



INFORMACIONES AGRONÓMICAS

de Hispanoamérica



Marzo 2011 · No. 1

CONTENIDO

Del diagnóstico a la aplicación: Conceptos básicos y prácticos para la nutrición de cultivos.....	1
Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa.....	6
Fertilización con fósforo y azufre en rotación de cultivos del centro de Santa Fe, Argentina: Beneficios productivos y económicos y evolución del P extractable...	9
Siembra directa, rotaciones y fertilidad para una agricultura sostenible con énfasis en las condiciones de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.....	14
Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por medio de la intensificación agrícola.....	22
Retiro del Dr. José Espinosa.....	25
Cursos y Simposios.....	26
Publicaciones Disponibles.....	27

Director: Dr. Fernando García

International Plant Nutrition Institute
Programa Cono Sur de Latinoamérica
Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

ISSN en trámite

No. de Registro de Propiedad Intelectual en trámite

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

www.ipni.net

DEL DIAGNÓSTICO A LA APLICACIÓN: CONCEPTOS BÁSICOS Y PRÁCTICOS PARA LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Antonio P. Mallarino*

Introducción

La cuidadosa planificación del manejo de nutrientes siempre es importante para los productores, pero lo es especialmente en estos tiempos de cambios bruscos e imprevistos en los precios de los fertilizantes y los productos agrícolas, así como por la mayor preocupación de la sociedad con respecto a la calidad de las aguas. Los altos precios de los fertilizantes no serían un problema si existiese un correspondiente aumento de los precios de los productos agrícolas que mantengan o mejoren la relación precios - insumo/producto. Las fluctuaciones imprevistas en las relaciones de precios complican las decisiones respecto a la fertilización y estimulan a los productores a reducir las dosis de aplicación. En los países desarrollados, una reducción en las dosis de aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P) es vista con buenos ojos por el público y las agencias estatales a cargo del control de la calidad del ambiente. Sin embargo, una reducción de las dosis de N y P en todos los campos o condiciones de producción no es una buena decisión, porque no necesariamente va a aumentar la rentabilidad de la producción. Por esta razón, productores y agrónomos consultores deben tener presentes algunos principios básicos de manejo de nutrientes y posibles alternativas prácticas para este manejo, especialmente si consideramos que pocas veces existe una única manera de interpretar los análisis de suelos y decidir las dosis de fertilización para todas las condiciones de producción. La forma de encarar las alternativas posibles son muy diferentes para el caso de nutrientes móviles en el suelo, como el N, que para nutrientes relativamente inmóviles como P y potasio (K). En este artículo se discuten los conceptos básicos y las alternativas prácticas para el manejo de P que van desde las bases del diagnóstico hasta interpretaciones para el manejo de la fertilización.

El análisis de suelo y las calibraciones

El uso del análisis de suelo nunca está libre de error, pero es una herramienta de diagnóstico muy útil para decidir las dosis de fertilización. Si bien el muestreo del suelo y el análisis de laboratorio tienen un costo, el valor real se ha reducido significativamente en los últimos años si se compara con los precios de los fertilizantes y los precios de los productos agrícolas. En el mundo existen varios métodos de análisis para P que a menudo dan resultados diferentes. Aun el mismo método de análisis puede dar resultados que no son directamente comparables en suelos de propiedades químicas y mineralógicas muy contrastantes. Esto se debe a

* Departamento de Agronomía - Iowa State University, Ames, Iowa, Estados Unidos.
Correo electrónico: apmallar@iastate.edu

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fé 910 (B164ABO) Acassuso • Telf/Fax.: 54 11 4798 9939
Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • Buenos Aires - Argentina • www.ipni.net/lasc

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

que el análisis de P del suelo (así como el de otros nutrientes), no mide la cantidad de P disponible en el suelo para los cultivos, sino solamente cierta cantidad que es proporcional a la cantidad disponible. Por lo tanto, los métodos de análisis de suelo deben calibrarse para diferentes suelos de una región o país. El proceso de calibración incluye la determinación del valor crítico del análisis o el rango de valores que separan suelos donde hay respuesta probable a la fertilización de los suelos donde la respuesta es poco probable (Dahnke y Olson, 1990). En la mayoría de las regiones o países donde se han calibrado los análisis de suelo, se establecen categorías de interpretación que generalmente son muy baja, baja, media, alta y muy alta, en relación a la suficiencia del nutriente en cuestión. Estas categorías a menudo difieren entre cultivos porque las necesidades pueden ser diferentes y a veces también entre suelos con propiedades contrastantes.

Una vez que se dispone de los datos de los experimentos de calibración conducidos en el campo, no existe un método único, que sea siempre el mejor, para determinar el nivel o rango crítico ni las clases interpretativas. Se puede usar una variedad de modelos matemáticos para estimar el nivel o rango crítico, pero todos imparten un cierto grado de sesgo y con todos hay un cierto grado de incertidumbre. Además, los cálculos del nivel crítico pueden apuntar a relaciones agronómicas fijas, como por ejemplo máximo rendimiento, o relaciones económicas tales como el óptimo económico basado en las relaciones de precios que son de naturaleza cambiante. La investigación ha demostrado que se pueden determinar varios niveles críticos, para un mismo método, suelo, o cultivo, todos con cierta validez dependiendo de los modelos usados y de las condiciones asumidas por los investigadores (Mallarino y Blackmer, 1992). Es importante entender que las interpretaciones del análisis de suelo y las recomendaciones de fertilización siempre reflejan la opinión de los investigadores en cuanto a la filosofía de manejo de la nutrición y de la producción.

Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilización

La filosofía fundamental para interpretar el análisis de suelo y desarrollar recomendaciones de fertilización varía mucho a través de las regiones o países dependiendo de la forma de pensar de los investigadores y/o extensionistas envueltos en el proceso. Tradicionalmente estas filosofías se agrupan en dos claros conceptos: 1) el concepto de "nivel de suficiencia" y 2) el concepto de "subir y mantener". En su forma estricta, el nivel de suficiencia establece que hay un nivel de nutriente por debajo del cual hay respuesta a la fertilización. Cada nutriente tiene su nivel de suficiencia y deficiencia, se fertiliza cada cultivo con la dosis óptima de acuerdo al nivel de cada nutriente y se reconoce que la dosis óptima de un nutriente puede ser afectada por el contenido de otros nutrientes en el suelo. El concepto de subir y luego mantener se basa en el poder residual de los fertilizantes fosfatados y potásicos y establece que si el contenido del nutriente determinado por el análisis está por debajo del nivel óptimo se debe fertilizar no solo para alcanzar el máximo rendimiento sino para subir el nivel del nutriente hasta el

nivel óptimo en un plazo determinado. En algunos casos se interpreta mal este concepto y se recomienda fertilizar con lo que el cultivo va a remover en el grano cosechado aún cuando los niveles de nutriente en el suelo sean altos y la probabilidad de respuesta sea casi nula.

Las metodologías usadas en los diferentes estados de los Estados Unidos son bastante similares y representan posiciones intermedias entre los conceptos del nivel de suficiencia y subir y mantener. Las recomendaciones para las categorías bajas a veces incluyen sólo la dosis que daría el máximo rendimiento económico en la mayoría de las condiciones, pero a veces incluyen las dosis para maximizar el rendimiento y pueden incluir un componente para subir el nivel del nutriente en el suelo paulatinamente. Sin embargo, ningún estado recomienda una única aplicación para tratar de llegar inmediatamente al nivel de nutriente que determina el máximo. En algunos estados se especifica la proporción de la dosis que mantendría el nivel inicial de nutriente y la proporción para lograr la máxima respuesta y subir el nivel. En el estado de Iowa, en el cinturón maicero norteamericano, las dosis recomendadas para suelos deficientes son las estimadas para alcanzar el máximo rendimiento con una alta probabilidad. Las dosis recomendadas para las categorías muy baja y baja suben el nivel de nutriente hasta el óptimo en un período de cuatro a seis años, dependiendo especialmente de los niveles de rendimiento. El tipo de suelo no es muy importante en Iowa para desarrollar la recomendación, porque si bien hay suelos diferentes, las características que determinan la eficiencia de la aplicación de P y el uso de P por los cultivos no son muy diferentes para los suelos predominantes.

