertilizante NP. Las variables que se mantuvieron constantes, fueron la distancia entre hileras, 0.70 metros, y la humedad del suelo

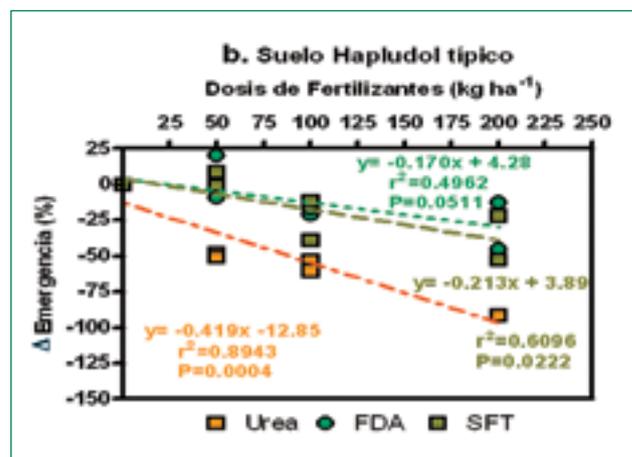
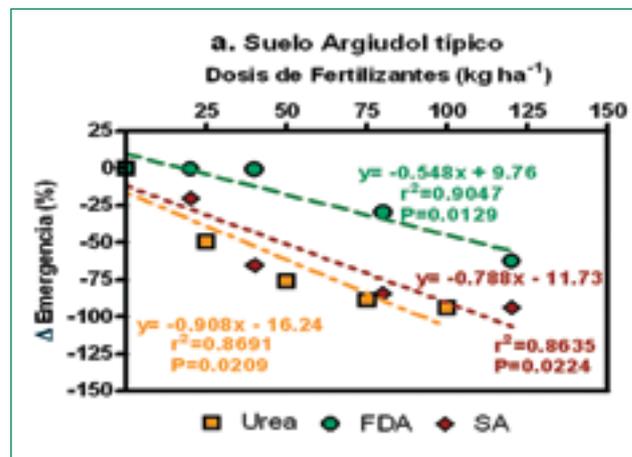


Figura 8 a y b. Fitotoxicidad de diversos tipos de fuente de N fertilizante en el cultivo de alfalfa dependiendo de los tipos de suelos. Elaborado con datos de Vivas (1995), Barraco et al. (2002) y H. Fontanetto (datos inéditos).

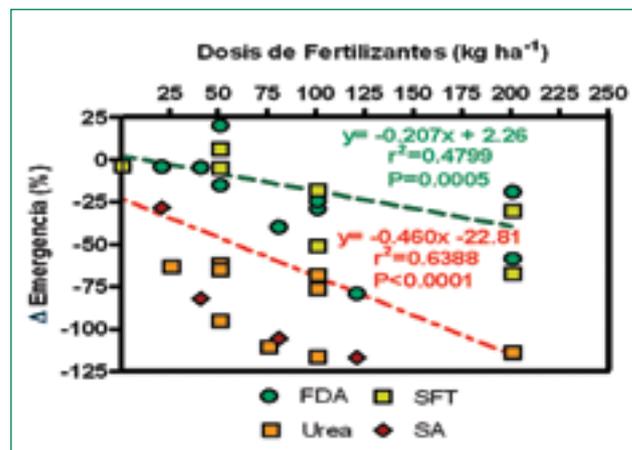


Figura 9. Fitotoxicidad de diversos tipos de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de Alfalfa.

al momento de la implantación del maíz, 23.5% HA. En síntesis, dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de FDA (5.01 kg ha⁻¹ de P elemento) producen efectos fitotóxicos, alcanzándose porcentajes de 40% en la disminución de la emergencia cuando las dosis son de 135 kg ha⁻¹ de FDA (27.11 kg ha⁻¹ de P elemento), con aplicaciones realizadas junto a la semilla.

Cultivo de Girasol

Fitotoxicidad de Fuentes Nitrogenadas (N)

En el cultivo de girasol, los problemas de fitotoxicidad por las aplicaciones en la línea de siembra son frecuentes y en los casos en que se logra la instalación del cultivo, este problema genera retrasos en la emergencia, lo que impacta en la eficiencia de utilización del N del suelo y fertilizante, siendo la misma menor.

Entre los fertilizantes nitrogenados, la fuente que genera mayores pérdidas es la urea, seguida del CAN-NA y SA. Con dosis de 50 kg ha⁻¹ de urea (23 kg ha⁻¹ de N elemento), se producen aproximadamente pérdidas de hasta un 52% del stand de plántulas al momento de la emergencia del cultivo de girasol, cuando el fertilizante se ubica junto a la semilla. La fuente de menor efecto fue el SA, seguido por el CAN y el NA (datos no mostrados).

En el análisis estadístico de los datos, no se observaron diferencias significativas ($P=0.642$) entre las pendientes de estos tipos de fertilizantes nitrogenados y para estas condiciones de ensayos. Esto resulta en una unificación del efecto fitotóxico representado por una sencilla y única ecuación lineal, la cual explica la variación en la respuesta a medida que se incrementa la dosis de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de girasol.

En la Figura 7, en forma de resumen, una única pendiente y ordenada al origen, pueden explicar gran parte de la variación en la respuesta. Dosis superiores de 100 kg ha⁻¹ de fertilizantes nitrogenados, pueden llegar a significar hasta un 63% o pérdidas mayores, cuando la práctica de fertilización se realiza junto a las semillas.

Fitotoxicidad de Fuentes Fosforadas (P)

En ensayos realizados en suelos Argiudoles típicos con la fuente FDA, con un DH de 0.7 metros se observó que dosis superiores a 25 kg ha⁻¹ de FDA (5.01 kg ha⁻¹ de P elemento) producen efectos fitotóxicos, alcanzándose una disminución de un 50% en la emergencia cuando las dosis son de 100 kg ha⁻¹ de FDA (20.51 kg ha⁻¹ de P elemento), con aplicaciones realizadas junto a la semilla.

Cultivo de Alfalfa

Fitotoxicidad de Fertilizantes Fosforados y Nitrogenados

El N es el nutriente que más extrae la alfalfa y gran parte de su requerimiento puede ser fijado de la atmósfera por los rizobios en simbiosis. En muchos casos se utilizan fertilizantes arrancadores, con dosis de N crecientes, que podrían provocar dos efectos no deseados, uno el de fitotoxicidad durante la germinación y emergencia del cultivo, y, por otro lado, el N inorgánico del fertilizante, podría inhibir el establecimiento de la simbiosis y formación de nódulos, afectando consecuentemente la FBN y el posterior crecimiento de la alfalfa (Racca et al. 2001).

En la Figura 8a, se presentan ensayos realizados en

suelos Argiudoles típicos de textura franco limosa, con la utilización de tres tipos de fuentes: Urea, SA y FDA. A los efectos de cuantificar su ordenamiento, se observó que la fuente con mayor efecto fue la Urea, SA y, por último, el FDA. Cuando se realizó una prueba o test de *F*, utilizado para analizar poblaciones y distinguir el grado de divergencia de los datos, no se presentaron diferencias significativas entre las pendientes ($P=0.3351$) de las ecuaciones lineales, que explican la variación de respuesta al incremento de dosis de fertilizantes nitrogenados. En conclusión, la única diferencia en estos tipos de fuentes es en el efecto que producen a bajas dosis, diferencias en las ecuaciones en el parámetro de las ordenadas al origen, por lo que su "efecto" se podría unificar.