Es importante considerar que en la mayoría de los suelos del cinturón maicero y de muchas zonas templadas aún las dosis óptimas económicas de fertilización resultan en un incremento paulatino de los niveles de P en el suelo. Esto se explica por las propiedades químicas y mineralógicas de los suelos (fijan poco P), la absorción y remoción parcial del P aplicado durante el primer cultivo, el reciclaje de P en los residuos, y la transferencia de P de horizontes profundos a los superficiales (Dodd y Mallarino, 2005). Estas condiciones y procesos permiten que se pueda manejar el nivel de P en el suelo a corto o mediano plazo.

En Iowa no se considera la meta de rendimiento para las recomendaciones correspondientes a las categorías bajas. Sin embargo, la dosis de mantenimiento para la categoría denominada óptima está basada exclusivamente en la remoción promedio de P en el grano, ensilaje o heno. Este es un aspecto importante de la filosofía de fertilización utilizada en la mayor parte de los Estados Unidos y daría para mucha discusión que no es posible en este artículo. En gran parte del cinturón maicero, la dosis de aplicación y la remoción de P con la cosecha son los dos factores más importantes que determinan la evolución de los niveles de P y K en los suelos. En esta región, la variación del tipo de suelo a menudo no es importante y cuando hay un efecto del tipo de suelo, éste es en gran parte debido a las diferencias en el nivel de rendimiento. Resultados de ensayos de larga duración en suelos y zonas climáticas diferentes son la base

Tabla 1. Interpretaciones del análisis de suelo para P y ejemplos de recomendaciones de fertilización en Iowa, Estados Unidos, para dos niveles de rendimiento de maíz y soja. †

Nivel de P Bray-1 Subsuelo	0-15 cm ppm	Categoría	Rendimiento de Maíz		Rendimiento de Soja	
			8 000 kg	12 000 kg	3 000 kg	4 000 kg
			kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹			
Baja (< 8 ppm)	0-8	Muy baja	112	112	90	90
	9-15	Baja	84	84	67	67
	16-20	Óptima	54	80	40	67
	21-30	Alta	‡	‡	0	0
	> 31	Muy alta	0	0	0	0
Alta (> 9 ppm)	0-5	Muy baja	112	112	90	90
	6-10	Baja	84	84	67	67
	11-15	Óptima	54	80	40	67
	16-20	Alta	‡	‡	0	0
	> 21	Muy alta	0	0	0	0

† Adaptado de Sawyer et al. (2002). El nivel de rendimiento se utiliza sólo para determinar la fertilización para la categoría Óptima, para la cual se recomienda mantenimiento basado en remoción.

‡ Se recomienda aplicar una dosis baja de fertilizante a la siembra con suelo muy húmedo y frío ó con gruesa cubierta de residuos.

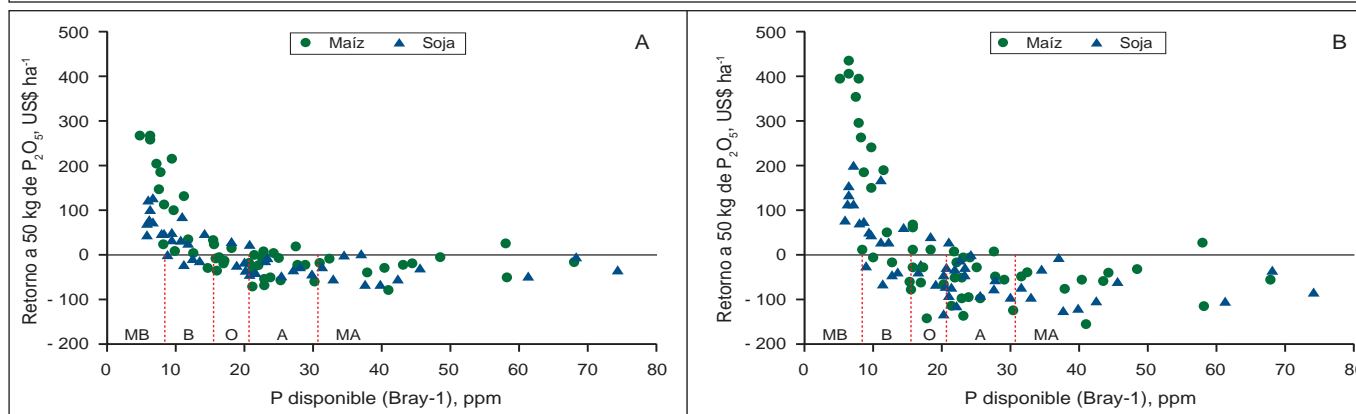


Figura 1. Retornos netos a la fertilización fosfatada para diferentes niveles de P disponible y de precios. A: Grano de maíz y soja a US\$ 80 y US\$ 200 t⁻¹, respectivamente y P a US\$ 0.70 kg⁻¹ de P₂O₅. B: Grano de maíz y soja a US\$ 167 y US\$ 367 t⁻¹, respectivamente y P a US\$ 0.88 kg⁻¹. Categorías interpretativas: muy baja (MB), baja (B), óptima (O), alta (A), muy alta (MA). Adaptado de Mallarino (2009). Precios expresados en dólares americanos (US\$).

de esta recomendación. Este tipo de información es útil porque permite estimar la cantidad de fertilizante a agregar para llegar a un nivel deseado del nutriente en el suelo, pero también sirve para determinar la cantidad a agregar periódicamente para mantener el nivel deseado.

Esta filosofía para el uso del análisis de suelo y el manejo de la fertilización tiene varias ventajas. Es muy sencilla de implementar, implica poco riesgo de perder posible respuesta, implica bajos costos de aplicación, es una buena opción para suelos con poca o moderada capacidad de retención de P y K y no requiere de muestreos de suelo anuales. Con esta metodología, los costos de aplicación y el tiempo dedicado al manejo son significativamente menores. Esto se debe a que la aplicación de dosis de mantenimiento o aquellas que con seguridad producen el máximo rendimiento permiten el uso de métodos de aplicación sencillos, baratos y que requieren poca atención. Esto incluye la fertilización al voleo y la aplicación de las necesidades de dos cultivos en una sola vez, normalmente antes del cultivo más exigente. Sin embargo, esta filosofía puede disminuir el retorno neto por kg de fertilizante agregado y puede que no

sea una práctica recomendable en suelos con muy alta capacidad de retención de P o K o cuando la tenencia de la tierra es precaria, por ejemplo arrendamientos anuales. Con la filosofía estricta del nivel de suficiencia se trata de aplicar la dosis óptima que da el máximo rendimiento económico para un cultivo, por esta razón, es necesaria una mayor precisión del análisis de suelo, las interpretaciones y las recomendaciones. Además, puede requerir muestreos de suelos anuales o bianuales, aumenta el riesgo de perder respuesta si se aplica menos fertilizante del que se debe y requiere más atención. Probablemente sea una buena práctica en suelos muy fijadores de P o K o cuando el productor tiene una limitante grave de dinero disponible o tenencia de la tierra precaria, como en el caso de pequeños productores.