En la Figura 8b, en suelos Hapludoles típicos que presentan una textura franco arenosa, se probaron tres tipos de fuentes: Urea, FDA y SFT. Las líneas de tendencias se ordenaron con respecto a las fuentes de la siguiente manera: la Urea provocó el mayor impacto de fitotoxicidad, seguida por el SFT y FDA. Con respecto a estos dos últimos fertilizantes, presentaron una tendencia similar, en el análisis de test *F* resultaron no presentar una diferencia estadística y significativa ($P=0.67$), por lo cual se expresa que sus efectos son equivalentes.

En la Figura 9, se analiza la información en forma conjunta, independientemente del tipo de suelo y su clase textural. Las tendencias son muy marcadas, y se agrupan en dos conjuntos, fuentes de *mayor efecto-Urea/SA-* y de *menor efecto-FDA/SFT*. Para destacar se observa que los fertilizantes clasificados de mayor efecto fitotóxico comparten en sus formulaciones N en distintos grados y en los de menor efecto, ocurre algo similar, con P. Esta clasificación y agrupamiento no son arbitrarios, debido a que cuando fueron sometidos a análisis de test *F* (Mead et al., 1993), se encontró que no hubo diferencias en sus pendientes y ordenadas al origen, entre la Urea /SA ($P=0.146$), y entre el FDA/SFT ($P=0.934$).

Analizando el fenómeno de fitotoxicidad de los fertilizantes nitrogenados, agrupados en los de "*menor impacto*", dosis de 35 kg ha⁻¹ de fertilizantes FDA/SFT producen una merma de 5% en el stand de plántulas; mientras que en el grupo de los de "*mayor impacto*", a dosis equivalente de 35 kg ha⁻¹ Urea/SA, las pérdidas pueden alcanzar hasta un 39% del stand de plántulas a emergencia del cultivo de alfalfa. En este caso como conclusión, observamos que el efecto de fitotoxicidad cuando la aplicación es junto con la semilla, se incrementa en relación directa al contenido de N de los fertilizantes.

Síntesis Final

Los efectos fitotóxicos de fertilizantes aplicados junto a la semilla son variables de acuerdo a la fuente y dosis de fertilizante, cultivo, tipo y humedad de suelo. Algunas alternativas para reducir estos efectos fitotóxicos son: 1) manejar dosis bajas (dosis inferiores a las críticas), 2) utilizar fuentes con un menor contenido de N-amoniaco y bajo índice salino, 3) conocer la tolerancia del cultivo a implantar, 4) realizar la práctica de fertilización preferentemente con muy buenas condiciones de humedad en el suelo y, 5) en caso de ser posible, la reducción de la distancia entre hileras.

Preliminarmente, la Tabla 5 presenta un resumen general, a partir de la información evaluada, indicando dosis críticas estimadas para pérdidas del 20% y 50% de plántulas para

diversos cultivos y fuentes de fertilizantes. Los valores inferiores de cada rango corresponden a situaciones de suelos más secos y/o arenosos y los valores más altos para suelos más húmedos y/o arcillosos.

Una de las medidas más importantes para evitar los efectos fitotóxicos sería realizar la fertilización en bandas separando la semilla del fertilizante a por lo menos unos cinco cm, de forma que no se produzca un contacto físico entre ambos. Otra alternativa para evitar efectos fitotóxicos de aplicaciones en banda con la semilla, la constituyen las aplicaciones al voleo o en cobertura, ya sea de fertilizantes sólidos o líquidos. Las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años permiten predecir las condiciones de manejo y sitio, en las cuales, las aplicaciones de N, P o S en cobertura pueden resultar en un uso eficiente de los fertilizantes aplicados.

La práctica de fertilización del sistema de producción es una estrategia que podría atenuar los problemas por fitotoxicidad de los fertilizantes colocados junto a la semilla. El concepto de fertilización del sistema de producción se basa en la residualidad de los nutrientes en formas orgánicas (N, P, S) y/o inorgánicas (P, K) en el suelo (García, 2006). Esta estrategia permitiría manejar los fertilizantes concentrando las aplicaciones en algunos cultivos de la rotación e incluyendo aplicaciones en cobertura.

Agradecimientos:

Los autores desean agradecer a los Ing. Agrs. V. Gudelj, T. Loewy, M. Díaz-Zorita y L. Ventimiglia, que gentilmente cedieron datos de sus ensayos para la realización de este artículo.

Referencias Bibliográficas

Barraco M, M Díaz-Zorita. 2002. Efecto de la localización de fertilizantes fosfatados sobre la emergencia de cultivos de verano. XVIII Cong. Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut, Argentina). En CD.

Tabla 5. Dosis críticas estimadas, de manera preliminar, para pérdidas del 20% y 50% de plantas para diversos cultivos y fuentes de fertilizantes. Los rangos indicados responden a condiciones de tipo y humedad de suelo.

Cultivo	Tipo de Fertilizante	Dosis Crítica (kg ha ⁻¹)	
		20% #	50% #
Trigo	Urea	30 - 50	75 - 120
	FDA-FMA-SFT ###	20 - 40	55 - 75
Soja	SFS	20 - 80	60 - 120
	SA	20 - 30	60 - 80
Maíz	Urea	15 - 30	60 - 80
	NA-CAN-SA	60 - 80	100 - 130
	FDA	60 - 80	130 - 170
Girasol	Urea-NA-CAN-SA	20 - 40	60 - 90
	FDA	40 - 50	80 - 120
Cebada	Urea	30 - 50	80 - 100
Alfalfa	Urea-SA	20 - 30	50 - 70
	FDA-SFT	90 - 110	160 - 200

Para pérdidas de 20% y 50% del stand de plántulas a emergencia

CAN: Nitrato de Amonio Calcáreo-FDA: Fosfato Diamónico-FMA: Fosfato Monoamónico-NA: Nitrato de Amonio-SA: Sulfato de Amonio-SFS: Superfosfato Simple-SFT: Superfosfato Triple

Baumer R. 1996. Fertilización y sistemas de laboreo e implantación. Tercer Seminario de Actualización Técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras. Buenos Aires. CPIA-SRA.

Díaz-Zorita M, G Duarte. 2005. Resumen ensayos en cultivos de soja campaña 2004-05. www.planetasoja.com.

Dowling CW. 1993. Tolerance of ten crop species to atmospheric ammonia during seed germination, radicle and coleoptile growth. (Ed. NJ Barrow) Plant nutrition - from genetic engineering to field practice: Proceedings of the Twelfth International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993, Perth, Western Australia. pp. 541-544.

Dowling CW. 1996. The effect of soil ammonium concentration and osmotic pressure on seedling emergence. *Proceedings 8th Australian Agronomy Conference*, Toowoomba, 219-222.

Ferraris G, R Falconi, ME Camozzi, S Chevallier. 2004. Efectos de fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre secuencia cebada - soja en centro norte de la provincia de Bs. As. www.planetasoja.com.

García FO. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29:13-16. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Gudelj V, C Galarza, P Vallote, G Nieri, B Masiero. 2001. Fitotoxicidad por fertilización en la línea de siembra directa de trigo. *Inf. Agron.* 10:12-13.

Havlin JL, JD Beaton, S Tisdale, WL Nelson. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall. p 38-85.

Mead R, RN Curnow & AM Hasted. 1993. Statistical methods in agriculture and experimental biology. Chapman and Hall, London, 415p.

Mortvedt J, L Murphy, R Follet. 1999. Fertilizer technology and application. Meister Pub. Co. Willoughby, Ohio. USA.

Racca R, D Pollino, J Dardanelli, D Basigalup, N González, E Brenzoni, N Hein, M Balzarini. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. Proyecto Pronalfa. Ediciones INTA. 56 p.

Randall GW, RG Hoef. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. *J. Prod. Agric.* 1:70-79.

Roberts TL, JT Harapiak. 1997. Fertilizer Management in direct seeding systems. En *Better Crops with Plant Food* Vol. 81 N° 2 (Ed. Donald L. Armstrong) pp 18-20. (Potash and Phosphate Institute, Norcross, Georgia).

Roberts TL, AM Johnston. 2005. Tillage intensity, crop rotation, and fertilizer technology for sustainable wheat production north american experience. 7ª Conferencia Internacional de Trigo. Mar del Plata.

Ron M, T Loewy. 2000. Effect of phosphorus placement on wheat yield and quality in south-western Buenos Aires. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* - 31(17&18): pp 2891-2900.

Ventimiglia LA, HG Carta. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *Inf. Agron.* 28:23-25. INPOFOS Cono Sur.

Vivas H, F Seffino. 1998. Localización del P, dosis y fuentes sobre el número de plantas de soja. Campaña 1996-97. Soja. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 86.

Vivas HS. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. INTA EEA Rafaela. Información Técnica para Productores.

Woodstock LW, H Tsao. 1986. Influence of ammonia vapours on the dry seeds of soybean, corn and peanut. *Crop Science* 26: 631-34. ■

Cinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad

Silvia E. Ratto¹ y Fernando H. Miguez²

¹Cátedra de Edafología-FAUBA,

²Cátedra de Cereales y Oleaginosas-Fac. Ciencias Agrarias-UCA.

sratto@agro.uba.ar

Introducción

El manejo integral de los nutrientes se ha convertido en una necesidad, considerando la variación introducida en los planteos agrícolas. Las nuevas variedades e híbridos, la deposición de residuos en superficie que modifica la actividad biológica del suelo y el agregado de una cantidad importante de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) producen una alteración en el balance de los ciclos biológicos, químicos y geológicos que se manifiesta como nuevos equilibrios edáficos. El cinc (Zn) es afectado por estos nuevos equilibrios y es considerado en muchas áreas agrícolas del mundo como el tercer elemento limitante en orden de importancia luego del N y del P. El Zn, por su abundancia relativa en el ambiente, es considerado un microelemento y por eso cuando se indica cantidad, normalmente se expresa en partes por millón que equivale a las unidades $\mu\text{g g}^{-1}$ o mg kg^{-1} .

La deficiencia de Zn en maíz ha comenzado a observarse desde hace algunos años en el área pampeana y, por sus características se la puede definir como **deficiencia de oportunidad**. Se tratará de explicar el significado adjudicado a esta expresión. En estudios realizados en la Región Pampeana, sobre cultivos de campo, los valores de concentración del elemento en hoja estuvieron cercanos a los críticos o ligeramente por encima de ellos. Asimismo se constató la existencia de una correlación positiva entre el rendimiento de cultivo y la concentración de Zn en hoja (Ratto et al. 1991). La misma tendencia fue medida en ensayos de invernáculo, donde el aumento de Zn en el suelo estuvo acompañado de aumento de absorción y producción de materia seca por plántulas de maíz (Ratto y Mizuno, 1991)

En los últimos años se han aplicado importantes volúmenes de fertilizante nitrogenado para asegurar el rendimiento de los cultivos. Hay evidencias de que la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz aumenta la absorción de Zn (Goldman et al. 2002 y Ratto et al. 1991), aumentando así la cantidad de micronutriente extraída. Es lógico que, al tener mayor cantidad de N disponible, los cultivos necesiten de una mayor provisión de otros nutrientes y aparezcan deficiencias subyacentes.

Sintomatología de deficiencia

Los síntomas visuales de deficiencia de un elemento constituyen una gran ayuda en el diagnóstico, pero es importante recordar que deben ser evaluados dentro de un contexto más amplio que tenga en cuenta la disponibilidad en el suelo, el material genético utilizado y el manejo del cultivo en su conjunto.

En maíz y para el Zn, es frecuente la aparición de deficiencias en las primeras semanas del cultivo (Fig. 1). Se manifiesta en plantas jóvenes, con un color amarillento de la lámina entre nervaduras. Los síntomas de deficiencia generalmente aparecen en la segunda o tercer semana del ciclo, y la característica es su corta duración. Pueden durar desde pocos días a un par de semanas, para luego desaparecer por completo. Sólo en algunas situaciones, en lotes de suelos arenosos, se han detectado sintomatologías que persisten hasta la floración. Situaciones similares ocurren en lotes que están en producción bajo siembra directa, con elevada fertilización fosfatada y en períodos de baja humedad. La aplicación de distintos fertilizantes foliares conteniendo Zn, ha revertido en todas las situaciones las sintomatologías de deficiencias.



Figura 1. Amarillamiento internerval observado en las hojas más desarrolladas de un cultivo de maíz de tres semanas bajo siembra directa.

La sintomatología de deficiencia ha sido observada específicamente en plantas de maíz y se ha generalizado a partir de la introducción de la siembra directa en el paquete tecnológico. Las condiciones predisponentes para la aparición de síntomas de deficiencia parecen ser: siembras tempranas en primavera con suelos fríos, siembra directa con elevada cobertura de rastrojo y elevada fertilización fosfatada en banda cerca de la semilla. La interacción P/Zn generalmente se describe como una deficiencia de Zn inducida por una elevada disponibilidad de P, y la fertilización en bandas eleva su concentración cercana a las raíces del cultivo (Ratto y Giuffré, 1997). Estos síntomas desaparecen al poco tiempo, probablemente debido a una mayor exploración radical del perfil de suelo, asociado a una mayor temperatura lo que también aumentaría la difusión del elemento.

La siembra directa ha provocado cambios en el ambiente suelo que, si bien son altamente provechosos para protegerlo de agentes destructivos como el golpe de la gota de lluvia, modifican algunos parámetros como por ejemplo la temperatura del suelo y especialmente su amplitud térmica. La menor temperatura diurna del suelo limita el crecimiento de las raíces y la difusión del Zn y en siembras tempranas la temperatura nocturna normalmente está por debajo de la temperatura base de crecimiento del maíz. La baja temperatura de suelo, implica también una menor tasa de liberación de Zn desde formas medianamente lábiles hacia formas solubles o intercambiables que son las más rápidamente disponibles por la planta. La existencia de una importante cantidad de residuos vegetales en superficie implica una demanda importante de Zn por parte de los microorganismos del suelo. Se podría decir que existe una inactivación del Zn por un período variable, que depende de la cantidad de restos orgánicos, su relación C/N, la concentración de P en la banda de fertilización, y la temperatura y humedad edáfica. Toda condición que favorezca la mineralización estará contribuyendo a una mayor liberación de Zn aprovechable por las plantas.