Consideración de incertidumbre y relaciones de precios

Aunque las calibraciones de los métodos de análisis de suelo fueran perfectas, siempre hay cierto grado de incertidumbre respecto a la relación entre el resultado del análisis de suelo y la suficiencia del nutriente para los cultivos. La incertidumbre

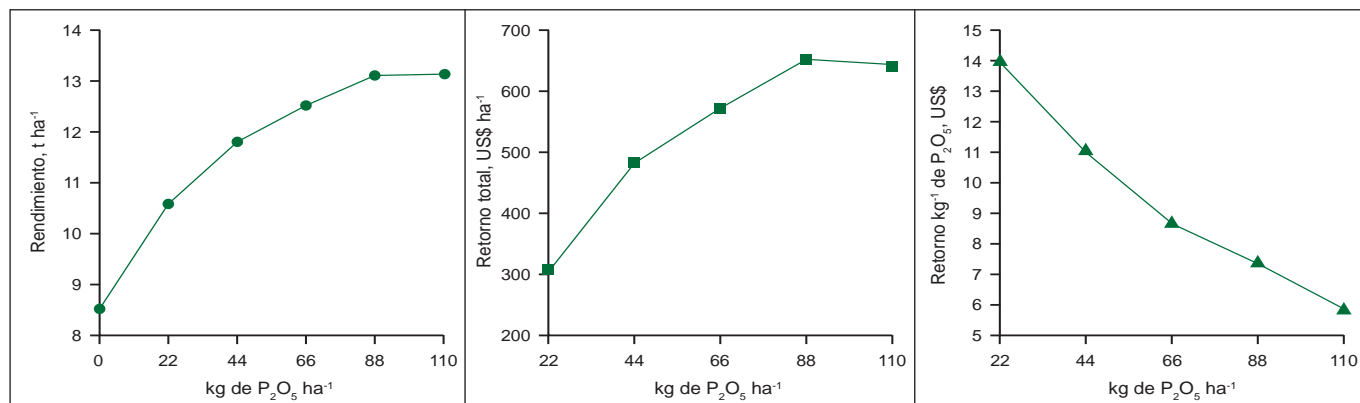


Figura 2. Respuesta de maíz a la fertilización fosfatada en un suelo de Iowa, Estados Unidos, con P disponible muy bajo en rendimiento, retorno neto total, y retorno por kg de P₂O₅ aplicado. Se asumieron precios de US\$ 167 t⁻¹ de maíz y US\$ 0.88 kg⁻¹ de P₂O₅. Adaptado de Mallarino (2009).

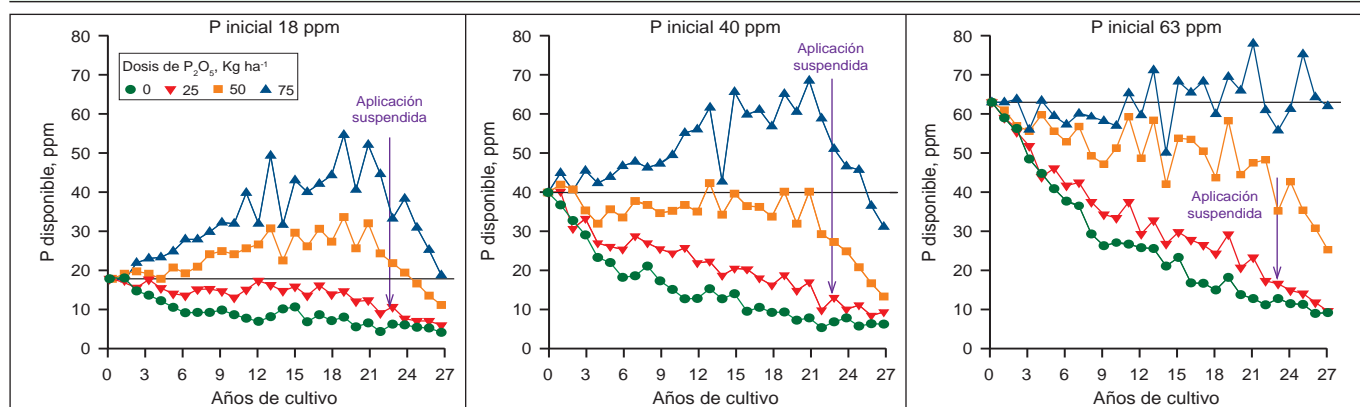


Figura 3. Cambios en P disponible (Bray-1) a través del tiempo para diferentes niveles iniciales y dosis anuales de fertilización fosfatada para la rotación maíz-soja. Adaptado de Mallarino (2009).

resulta de errores de muestreo (representatividad del área muestreada), errores de análisis, dificultad de predecir con un análisis puntual en el tiempo la cantidad de nutriente disponible durante los períodos más críticos del cultivo y dificultad para predecir la eficiencia de la fertilización para cada condición particular. Por lo tanto, es importante que las investigaciones de calibración de métodos de análisis determinen la probabilidad de respuesta del cultivo para distintos resultados del análisis. También es importante que las publicaciones con interpretaciones y recomendaciones indiquen estas probabilidades. En Iowa, por ejemplo, la probabilidad de respuesta para las categorías usadas en el estado es de aproximadamente 80, 65, 25, 5, y 1 % para las categorías muy baja, baja, óptima, alta y muy alta (Sawyer et al., 2002). Es importante notar que la clase óptima no indica cero probabilidad de respuesta sino 25 % de una respuesta pequeña a moderada (Tabla 1).

La relación de precios afecta a la dosis de fertilización que se debe aplicar para lograr el máximo retorno económico neto al uso de fertilizante. Independientemente de la filosofía para el manejo, los retornos netos a la fertilización son mayores a niveles bajos de análisis de suelo donde hay una alta probabilidad de una respuesta grande, los retornos disminuyen a medida que los niveles suben y pueden hacerse negativos si se fertiliza con valores altos donde no hay respuesta (Figura 1). El retorno neto por kg de fertilizante aplicado es máximo a niveles de análisis bajos y con dosis bajas y disminuye a medida que los niveles de análisis o las

dosis aumentan. Esto se debe a la característica forma curvilínea con incrementos decrecientes de la respuesta al aumento de fertilidad del suelo o al aumento de las dosis de fertilizantes (Figura 2). El máximo retorno económico se obtiene con una dosis de fertilizante algo menor a la necesaria para el máximo rendimiento. Una dosis de fertilización baja en suelos con niveles de P bajos resulta en altos retornos por kg de fertilizante aplicado, pero no logra el máximo retorno. En suelos con niveles de P cercanos al óptimo o mayores, la fertilización puede mantener o aumentar los niveles de P pero puede que no resulte en un beneficio económico a corto plazo (para una cosecha o ciclo).

Qué nivel de análisis de suelo debe mantenerse?

La remoción de P con la cosecha de granos o forraje, junto con la aplicación de P con fertilizantes o estiércol es el factor más importante que determina los cambios de niveles de P del suelo en el cinturón maicero y muchas zonas templadas del mundo. Los niveles de rendimiento, y, por lo tanto, de remoción de P y otros nutrientes, varían mucho entre campos, pero también pueden variar significativamente dentro de un campo.