La conjunción de restos orgánicos en descomposi-

ción, suelos fríos en relación a la velocidad de crecimiento de las raíces de maíz, una secuencia de cultivos que privilegia al trigo, maíz y/o soja, muy exigentes en la extracción de Zn y que agotan la fracción soluble más intercambiable del elemento, son todos factores que se conjugan para generar baja disponibilidad del Zn y es por ello que se habla de **deficiencia de oportunidad**, ya que no se han medido en suelo o en planta valores que indiquen deficiencias severas.

Funciones del Zn en la planta

- No interviene en sistemas redox. Participa en muchos procesos metabólicos.
- Interviene en la síntesis de auxinas.
- Gran afinidad para formar complejos con N, O y S (funciones catalíticas y estructurales en reacciones enzimáticas).
- Es absorbido como Zn^{2+} y Zn hidratado.
- Se ha encontrado que la aplicación de Zn a semillas de maíz en forma quelatada puede aumentar la velocidad de germinación y el vigor (Miguez, 2006).

¿Cuánto sabemos del tema?

En el área pampeana se han hecho mediciones de Zn total en suelo para evaluar las reservas, se han efectuado medidas sobre la fracción biodisponible y se han conducido ensayos de invernáculo y de campo. Con respecto al contenido total en suelo, en el área pampeana se considera de normal a bueno, de acuerdo al contenido promedio de la corteza terrestre. El contenido oscila entre 60 y 90 $mg\ kg^{-1}$. Es interesante observar la distribución del Zn total en perfiles de suelo. En las Figuras 2 y 3 se presenta la distribución del elemento en un Hapludol (Junín) y en un Argiudol (Chacabuco) medidos por Mizuno *et al.* (1988).

En la Figura 2, correspondiente a un Hapludol, se observa que parte del Zn se ha acumulado en superficie como compuestos orgánicos y que luego, en la zona de mayor exploración radical, hay una importante dis-

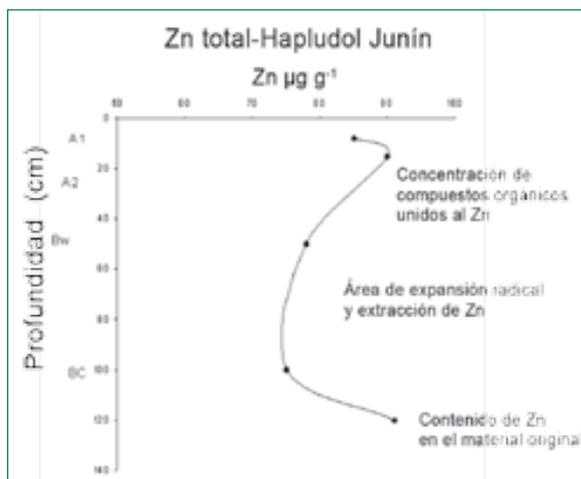


Figura 2. Distribución del Zn total en el perfil de un Hapludol.

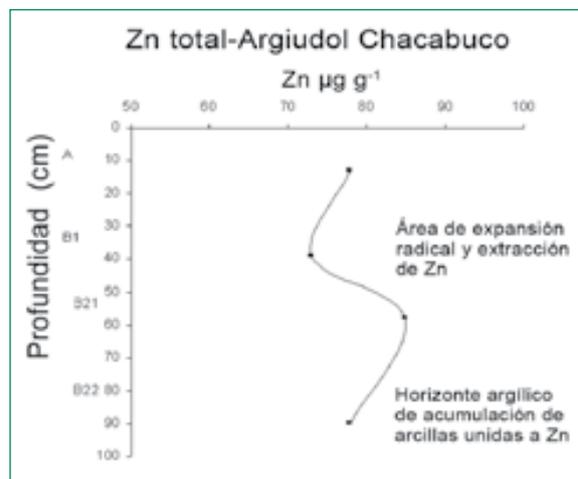


Figura 3. Distribución del Zn total en el perfil de un Argiudol serie Chacabuco

minución de su contenido. Algo parecido se muestra en el Argiudol, con una importante disminución de la cantidad de Zn entre 40 y 50 cm de profundidad, y luego se observa una zona de enriquecimiento que corresponde a la presencia del horizonte argílico, en cuyo caso el aumento es producto de la retención preferencial del Zn por las arcillas. Estas figuras nos permiten visualizar la acción que sobre los nutrientes del suelo provocan, a mediano y largo plazo, las sucesivas cosechas, extrayendo los nutrientes de todo el solum, previniendo sobre la disponibilidad futura.

Otras formas del Zn en suelo

El Zn se presenta unido a óxidos de Fe y Al, a carbonatos y a otros compuestos silíceos. Las fracciones soluble en agua, intercambiable y unida a compuestos orgánicos son las más importantes para caracterizar la **fracción lábil**, considerada como representativa de lo que la planta puede absorber. Internacionalmente se considera que la mejor medida de esta fracción lábil es la que se obtiene con soluciones como el TEA-DTPA (llamada DTPA), EDTA y Melich 3. Las dos primeras, aunque implican un ensayo independiente del resto de las medidas usuales, se consideran como mejores indicadoras de la cantidad disponible para la planta.

Utilizando esas metodologías, se han efectuado estudios en la mayoría de los suelos del área pampeana. Los resultados indican que aunque el contenido total de Zn sea suficiente, muchos suelos presentan valores de Zn biodisponible cercanos a los considerados críticos o limitantes, que son los siguientes:

- 0,5 mg kg⁻¹ para el DTPA
- 1,4 mg kg⁻¹ para el EDTA
- 1 mg kg⁻¹ para Melich-3

También hay que considerar que estos *valores críticos* han sido determinados en ensayos de *invernáculo*, por lo que su extrapolación a cultivos de campo debe ser hecha muy cuidadosamente. De acuerdo a esos relevamientos, un 20% de los suelos estaría con valores cercanos a los considerados muy pobremente provistos de Zn (Ratto *et al.*, 1991). Melgar *et al.* (2001), observaron síntomas de deficiencia de boro (B) y Zn para el cultivo de maíz en el área núcleo.

Composición foliar y rendimiento

Es importante considerar, aparte de la disponibilidad en suelo, la cantidad absorbida por la planta, ya que actúa como una comprobación de la efectividad del ensayo realizado. A partir de este supuesto se evaluó en distintos ensayos el contenido de Zn en planta.

Para el cultivo de maíz, las medidas de laboratorio realizadas permiten concluir que:

- Hay relación positiva entre el rendimiento y la concentración de Zn en la hoja opuesta a la espiga en floración, cuando se explora un amplio rango de valores.

- La fertilización nitrogenada aumenta la cantidad de Zn absorbido por la planta.
- El valor de 20 ug g⁻¹ de Zn en la hoja mencionada se considera como el que separa situaciones de deficiencia de otras de suficiencia, siendo coincidente con la bibliografía internacional (Jones, 2002).
- En los casos en que observó sintomatología de deficiencia de Zn en hojas maduras en floración, se midieron valores de relación P/Zn muy altos, considerados importantes en la inducción de la deficiencia de Zn por exceso de P
- Las deficiencias de Zn están muy difundidas en sistemas productivos a nivel mundial y se considera que el mejor diagnóstico se obtiene a partir de observación de síntomas, de análisis de plantas y su confrontación con el análisis de suelo. También se considera que la relación del contenido de Zn en tejidos debe ser evaluada conjuntamente con el contenido de otros elementos como el P y el Fe.

Rotaciones

El planteo de las rotaciones juega un importante papel sobre la dinámica del Zn en el suelo. Las rotaciones trigo-maíz son consideradas como las más depresoras del contenido de Zn intercambiable, una fracción de gran importancia en la biodisponibilidad, ya que se considera que es la fracción que más rápido repone al Zn en solución (Chandi & Takkar, 1982). Si se agrega a esta rotación el cultivo de soja, cuya tasa de extracción es semejante o mayor a la de maíz de acuerdo a los rendimientos, puede comprenderse con mayor claridad el impacto que el actual sistema de cultivo tiene sobre la dinámica del elemento. No resulta demasiado aventurado suponer que en el corto y mediano plazo se producirá un incremento de manifestaciones de la deficiencia de Zn.

La extracción del suelo luego de cada cosecha, se traduce en valores de Zn soluble e intercambiable muy bajos al finalizar el ciclo, quedando el sistema empobrecido para el cultivo posterior. Se produce así un desplazamiento del equilibrio desde formas menos disponibles a las más disponibles. La velocidad a través de la cual, aumentan las fracciones disponibles para el vegetal, es menor a la de extracción por el cultivo, lo que aumenta la inestabilidad del sistema y se manifiesta la deficiencia.

¿Hay que fertilizar?

Esta pregunta no es sencilla de responder si se pretende generalizar. Cada caso debe ser considerado individualmente, evaluando muy especialmente el uso que ha tenido el suelo y la aplicación que se ha hecho de otros nutrientes. Para obtener evidencias que acercaran a un diagnóstico regional, luego de haber efectuado una caracterización global de los ambientes de la zona maicera con análisis de suelo y de vegetal, se efectuaron durante varios años (1999-2003) ensayos de

campo para evaluar la respuesta del cultivo a la fertilización (datos no publicados). Los resultados no han sido consistentes (Fig. 4). En lotes de elevada fertilidad natural y con aplicación de dosis de N y P elevadas, en varios ensayos hubo respuesta con un aumento muy importante de rendimiento, y estuvo probablemente asociado a la marcha térmica en las primeras etapas del cultivo y a la distribución de las precipitaciones. Bajas temperaturas luego de la emergencia del cultivo y escasez de lluvias, parecen aumentar la probabilidad de respuesta.

Los productos utilizados para los ensayos fueron $ZnSO_4$, preparado a partir de drogas puras en dosis de 5 a 10 kg ha⁻¹ de Zn, y otros fertilizantes foliares de uso comercial donde el elemento estaba en forma de óxido de Zn o quelatado. Se ensayó también la aplicación de Zn junto con la semilla. De todas las formas de Zn aplicadas, el $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ fue el de mayor eficiencia de respuesta; en ningún caso se hizo aplicación de Zn a suelo. Uno de los interrogantes que se planteó al evaluar la información fue el rol del Cu (cobre), ya que presentó valores bajos en los ensayos en que no hubo respuesta al Zn.

Los estudios de Melgar *et al.*, (2001) indican que la fertilización con B y Zn aplicado a suelo en sistemas intensivos de producción de maíz, tuvo respuesta positiva para B en cultivos de Pergamino, Arequito, Santa Teresa, y para el Zn en ensayos de Pergamino, Santa Teresa y Firmat. Sobre 10 ensayos de aplicación de B en tres se verificaron incrementos de rendimiento significativo, y sobre 14 ensayos con Zn en 5 hubo respuesta significativa.

Resumen

Las condiciones predisponentes para la manifestación de la deficiencia de Zn en el cultivo de maíz son:

- Siembra directa, alta cobertura de rastrojo y/o suelos fríos.
- Zn disponible menor a niveles críticos en suelo.
- Siembras con elevada fertilización fosfatada en banda cercana a la semilla.
- Rotaciones: sistema trigo-maíz-soja produce una intensa disminución del Zn intercambiable.

La cantidad total de Zn en suelo no constituye una limitante severa. La fracción llamada “disponible” o “bio-asimilable” oscila entre valores cercanos a los limitantes en ensayos de invernáculo y suficientes de acuerdo con estos estándares. Los ensayos de campo no han tenido

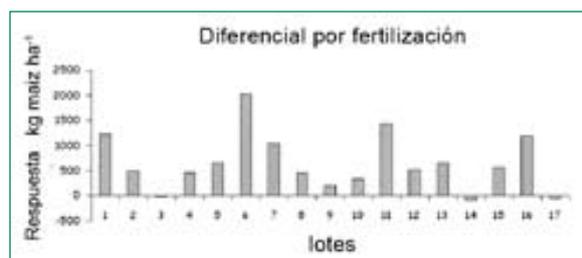


Figura 4. Aumento de rendimiento de maíz sobre el testigo, como respuesta al agregado de Zn en forma foliar, en lotes de producción en la campaña con mayor uniformidad de respuesta, para ensayos realizados en la Región Pampeana.

respuestas consistentes, si bien en algunos casos han sido llamativas por la magnitud. Los valores de Zn en grano, a cosecha, están dentro de los estándares de calidad, aún para elevados rendimientos.

Factores a considerar para evaluar sustentabilidad

Las rotaciones practicadas en el área maicera están produciendo una extracción permanente y de magnitud importante. La disminución del Zn en el sistema puede afectar a una cantidad importante de microorganismos del suelo que cumplen funciones relevantes en el ciclo de los nutrientes. La fertilización nitrogenada actúa como disparadora de una extracción mayor de Zn por parte de los cultivos.

Por ahora, las evidencias indican que es una deficiencia “de oportunidad”, ya que luego de las primeras semanas, cuando el cultivo está implantado y las raíces exploran el suelo, desaparece la sintomatología. Se considera que esto es un llamado de atención acerca de la falta de conocimiento que se tiene del funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, de fundamental importancia para un manejo sustentable de los agrosistemas.

Bibliografía

- Chandi K.S. y P.N. Takkar.** 1982. Effect of agricultural cropping systems on micronutrient transformation. *Plant and Soil* 69:423-436.
- Goldman V; H.E. Echeverría, F. Andrade y S. Uhart.** 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20 (1):27-35.
- Jones J.B.** 2002. *Agronomic Handbook: Management of Crops, Soils, and Their Fertility.* CRC Press.FI. pp: 352
- Melgar R.J, J. Lavandera, M. Torres Duggan y L. Ventimiglia.** 2001. Respuesta de la fertilización con boro y cinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19 (2):109-114.
- Miguez F.** 2006. Efecto de la aplicación de promotores de crecimiento sobre la velocidad de germinación y el vigor en semilla de maíz. Informe presentado a Fertiva Latinoamericana S.A.
- Mizuno I, A.M. Villa, M. Jiménez, M. Moretti, V. Sanguesa, D. Efron y L. Berasategui.** 1988. Elementos mayores y menores en algunos perfiles de suelos de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Facultad de Agronomía.*
- Ratto de Míguez S, N. Fatta y M. Lamas.** 1991. Análisis foliar en maíz de cultivo. II. Microelementos. *Rev. Facultad de Agronomía,* 12(1):31-38.
- Ratto S. y I. Mizuno.** 1991. “Respuesta del maíz al agregado de zinc en ensayo de invernáculo”. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bariloche.
- Ratto S. y L. Giuffré.** 1997. Relación P/Zn en cultivo de maíz. *Actas de VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA (II)* 190-195.
- Ratto S., M.C. Lamas y E. Chamorro.** 1991. “Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos. *Rev. Facultad de Agronomía,* 12(1):23-30.
- Ratto S. y L. Giuffré.** 1997. “Relación P/Zn en cultivo de maíz” VI Congreso Nacional de Maíz. Tomo 2.Pag.190-195.Ed. AIANBA. Pergamino. ■