La Figura 3 muestra como ejemplo la evolución del nivel de P en un suelo de Iowa con los años como consecuencia de la fertilización y la producción de maíz y soja. Esta figura también muestra que la dosis necesaria para mantener cierto nivel inicial de P en el suelo es mayor a medida que el nivel inicial aumenta y que la tasa de declinación es mayor a niveles de P altos y durante los primeros años cuando la fertilización

se suspende. Este resultado también se ha observado en otras zonas del mundo, incluida Argentina. Aun cuando todavía no se entiende bien la razón para estas tendencias, se piensa que se debe a una mayor absorción y concentración de P con niveles altos y también mayores pérdidas de P con escurrimiento superficial o a través del perfil del suelo.

En el cinturón maicero, la investigación ha demostrado que un nivel óptimo de P (Bray-1, 16-20 ppm a 15 cm de profundidad) se mantiene o aumenta un poco al reponer el P extraído con las cosechas siempre y cuando los rendimientos y concentración de P de la porción cosechada se estime correctamente. Sin embargo, otras investigaciones han mostrado que la relación entre balance neto de P (aportes y remoción) y el análisis de suelo es buena a través de varios años, pero puede ser pobre en el corto plazo (Figura 4).

El concepto de mantener un deseado nivel de P o K disponible se usa en la mayoría de los estados de los Estados Unidos y en otras regiones templadas y claramente refleja uno de los aspectos más importantes de la filosofía predominante. Este concepto no se aplica cuando se sigue una filosofía estricta de nivel de suficiencia. Sin embargo, en muchas partes no se define bien cuál es el criterio seguido para elegir el nivel o rango de valores de análisis de suelo a mantener. Las recomendaciones de Iowa claramente indican que el nivel de P disponible que se recomienda mantener (la clase óptima) es aquel nivel que resulta en un 25 % de respuesta pequeña a moderada. Una dosis de P basada en remoción sin duda aplica suficiente P para producir el máximo rendimiento de un cultivo o rotación (cuando se aplica al maíz la cantidad para la rotación maíz-soja). Sin embargo, esto no quiere decir que la dosis de fertilización basada en reposición sea la dosis óptima económica para un cultivo. En muchos casos, una dosis menor sería suficiente, pero predecir con precisión cuál sería esa dosis para cada campo o año en particular es difícil y la aplicación de una dosis muy baja reduce el retorno económico total y aumenta el riesgo de deficiencias futuras. Por lo tanto, el uso del concepto de mantenimiento refleja una filosofía de manejo de nutrientes a largo plazo y reduce el riesgo de perder rendimiento.

Otros factores afectan en forma significativa el manejo de la fertilización en general y el nivel de nutriente disponible que se quiere o puede mantener. Dos aspectos importantes son la filosofía del productor o consultor respecto la administración de la empresa agrícola y la actitud respecto al riesgo de perder retornos económicos debido a deficiencias o excesos de fertilización. La mayoría de los productores de Iowa y del cinturón maicero piensan que la fertilidad es la base del sistema productivo y que aún pequeñas deficiencias de nutrientes que limitan el rendimiento reducen la productividad y rentabilidad del sistema de producción. Muchos piensan que mantener un nivel de análisis que determina un 25 % probabilidad de respuesta es muy conservador y prefieren mantener niveles con una probabilidad de respuestas de aproximadamente el 5 % (la clase alta). Este es especialmente el caso cuando los precios de los fertilizantes son bajos y se sospecha que van a subir en el futuro. Debido al mismo razonamiento, los productores que empiezan a trabajar en suelos con niveles de P mayores al óptimo, ya sea

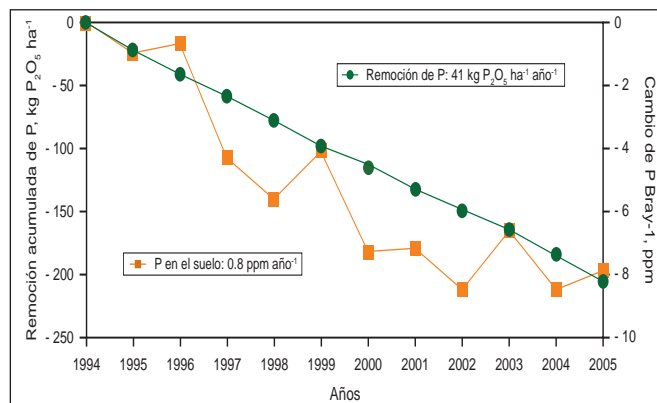


Figura 4. Cambios en P disponible (Bray-1) y remoción de P a través del tiempo para suelos sin fertilización fosfatada manejados con maíz y soja (promedios de cinco sitios). Adaptado de Mallarino y Prater (2007).

naturalmente o porque anteriormente se habían subido los niveles, son reacios a esperar para fertilizar hasta que los niveles bajen del nivel óptimo. Otro factor importante es la tenencia de la tierra. Fixen (1992) demostró que los intereses bancarios y tenencia de la tierra tienen un gran impacto en el nivel de P o K disponible que se considera óptimo y que se debe mantener. Hay muchas formas de tenencia de tierra y contratos de producción que no se pueden discutir en detalle en este artículo. Es claro que bajas dosis de fertilización aplicadas a suelos con niveles bajos no es una buena decisión económica aún con tenencia incierta en el futuro porque la probabilidad de reducir el beneficio económico a la fertilización es grande y se puede limitar el beneficio económico al sistema de producción en general. Por otro lado, mantener un nivel de P disponible donde la probabilidad de respuesta es baja pensando en la productividad futura puede no ser una buena decisión cuando la tenencia de tierra no es segura por lo menos por dos o tres años.

Bibliografía

- Dahnke, W.C., y R.A. Olson. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. p. 45-71. In R.L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis, 3rd ed. SSSA, Madison, WI.
- Dodd, J.R., y A.P. Mallarino. 2005. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybean rotations. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1118-1128.
- Fixen, P. 1992. Role of land tenure and other factors in soil P interpretations. p. 125-133. In North-Central Extension-Industry Soil Fertility Conf. Proceedings. Nov. 18-19. Vol. 8. Bridgeton, MO.
- Mallarino, A.P., y A.M. Blackmer. 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn. Agron. J. 84:850-856.
- Mallarino, A.P., y J. Prater. 2007. Corn and soybean grain yield, phosphorus removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. p.241-253. In The Integrated Crop Management Conf. Proceedings. Nov. 29-30, 2007. Ames, IA. Iowa State Univ. Extension.
- Mallarino, A.P. 2009. Long term phosphorus studies and how they affect recommendation philosophies. p. 6-12. In North-Central Extension-Industry Soil Fertility Conf. Proceedings. Nov. 14-15. Vol. 25. Des Moines, IA.
- Sawyer, J.E., A.P. Mallarino, R. Killorn, y S.K. Barnhart. 2002. General guide for crop nutrient recommendations in Iowa. Publ. Pm-1688 (Rev.). Iowa State Univ. Extension. Ames, IA. ❖

USO AGRONÓMICO DE LA ROCA FOSFÓRICA PARA APLICACIÓN DIRECTA

S.H. (Norman) Chien¹, Luis Prochnow² y Robert Mikkelsen³

Introducción

En muchos suelos ácidos del mundo, especialmente en los trópicos, los problemas de fertilidad limitan la producción de cultivos. Estos suelos tienen generalmente bajo contenido de fósforo (P) disponible para las plantas y a menudo tienen una alta capacidad de fijación de P, lo que resulta en una baja eficiencia de uso de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua como el superfosfato triple (SFT) y el fosfato diamónico (DAP). En estos casos, la aplicación al suelo de roca fosfórica (RF) sin procesar puede ser una alternativa atractiva.