Respuestas a fertilización y roturación en soja en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia)

Edwin Parra Flores

Centro de Investigación y Transferencia de la Caña de Azúcar (CITTCA)
General Saavedra, Provincia Obispo Santistevan del Departamento Santa Cruz-Bolivia
epaflores_agr@hotmail.com

Introducción

La actividad agrícola de Santa Cruz-Bolivia, ha estado caracterizada por una explotación extractiva de minerales del suelo. La extracción permanente de minerales ha originado la pérdida de nutrientes del suelo provocando deficiencias y desequilibrios nutricionales para las plantas y, en consecuencia, la obtención de rendimientos muy limitados de los cultivos. En general, la práctica del monocultivo, la acelerada descomposición de la materia orgánica, la baja producción de rastrojos y la no reposición de nutrientes mediante la fertilización han contribuido al deterioro de la fertilidad del suelo.

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la respuesta a la aplicación de fertilizantes químicos, en presencia y ausencia de prácticas de ruptura sub-superficial de un suelo compactado bajo siembra directa. Esta situación, representa a un suelo típico del área Integral tradicional, que ha sido usado por más de 4 décadas bajo sistemas intensivos de labranza convencional.

Materiales y métodos

Este experimento se estableció en el Lote F-2 de la Estación Experimental Agrícola de Saavedra (EEAS) dependiente del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), ubicado en la Provincia Obispo Santistevan del Departamento de Santa Cruz (Bolivia), a 75 Km. al Norte de la ciudad capital. Geográficamente se sitúa entre las coordenadas 17°14' de latitud Sur y 63°10' de longitud Oeste, a una altitud de 320 m.s.n.m.

El suelo es de textura franco arenoso y de baja fertilidad, típico de la zona central de Santa Cruz. La historia agrícola del suelo donde se realizó el experimento fue la siguiente: desmontado en la década del 50 y desde entonces utilizado con cultivos de caña de azúcar, arroz, soja y maíz. Durante el periodo comprendido entre 1984 a 1993 se cultivó soja, posteriormente estuvo en descanso, con cultivos de cobertura. A partir del año 2000 nuevamente fue utilizado en la producción del cultivo de soja. Las características químicas del suelo en estudio, se presentan en la Tabla 1.

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completamente aleatorizados para el factor A (Fertilización) y el factor B (Roturación del suelo con paratill) como parcelas divididas en el factor A. Los tratamientos evaluados del factor fertilización fueron: 1) Aplicación de Fósforo (P), 2) P + Azufre (S), 3) P + S + Potasio (K), 4) P + S + K + Micronutrientes (Completo) y, por último, 5) Testigo Absoluto. El factor roturación

presentó dos niveles: 1) labor del paratill y 2) sin laboreo. El número de repeticiones fue de cuatro.

Con respecto al tipo de fertilizantes, como fuente de P fue utilizado el Súper Fosfato Triple que tiene una concentración de 46 % de P_2O_5 ; como fuente de azufre, el Azufre Elemental que tiene 98 % de S elemento y como fuente de K, el Cloruro de K, 60 % de K_2O elemento. Las dosis utilizadas para cada tratamiento se presentan en la Tabla 2.

La labor del paratill se realizó en el mes de julio en el año 2003 y se sembró la soja (Variedad Aguaí) en el mes de Noviembre de ese mismo año. La práctica cultural se realizó a una profundidad de 23 a 25 cm y una distancia de 40 cm de cincel a cincel. Para realizar la práctica de roturación del suelo, se utilizaron púas de un implemento vertical (paratill) que se acopló en el armazón de un cuerpo de labranza vertical (Vibroflox) con solamente dos púas. El trabajo de campo se realizó a una distancia de 40 cm, con una sola pasada cuando el suelo estaba en un estado casi seco.

El contenido foliar de nutrientes en soja, en el periodo de floración, se presenta en la Tabla 3. El contenido de nitrógeno (N) foliar de la soja varió de 4.5% en el tratamiento Testigo, a 4.98% en el tratamiento de fertilización con P. Si bien estos valores se encuentran dentro de una concentración normal, de

Tabla 1. Características químicas del suelo en el estudio. Fuente: Laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT)

Características	Profundidad (cm)	
	0-5	5-15
pH (agua 1:5)	5.3	4.8
CE (μ mhos/cm)	155	113
Calcio ($cmol\ kg^{-1}$)	2.3	1.9
Magnesio ($cmol\ kg^{-1}$)	0.8	0.7
Sodio ($cmol\ kg^{-1}$)	0.1	0.1
Potasio ($cmol\ kg^{-1}$)	0.3	0.2
C.I.C.E.	4.9	3.3
Acidez ($cmol\ kg^{-1}$)	0.2	0.3
Aluminio ($cmol\ kg^{-1}$)	0.0	0.0
Fósforo Olsen ($mg\ kg^{-1}$)	7.0	6.0
Materia Orgánica (%)	1.9	1.5
Limo %	24.0	27.0
Arcilla %	17.0	18.0
Arena %	59.0	55.0
Textura	Franco Arenoso	Franco Arenoso

acuerdo a la tabla de interpretación del análisis foliar para el cultivo de soja, los tratamientos de fertilización no favorecieron a incrementar significativamente la concentración de N a nivel foliar. El tratamiento que presentaba únicamente P provocó un incremento mayor a 10% en el contenido de N foliar de la soja; sin embargo, este resultado no fue consistente en los otros tratamientos con P.

Con relación a la absorción de P, todos los tratamientos de fertilización presentan valores absolutos superiores al Testigo. Fue observada una diferencia de 22.7% entre el Testigo y el tratamiento de fertilización con 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Como era de esperar, fueron observados similares incrementos en los otros tratamientos de fertilización con P, aunque las aplicaciones de S, K y micronutrientes no mostraron un efecto favorable en la acumulación de este elemento a nivel foliar. De acuerdo a los valores de promedios de P absorbido por las hojas se puede afirmar que el tratamiento Testigo presenta una deficiencia nutricional de este elemento y que los otros tratamientos de fertilización favorecieron a una suficiencia limitada.

Con relación a la concentración de K foliar, todos los tratamientos de fertilización presentan valores superiores al Testigo. El valor más alto (2.18 %) fue observado en los tratamientos de fertilización con P y de

P+S+K+Micro. En todos los tratamientos el contenido de K foliar, se encuentra dentro del rango considerado como un contenido óptimo para el cultivo.

La acumulación de Calcio y Magnesio no fue afectada significativamente por los tratamientos de fertilización. Los valores absolutos muestran ligeras variaciones, las mismas no son consistentes y tampoco favorecen a los tratamientos estudiados.

En relación a la concentración de S, es importante destacar que todas las parcelas que recibieron este elemento, muestran una absorción marcadamente diferente a la del Testigo aunque la concentraciones de S a nivel foliar, en todos los tratamientos se encuentre dentro del rango de suficiencia (0.32-0.39%). En relación a la concentración de microelementos (Fe, Mn, Cu y Zn), fue observada poca diferenciación en función a los tratamientos de fertilización.

Los valores promedio de altura de planta registrados en cinco fechas durante la época de desarrollo vegetativo; floración y cosecha se presentan en la Figura 1. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, la altura de planta presentó diferencias estadísticamente significativas, entre los tratamientos de fertilización, solamente a los 46 días después de la siembra y a la cosecha. Sin embargo, en la Figura 1 se puede apreciar que en todas las evaluaciones realizadas los promedios de altura de planta siguen la misma tendencia con respecto a los tratamientos de fertilización. Asimismo, fue verificado que la roturación del suelo no modificó significativamente esta característica de la planta.

A los 46 días después de la siembra, el tratamiento Testigo presentó una altura de planta significativamente inferior al resto de los tratamientos de fertilización, los cuales no difieren estadísticamente entre sí. En promedio, las diferencias de altura de planta entre el Testigo y los tratamientos de fertilización alcanzan a un 10%. Este comportamiento demuestra claramente la deficiencia de nutrientes, principalmente de P, que este suelo presenta para el cultivo de soja. En las

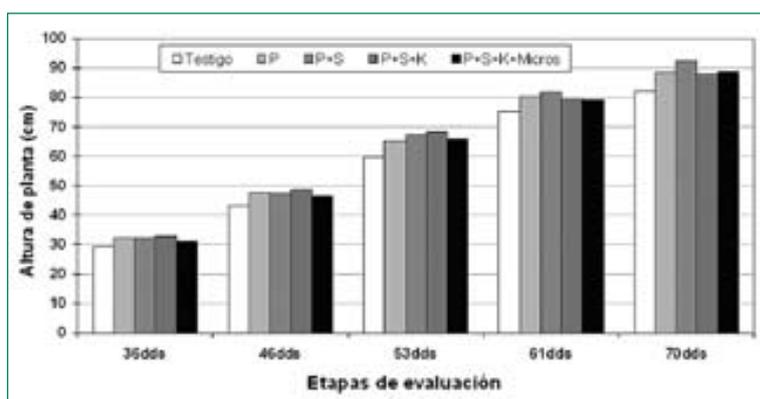


Figura 1. Altura de planta en el cultivo de la soja (*Glycine máx. L.*). dds= días desde la siembra.

Tabla 2. Dosis de fertilización utilizadas para los tratamientos evaluados.

Tratamientos	Dosis (kg/ha)			
	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	Micros(Fe, Cu, Zn y Mn)
Testigo	0	0	0	0
P	40	0	0	0
P + S	40	16	0	0
P + S +K	40	16	20	0
P + S +K + Micros	40	16	20	1

Tabla 3. Contenido foliar de nutrientes en soja, en el período de floración. Fuente: Laboratorio de Suelos – CIAT.

Tratamientos	N	P	Na	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn
	(%) Sobre materia seca							(ppm) Sobre materia seca			
Testigo	4,50	0,22	0,10	1,79	1,24	0,36	0,29	137	77	8	35
P	4,98	0,27	0,11	2,18	1,36	0,39	0,34	141	74	8	30
P + S	4,62	0,26	0,09	1,98	1,44	0,39	0,32	135	93	7	33
P + S + K	4,48	0,25	0,10	1,98	1,43	0,37	0,39	162	74	7	29
P + S + K + Micro	4,50	0,26	0,11	2,18	1,29	0,34	0,33	173	68	8	28

evaluaciones a los 36, 53, 61 y 70 días después de la siembra, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización. En la última lectura, en el periodo de cosecha, se pudo evidenciar que la fertilización con P favoreció significativamente al desarrollo de la planta de soja. El tratamiento con la aplicación de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fue superior en 17%, con relación al tratamiento Testigo. De acuerdo a los resultados, se puede afirmar que, en esta característica de la planta, sólo hubo respuesta a la aplicación de P y no así a la aplicación de S, K y micronutrientes.

En lo que respecta al rendimiento del grano de soja (Tabla 4), hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, pero no entre los tratamientos de roturación del suelo. Entre los cuatro tratamientos fertilizados no existen diferencias estadísticamente significativas; pero fueron verificados importantes incrementos por fertilización con respecto al rendimiento del tratamiento Testigo. El mayor incremento (33%) fue verificado en el tratamiento de P + S y P+S+K+ Microelementos.

Los rendimientos obtenidos sugieren categóricamente una respuesta positiva del cultivo de la soja a la aplicación de 40 kg de P₂O₅. Este resultado guarda estrecha relación con el efecto que tuvo este tratamiento sobre otras variables de rendimiento y de desarrollo vegetativo, como el número de vainas por planta y la altura. Por su parte, resultados de otras investigaciones han demostrado que el cultivo de la soja responde a la adición de P en suelos donde la concentración de este elemento es menor que 6 ppm P Olsen.

En relación a la falta de respuesta de la soja a la práctica de roturación del suelo podemos considerar que la práctica de la roturación con paratill se realizó en el mes de julio y la siembra de la soja fue en el mes de Noviembre, durante este periodo se registraron frecuentes lluvias y el efecto beneficioso de la roturación se fue diluyendo debido al proceso de recompactación que sufre un suelo cuando tiene baja estabilidad estructural y cuando su contenido de materia orgánica es bajo.

Con respecto a la densidad aparente, desde la primera capa de suelo (0-5 cm) se observaron ligeras diferencias al uso del paratill, con similares resultados hasta la última profundidad evaluada (15-20 cm). Si bien hay diferencias entre los tratamientos de roturación del

Tabla 4. Rendimiento y otras variables de cultivo determinadas en el ensayo.

Tratamientos	Población Final (plantas/ha)	Vainas por planta	Peso de 100 granos (g)	Altura Inserción Primera Vaina (cm)	Rendimiento (t/ha)
Testigo	339.750	59,2	13,9	18,3	1,76
P	309.750	65,5	14,7	15,8	2,26
P + S	327.250	76,1	14,3	14,8	2,34
P + S + K	336.250	69,2	14,1	15,4	2,30
P+S+K+Micros	333.000	70,6	14,6	18,4	2,34
Significancia Estadística		*	n s	n s	**
Con paratill		67,2	14,3	15,1	2,13
Sin paratill		67,2	14,4	15,0	2,22
C. V. (%)		13,8	5,4	9,4	7,8

suelo (Tabla 5), estas no resultaron estadísticamente significativas, según la prueba de comparación de T. Esto pudo ser probablemente debido a una falta de precisión e intensidad de muestreo, lugar de extracción de muestras y número de piques realizados.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En las parcelas fertilizadas con Superfosfato y S elemental se observa una mayor concentración de P y S a nivel foliar, en relación al Testigo.
- En diferentes épocas de evaluación, se verificó una mayor altura de planta de soja en las parcelas fertilizadas con P, en relación con el Testigo.
- Se verificó un mayor número de vainas de soja variedad Aguai en todas las parcelas fertilizadas.
- Se registró un incremento de rendimiento en el grano del cultivo, por efecto de la fertilización fosfatada, en relación a la parcela no fertilizada, en un suelo con bajo contenido de P.
- No hubo respuesta en rendimiento, a la roturación subsuperficial del suelo bajo siembra directa.
- No se registró interacción entre la fertilización química y la roturación del suelo sobre el crecimiento y la producción del cultivo de soja.
- No se evidenciaron diferencias en los valores de densidad aparente con la aplicación del paratill en la profundidad de muestreo de 0 – 20 cm.