Propiedades de la roca fosfórica

El mejor indicador del desempeño agronómico de la RF es la solubilidad, característica que normalmente se mide en el laboratorio usando citrato de amonio neutro, ácido cítrico al 2 % o ácido fórmico al 2 %. La solubilidad de la RF refleja las características químicas y mineralógicas de minerales específicos. El principal mineral en la mayoría de las RF es la apatita, pero ésta varía ampliamente en sus propiedades físicas, químicas y cristalográficas.

La fórmula química de la apatita de algunas RFs representativas se presenta en la **Tabla 1**. En general, la solubilidad en citrato de amonio se incrementa a medida que aumenta la sustitución de CO_3^{2-} por PO_4^{3-} en la estructura de la apatita. Se conoce que la solubilidad de la RF correlaciona bien con la respuesta del cultivo (**Figura 1**).

Generalmente, la solubilidad de la RF se incrementa a medida que se reduce el tamaño de las partículas. Sin embargo, la efectividad agronómica de las RFs altamente reactivas molidas y sin moler no sigue estrictamente este patrón de comportamiento. Por ejemplo, la solubilidad de una RF reactiva sin moler (-35 mesh; 0.15 mm) es menor que la misma RF molida (-100 mesh; 0.15 mm), pero su efectividad agronómica es similar en condiciones de campo (Chien y Friese, 1992) e invernadero (**Fotos 1 y 2**). No es suficiente comparar la solubilidad y la efectividad agronómica de varias RFs basándose solamente en la distribución del tamaño de las partículas. Una base de datos sobre la solubilidad de muchas RFs de diversos sitios en el mundo fue compilada por Smalgerger et al. (2006).

Propiedades del suelo

pH: Entre las propiedades del suelo, el pH es el que tiene la mayor influencia en la efectividad agronómica de la RF. Chien (2003) encontró, en un estudio conducido en 15

suelos de características diferentes, que la efectividad agronómica relativa (EAR) de la RF Gasa (Túnez), comparada con el SFT (EAR = 100 %) se incrementa a medida que el pH del suelo se reduce. Sin embargo, el pH por sí solo explica solamente el 56 % de la variabilidad de la EAR en este estudio (ecuación 1). Al considerar también el contenido de arcilla (factor relacionado con la capacidad amortiguadora del pH y la capacidad de intercambio catiónico del suelo) fue posible explicar el 74 % de la variabilidad de EAR (ecuación 2). Debido a que el pH se expresa en una escala logarítmica, la eficiencia agronómica de la RF se reduce apreciablemente a pHs superiores a 5.5. Por esta razón, el valor agronómico de la

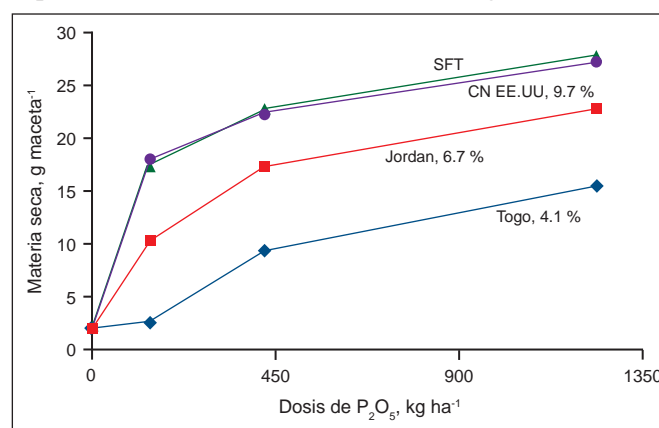


Figura 1. Materia seca de maíz fertilizado con RF molida de diferente solubilidad en citrato de amonio, comparada con una fuente de P soluble (SFT) en un suelo ácido (pH 4.8) (Chien y Friesen, 1992). La solubilidad en citrato de cada RF se muestra como porcentaje de P₂O₅.



Foto 1. Respuesta de la soja a la aplicación de diferentes fuentes de P en Brasil.

¹ Consultor privado, anteriormente científico principal del IFDC, Muscle Shoals, Alabama, Estados Unidos. Correo electrónico: nchien@comcast.net.
² Director del Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI), Oficina para Brasil. Piracicaba, SP, Brasil. Correo electrónico: lprochnow@ipni.net.
³ Director del Internacional Plant Nutrition Institute (IPNI), Oficina para el Oeste de los Estados Unidos. La Merced, California, Estados Unidos. Correo electrónico: rmikkelsen@ipni.net.

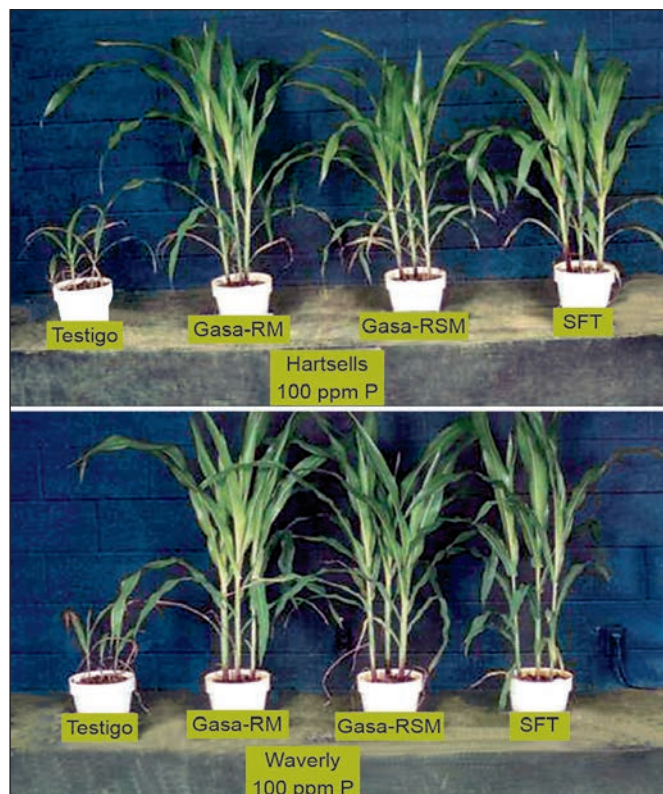


Foto 2. Comparación del efecto de la aplicación de RF molida (RM) y sin moler (RSM) en el crecimiento de maíz en dos suelos diferentes (Hartsells, pH 4.8 y Waverly, pH 5.3). Se compara en invernadero la RF de Gasa (Túnez) con SFT y un testigo sin fertilizar.

RF se reduce cuando el pH del suelo está por encima de este valor.

Ecuación 1:

$$EAR, \% = 181.4 - 21.1 \text{ pH} \quad (R^2 = 0.56)$$

Ecuación 2:

$$EAR, \% = 163.4 - 20.6 \text{ pH} + 0.78 \text{ arcilla} \quad (R^2 = 0.74)$$

Capacidad de fijación de P en el suelo: La liberación de P de la RF generalmente se incrementa con un mayor poder de fijación de P del suelo. La adsorción y la precipitación del P soluble crean un sumidero que reduce la concentración del P en la solución del suelo y favorece la disolución de la RF. Sin embargo, a medida que se incrementa la capacidad de fijación, la concentración del P liberado al inicio del proceso de solubilización de la roca

puede reducirse más rápidamente que en el caso de fuentes de P solubles. Por tanto, el efecto negativo de la capacidad de fijación en la EAR de la RF puede ser más significativo en los cultivos de corto plazo como las hortalizas. Para los cultivos a largo plazo o cultivos a corto plazo usando P residual, la EAR de la RF tiende a incrementarse, en comparación con las fuentes solubles con el incremento de la capacidad de fijación de P.