Recomendaciones

- Realizar pruebas para determinar las curvas de respuesta del cultivo de soja a la fertilización con P y determinar el nivel económico para la aplicación.
- Evaluar la práctica de roturación del suelo con paratill en siembra directa, pocos días antes de la siembra del cultivo. ■

Tabla 5. Densidad aparente y variación en profundidad del suelo, para el factor roturación.

Densidad ap. (g cm ⁻³)	Profundidad (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
Con paratill	1,46	1,55	1,60	1,65
Sin Paratill	1,47	1,65	1,62	1,67
Sig. Estadística	ns	ns	ns	ns

Publicaciones de INPOFOS

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal

Título de la Publicación	Costo U\$S	Costo \$ argentinos
NUEVO Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de INPOFOS, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de la fertilización para numerosos cultivos.	14	40
Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	20	60
Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	4	12
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	10	30
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	15
Como se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	8	25
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	5	15
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.5	7.5
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.5	7.5
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.5	7.5
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	15	45
Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Recopilación de conferencias presentadas en cursos de la especialidad por el Dr. Larry Nelson, publicada por la oficina de INPOFOS del Norte de Latinoamérica.	6	18
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5	15
Nutrición de la Caña de Azúcar. Guía completa para la identificación y corrección de desordenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar.	8	24
Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	20	60
Balance para el éxito. Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón.	0.50 c/u	1.5 c/u
Nutri-Verdades. Trifolios que describen las necesidades de nutrientes y el manejo de la fertilización de cultivos. Disponibles: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Magnesio, Calcio/pH, Boro, Zinc, Manganeso, Cobre, Hierro, Otros micronutrientes.	0.50 c/u	1.5 c/u

Publicaciones de reciente aparición

Esta sección presenta información sobre publicaciones regionales de reciente aparición.

Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos

Coordinador: Roberto Alvarez. 2006.

Información: Editorial Facultad de Agronomía - UBA
Av. San Martín 4453 - (1417) Bs. As. efa@agro.uba.ar

Minerales para la agricultura en Latinoamérica

Editores: Hugo Nelson y Roberto Sarudiansky. 2006.

Información: sarudi@fibertel.com.ar
rmelgar@bbitl.com.ar

Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes

Autores: Ricardo Melgar y Martín Torres Duggan. 2006.

Información: Editorial Hemisferio Sur. Librería Agropecuaria.
Pasteur 743, Buenos Aires, Argentina.
rmelgar@bbitl.com.ar

El arroz: Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos

Director de obra: René Benavidez. 2006.

Información: Editorial de la UNER - Ediciones UNL.
www.unl.edu.ar/editorial

Congresos, Cursos y Simposios

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Salta-Jujuy, 18-22 Septiembre de 2006.

Información: www.suelosaljuy.org.ar - www.suelos.org.ar

XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Bogotá, Colombia. 4/6 Octubre 2006.

Información: www.scsuelo.tripod.com - scsuelo@cable.net.co

Congreso Internacional ASA-CSSA-SSSA 2006

Lugar y fecha: Indianápolis, EE.UU. 12-18 Noviembre 2006.

Información: www.acsmeetings.org

X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Guayaquil, Ecuador. 22-24 Noviembre 2006.

Información: fmittev@uios.satnet.net
jespinosa@inpfos.org

Zinc Crops 2007

Lugar y fecha: Natalia, Turquía. Mayo 2007.

Información: mcook@iza.com; cakmak@sabanciuniv.edu

InfoAg 2007: Agricultura de Precisión - Manejo de Información

Sensores Remotos - Tecnologías de Comunicación

Lugar y fecha: Hotel Crowne Plaza, Springfield, Illinois, EE.UU. 10-12 Julio 2007.

Información: www.infoag.org

V Simposio Internacional Interacciones de Minerales de Suelo con Componentes Orgánicos y Microorganismos

Lugar y fecha: Pucón, Chile. 26-30 Noviembre 2008.

Información: www.ismom2008ufro.cl , mariluz@ufro.cl

Formas de pago de publicaciones de Inpfos

Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.
Los datos para realizar su envío son los siguientes:

DESTINATARIO: Sra. Laura Nélica Pisauri - DNI:17.278.707

DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso - Buenos Aires - Argentina

AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Citibank, Cta. Cte. N° 0-516483-016 Sucursal Olivos a nombre de POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA

- Transferencia Bancaria o por Banelco a POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA, Banco Citibank, Cuenta Corriente 0-516483-016, CBU 0167777-1 0000516483016-0 CUIT 30-70175611-4

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

Otros Países

- Envío de dinero a través de Western Union, ver instrucciones para el envío más arriba.

- Cheque certificado en dólares estadounidenses a nombre de POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA.

- Tarjeta de crédito internacional (Mastercard, Visa, American Express).

Para adquirir las publicaciones de INPOFOS Cono Sur:

1. Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivalen a 1 publicación) \$ 3.00; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) \$ 5.00; y entre 500 - 1000 g \$ 10.00.

2. Deberá enviarnos a nuestra oficina de INPOFOS por Fax.: 011-4798-9939 o por mail a lpisauri@ppi-ppic.org, el comprobante de pago.

3. Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

y Primera Reunión de Suelos de la Región Andina

Salta-Jujuy, 19-22 de Septiembre de 2006

La Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS) y la Comisión Organizadora del "XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo" invitan a participar del mismo a socios, investigadores, profesionales, organismos oficiales y privados, empresas, productores y estudiantes de nuestro país y del extranjero comprometidos con el estudio y desarrollo del conocimiento del suelo.

El programa del Congreso incluye:

- Mas de 500 trabajos científicos que serán expuestos oralmente y como posters
- Seis conferencias magistrales a cargo de científicos extranjeros y nacionales
- Ocho mesas redondas, dos talleres, un panel y cuatro cursos

Vea el Programa Completo en www.suelossaljuy.org.ar

Costos de inscripción:

Socio Activo de la AACS (con cuota al día)	Adherente o No Socios	Oyentes, Estudiantes de grado (*)
\$200	\$400	\$70

(*) Con presentación de Libreta Universitaria

Más información en:

Fondo Especial del Tabaco . Pueyrredón 378, Salta.

Tel. (0387)-4220300

comision@suelossaljuy.org.ar

www.suelossaljuy.org.ar - www.suelos.org.ar



Suscripción

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas para el Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

INPOFOS Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641 ABO) Acassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: lpisauri@inpofos.org

Nombre y Apellido:

Institución o Empresa:

Principal Actividad:

Calle: Nro.: C.Postal:

Localidad: Provincia:

E-mail: Teléfono:

¡MUCHAS GRACIAS!