La **Figura 2** muestra que la EAR de varias RFs de diferente reactividad se incrementa desde el primer al tercer cultivo de frijol cultivado en un suelo de alta capacidad de fijación de P (Chien, 2003). Este comportamiento se debe a que el efecto residual del SFT se reduce rápidamente en suelos con alta capacidad de fijación y a la lenta disolución de la RF en el suelo.

Presencia de materia orgánica: Debido a que la disolución de la RF también libera calcio (Ca), en los suelos que inicialmente tienen un contenido alto de Ca la disolución de la RF es normalmente más lenta, como consecuencia de la ley de acción de masas. En muchos suelos tropicales el contenido de Ca es bajo y, por esta razón, presentan condiciones más favorables para la disolución de la RF. Por otro lado, se ha reportado el efecto positivo de la materia orgánica en el incremento de la efectividad de la RF (Chien, 2003). Se considera que el mecanismo para que la RF se disuelva mejor es la formación de complejos químicos entre la materia orgánica y el Ca.

Prácticas de manejo

La aplicación al voleo seguida de una incorporación con labranza es la forma más efectiva de agregar RF al suelo. Esta técnica maximiza la reacción de la RF con el suelo y minimiza la interacción entre las partículas de la roca. No se recomienda la aplicación en banda de RF porque esto limita el contacto de las partículas con el suelo y reduce la disolución. La efectividad de la RF también se reduce con la granulación de las partículas finas (Chien, 2003).

El manejo de la aplicación de RF para arroz de riego requiere de atención especial debido a que el pH se incrementa con la inundación. La efectividad agronómica de RFs reactivas puede reducirse drásticamente cuando se aplican al momento o después de la inundación, sin embargo, la RF puede trabajar bien si se aplica al suelo por lo menos dos semanas antes de la inundación (Chien, 2003). El añadir cal a los suelos ácidos es una práctica común para elevar el pH y reducir la toxicidad del

Tabla 1. Solubilidad y fórmula empírica de apatitas en algunas rocas fosfóricas sedimentarias.

Procedencia	P ₂ O ₅ , % (extraído con CAN*)	Fórmula empírica
Carolina del Norte, Estados Unidos	9.7	Ca _{9.53} Na _{0.34} Mg _{0.13} (PO ₄) _{4.77} (CO ₃) _{1.23} F _{2.49}
Gasa, Túnez	8.7	Ca _{9.54} Na _{0.32} Mg _{0.12} (PO ₄) _{4.84} (CO ₃) _{1.16} F _{2.46}
Bahía Inglesa, Chile	6.9	Ca _{9.59} Na _{0.30} Mg _{0.12} (PO ₄) _{4.90} (CO ₃) _{1.10} F _{2.44}
Florida Central, USA	5.3	Ca _{9.74} Na _{0.19} Mg _{0.07} (PO ₄) _{5.26} (CO ₃) _{0.74} F _{2.30}
Tennessee, USA	3.7	Ca _{9.85} Na _{0.11} Mg _{0.04} (PO ₄) _{5.54} (CO ₃) _{0.46} F _{2.18}
Patos de Minas, Brasil	2.5	Ca _{9.96} Na _{0.03} Mg _{0.01} (PO ₄) _{5.88} (CO ₃) _{0.12} F _{2.05}

* Citrato de amonio neutro (CAN)

aluminio (Al). Sin embargo, el incremento de pH y el Ca adicionado con la cal afectan la disolución de la RF. Por esta razón, las prácticas de encalado deben balancear la necesidad de controlar la toxicidad de Al con la reducción de la disolución de la RF (Chien y Friesen, 1992). Se recomienda encalar para incrementar el pH del suelo hasta llegar a un rango entre 5.2 y 5.5 para de esta forma optimizar la efectividad agronómica de la RF.

Cultivos

La utilidad de la RF como fuente de P varía con el cultivo. En general, la efectividad de la RF es mayor en cultivos de largo plazo o perennes que en cultivos de corto plazo o anuales. La RF se ha usado extensivamente en muchos cultivos perennes como caucho, palma aceitera y té en Asia. La RF se ha usado también con éxito en pastos perennes.

La acidificación de la rizósfera es responsable de algunas de las diferencias entre cultivos con respecto a la utilización de la RF. En un estudio que utilizó seis

especies, Van Ray y Van Diest (1979) encontraron que la roca de Gasa (Túnez) era equivalente al SFT en trigo, cultivo que tuvo el pH más bajo en la rizósfera en comparación con las otras especies.

Se conoce que la canola es eficiente para utilizar la RF. Se considera que la exudación de ácidos orgánicos por la raíz contribuye a la disolución de la RF. Habib et al. (1999) reportaron que la canola era capaz de utilizar la roca de Ain Layloun (Syria), una roca de mediana reactividad, aun en suelos calcáreos. Subsecuentemente, Chien et al. (2003) encontraron que la EAR de nueve RFs utilizadas en canola sembrada en un suelo alcalino (pH 7.8) se incrementó de 0 a 88 % a medida que la solubilidad de la RF en ácido cítrico al 2 % se incrementaba de 2.1 a 13.1 % de P₂O₅ (Tabla 2).

Uso de la roca fosfórica en agricultura orgánica

La RF se utiliza en ocasiones en aplicación directa en agricultura orgánica. El éxito de la RF para la nutrición de los cultivos orgánicos depende en mucho de su reactividad en el suelo. El contenido total de P₂O₅ que aparece en el saco es irrelevante con respecto a la reactividad de la RF en el suelo. De hecho, la mayoría de las RFs de origen ígneo tienen un alto contenido de P₂O₅ (> 34 %), pero baja reactividad debido a la poca sustitución de CO₃ por PO₄ en la estructura de la apatita y, por esta razón, no son recomendadas para aplicación directa en agricultura orgánica (Chien et al, 2009). Sin embargo, los detalles de la reactividad de la roca rara vez se explican a los productores orgánicos. Los factores que afectan la efectividad de la RF en agricultura orgánica son más o menos los mismos que afectan el uso de RF en agricultura convencional. Una excepción ocurre cuando se añade RF en el proceso de compostaje, donde pueden presentarse condiciones alcalinas antes que condiciones ácidas (Chien et al., 2009), sin embargo, la quelatación del Ca derivado de la apatita por la materia orgánica puede ayudar a disolver la RF.

Continúa en la Pág. No. 13

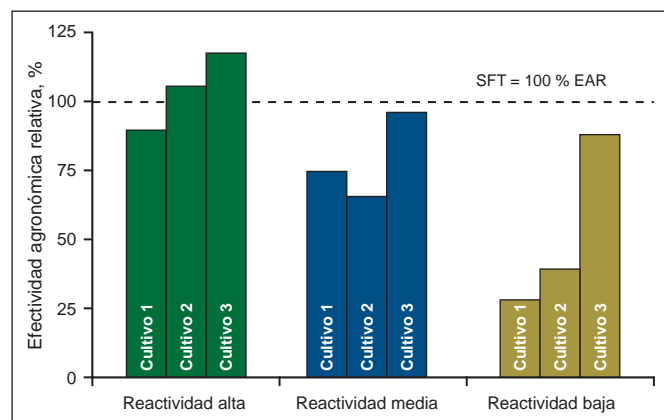


Figura 2. Efectividad agronómica relativa (EAR) de varias RFs (diferente solubilidad) en el rendimiento de tres cultivos sucesivos de frijol cultivados en un Andisol de Colombia (Chien, 2003). La EAR se calcula por comparación con el SFT. Todas las rocas se aplicaron una sola vez, en una dosis de 460 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

Tabla 2. Características de las diferentes fuentes de P y su efectividad agronómica relativa (EAR) para canola cultivada en un suelo alcalino (pH 7.8) hasta la madurez (Chien et al., 2003).

Procedencia	Total P ₂ O ₅ ¹	Soluble en 2 %	Clases de reactividad ²	EAR, %
SFT	46.2	100	-	100
Gasa (Túnez)	30.1	13.1	Alta	88
Ain Laylou (Syria)	28.1	12.2	Media alta	82
Chelesai (Kazakhstan)	17.0	10.0	Media	74
Tilemsi (Mali)	26.2	10.3	Media	72
El-Hassa (Jordan)	31.3	9.0	Media	64
Kenegesepp (Russia)	29.9	7.8	Media baja	64
Kadjari (Burkina Faso)	25.3	6.0	Baja	60
Kaiyang (China)	32.4	5.1	Baja	42
Panda Hills (Tanzania)	24.8	2.1	Muy baja	0
Testigo	-	-	-	0

¹ Como porcentaje de P₂O₅ de la roca.

² Basado en la sustitución CO₃/PO₄ en la estructura de apatita.

FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO Y AZUFRE EN ROTACIÓN DE CULTIVOS DEL CENTRO DE SANTA FE, ARGENTINA: BENEFICIOS PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS Y EVOLUCIÓN DEL P EXTRACTABLE

H.S. Vivas¹, N. Vera Candiotti¹, R. Albrecht¹, L. Martins¹ y J.L. Hotián²

Introducción

En el centro de la provincia de Santa Fe, Argentina, el doble cultivo trigo/soja es parte relevante de las rotaciones y por sí mismo constituye un sistema muy intensivo tanto en producción, como en extracción de nutrientes y es, a su vez, uno de los más dependientes de la disponibilidad hídrica. De allí la importancia de generar información involucrando varias campañas para caracterizar este sistema de producción. Por cuestiones técnicas y de riesgo, el sistema productivo deseable no es la simple secuencia trigo/soja, sino que más bien ésta debería formar parte de una secuencia de cultivos como trigo/soja-maíz-soja, para anexar los beneficios de la acumulación de agua y la fertilidad generada mediante una rotación.

Dada la amplia demanda de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) del trigo y la soja, podría aplicarse al trigo todos los requerimientos de ambos cultivos (García et al., 2001). El N, es fundamental para la gramínea, siguiéndole en importancia el P y el S (Vivas et al., 2010a), éstos últimos aportando efectos residuales y aditivos en la producción de granos (Vivas et al., 2006; Vivas et al., 2010b).

El P constituye un nutriente esencial y las condiciones de deficiencia en el suelo solo pueden remediarse mediante la aplicación de fertilizantes (Ozanne, 1962). Por su baja movilidad y con aplicaciones sucesivas, este elemento tiende a concentrarse en la superficie (Olsen et al., 1962). Esta estratificación favorece el desarrollo radicular en la superficie, pero ante un estrés temporal o prolongado de agua, su escasa movilidad le impide ser absorbido por la planta (Vivas et al., 2005; Vivas et al., 2009). Se considera que el nivel de P extractable (método Bray-Kurtz 1) en el suelo (0-20 cm), adecuado para la rotación trigo/soja, debe ubicarse por arriba de 15 ppm.

Albrecht et al. (2000), demostraron que el S es un nutriente relevante para los cultivos en el centro de Santa Fe. En suelos de la región pampeana se ha encontrado que más del 95 % del S total pertenece a formas orgánicas (Mizuno et al., 1990), el resto corresponde a compuestos inorgánicos como el $S-SO_4^{2-}$ en solución y el $S-SO_4^{2-}$ adsorbido, que constituyen las formas rápidamente tomadas por los cultivos (Havlin et al., 1999). Según Spencer y McLachlan (1975), citados por Havlin et al. (1999), las gramíneas requieren menos S que las leguminosas y crucíferas, diferencia que se refleja en las concentraciones de S en el grano (Havlin et al., 1999). A diferencia del P, el $S-SO_4^{2-}$ tiene mayor movilidad en el

suelo y puede ser absorbido por flujo masal y por difusión. Esta característica es importante para interpretar la respuesta de los cultivos a la fertilización con P y S en relación a las condiciones ambientales (disponibilidad hídrica). Las necesidades de fertilización con S en los sistemas de cultivos del centro de Santa Fe son muy recientes y se comparan con las demandas de P observadas en la zona hace alrededor de 30 años. La agricultura continua, sin aplicación de fertilizantes, produce una disminución del contenido de materia orgánica en el suelo y en consecuencia deprime el aporte de $S-SO_4^{2-}$ proveniente de la mineralización de la misma (Stevenson, 1986). Se considera que niveles superiores a 10 ppm de $S-SO_4^{2-}$ en el suelo (0-20 cm de profundidad) son adecuados para la rotación trigo/soja, aunque el diagnóstico de las deficiencias considerando este como el único parámetro no fue preciso en varios casos (Geniletti y Gutiérrez Boem, 2004; Reussi Calvo et al., 2006).

La fertilización del doble cultivo trigo/soja en una sola ocasión tiene importantes ventajas operativas al reducirse el número de aplicaciones y llegar al cultivo de soja de segunda sin otro compromiso que el de la siembra.

Los objetivos del presente estudio, conducido en el periodo 2000-2010, fueron evaluar los beneficios productivos y económicos de la fertilización con P y S sobre el doble cultivo trigo/soja como componente de una rotación trigo/soja-maíz-soja y determinar los efectos de esta fertilización en la evolución del P extractable del suelo como índice de fertilidad.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la localidad de Bernardo de Irigoyen, departamento San Jerónimo, provincia de Santa Fe, Argentina, sobre un suelo serie Clason (Argiudol típico, arcilloso fino, illítico, térmico). Se aplicó una dosis uniforme de N al trigo ($60 \text{ kg de N ha}^{-1}$), mientras que las dosis de P y S fueron variables y se aplicaron al cultivo de trigo con el propósito de fertilizar el doble cultivo por una sola vez. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron una combinación de P en la macroparcela (0, 20 y 40 kg ha^{-1}) y de S en la subparcela (0, 12, 24 y 36 kg ha^{-1}). La fertilización de N-P-S se realizó siempre al momento de la siembra del trigo (2000-2003-2006 y 2009). El P se incorporó con la sembradora, pero el N y el S se distribuyeron al voleo. La unidad experimental fue de $4.2 \times 12 \text{ m}$. El P se aplicó en

¹ INTA EEA Rafaela, Ruta 34 Km 227 - CC 22 - (2300) Rafaela, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: hvivas@rafaela.inta.gov.ar

² Cooperativa Bernardo de Irigoyen, Juan XXIII No. 128, (2248) Bernardo de Irigoyen, Santa Fe, Argentina.

forma de superfosfato triple (P = 20 %), el S como yeso (S = 18 %) y el N como urea (N = 46 %). Como se indicó, la soja de segunda no tuvo fertilización alguna.

Al inicio del experimento (2000), el contenido de materia orgánica del suelo (0-20 cm) fue de 2.9 %, el P extractable (Pe) de 11 ppm, el S-SO₄²⁻ de 9.5 ppm y el pH de 6.2. Luego de cada doble cultivo se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) para analizar el Pe con el propósito de evaluar el efecto residual como índice de fertilidad. El rendimiento y los datos de contenido de Pe se analizaron estadísticamente utilizando SAS (SAS Institute Inc, Cary NC) y se utilizó la prueba de LSD para la comparación de medias. Se realizó un análisis económico mediante el cálculo del margen bruto para el rendimiento promedio de las cuatro cosechas de trigo y las de soja de segunda, con precios de insumos y productos correspondientes al mes de agosto de 2010. La distribución de lluvias para todas las campañas se puede observar en la **Tabla 1**.

Resultados

Respuesta productiva

En todos los cultivos de trigo y soja de segunda hubo diferencias significativas en la respuesta a la fertilización con S ($p < 0.05$), mientras que el cultivo de soja no respondió significativamente a la aplicación de P en las cosechas del 2004 y 2010 (**Tabla 2**).

La falta de respuesta a la aplicación de P en la soja puede explicarse por las condiciones de estrés hídrico prevalentes durante enero, febrero y marzo del 2004 y durante enero y marzo del 2010. En estas condiciones, el P que tiene poca movilidad y está localizado mayormente en la superficie, está fuera del alcance del sistema radicular y no puede ser absorbido por la planta. En cambio, la respuesta positiva al S de todas las cosechas se explicaría por la mayor movilidad de este nutriente hacia capas profundas que lo expondría menos a las variantes hídricas que ocurren en superficie. Un estudio realizado por Chao et al. (1962) en columnas de suelo, utilizando ³⁵S un marcador, demostró claramente la migración del S-SO₄²⁻ en profundidad de acuerdo a los volúmenes de riego y las dosis de fertilización. Los patrones de distribución estuvieron determinados por las características edáficas.

Con excepción del trigo 2000, las interacciones PxS no fueron significativas ($p > 0.05$), lo cual indicaría que existe un efecto independiente y aditivo de los dos nutrientes.

Las variaciones de los efectos P y S en los cuatro doble cultivos se pueden apreciar en la **Figura 1**.

Tabla 1. Distribución de lluvias en Bernardo de Irigoyen, departamento San Jerónimo, provincia de Santa Fe, Argentina.

Meses	Trigo			
	2000-01	2003-04	2006-07	2009-10
	----- mm -----			
Marzo	75	102	87	200
Abril	153	243	70	45
Mayo	215	83	1	12
Junio	32	0	64	7
Julio	29	35	5	63
Agosto	36	67	2	1
Septiembre	76	35	9	123
Octubre	195	55	68	93
Total	811	620	306	544
	Soja de segunda			
Noviembre	197	38	120	150
Diciembre	97	85	330	209
Enero	234	85	95	77
Febrero	96	30	86	268
Marzo	139	82	483	71
Abril	89	165	67	105
Total	852	485	1 181	880

No se hizo comparación de medias con los datos de trigo 2000 debido a que se presentó una interacción PxS positiva ($P > 0.05$) entre los factores en estudio (**Figura 1a**). Por su lado, la soja 2001 tuvo respuesta creciente a los niveles de P hasta P40 y hasta S24 con las dosis de S, luego se estabilizó. En el 2003 (**Figura 1b**), el trigo respondió a P20 y P40, en cambio con S solo hubo respuesta hasta S12 y luego se estabilizó. El rendimiento de la soja 2004 tuvo un comportamiento inverso, siendo menor con las mayores dosis de P, debido al déficit hídrico y a la alta demanda de nutrientes del trigo. A pesar del estrés hídrico, las altas dosis de S lograron incrementar los rendimientos.

En el 2006 (**Figura 1c**), el trigo respondió a las dosis de P20 y P40 y solamente a S12. La soja respondió solamente al nivel P40 y al nivel S12. En el 2009 (**Figura 1d**), el trigo respondió a todos los niveles de P y solamente a la dosis S12. Con la soja no hubo respuesta a las dosis de P y para el S fueron suficientes niveles de S12.

Los incrementos porcentuales de cada dosis de P o S respecto de su correspondiente testigo P0 o S0, se pueden ver en el **Tabla 3**. Dada la interacción PxS significativa en el trigo 2000, no se especificaron sus respectivos incrementos porcentuales.

Tabla 2. Significancia de los factores P y S y su interacción en la producción de trigo y soja.

Factores	Tr00	Sj01	Tr03	Sj04	Tr06	Sj07	Tr09	Sj10
P	*	*	*	ns	*	*	*	ns
S	*	*	*	*	*	*	*	*
PxS	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* = significativo al 5 %; ns = no significativo; Tr = Trigo; Sj = Soja.

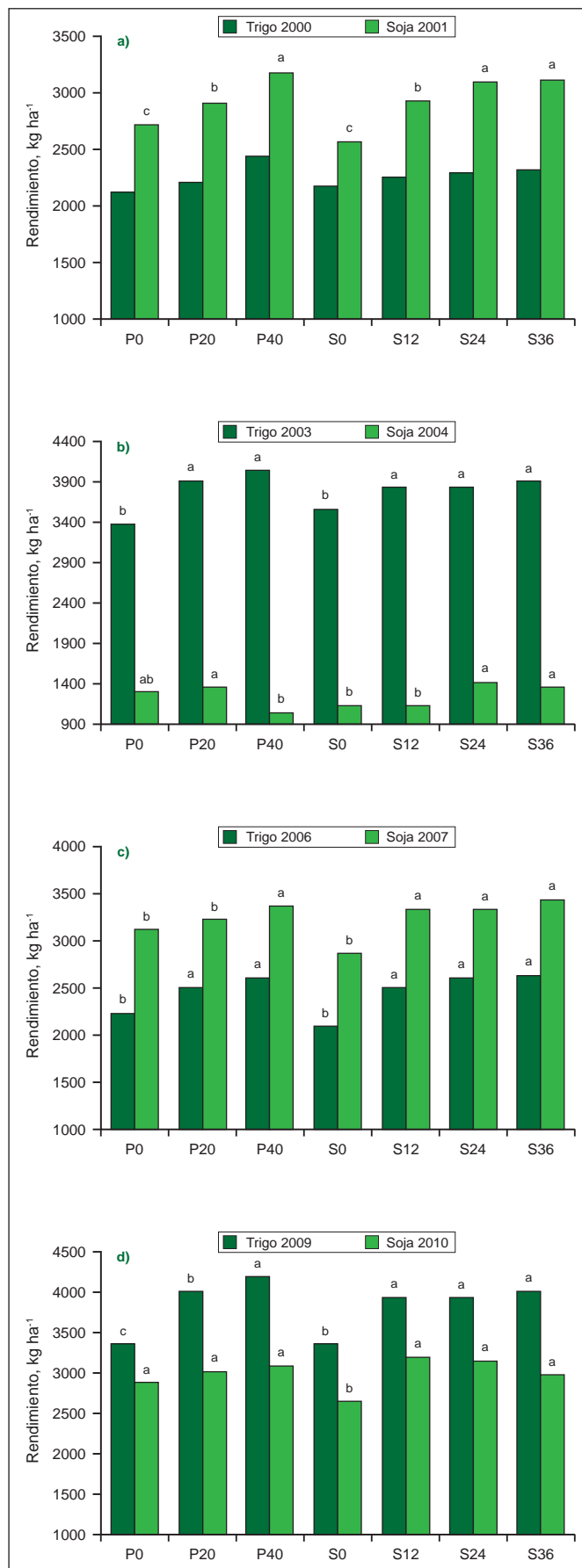


Figura 1. Variación de los rendimientos en relación con la fertilización con P y S en cuatro campañas de doble cultivo: a) Trigo-Soja 2000/01; b) Trigo-Soja 2003/04; c) Trigo-Soja 2006/07; d) Trigo-Soja 2009/10. Medias de tratamientos en cada cultivo y factor seguidas de la misma letra no difieren entre sí (LSD al 5 %).

En la **Tabla 3** se observa cómo se destacan los incrementos de rendimiento del trigo en respuesta a la fertilización fosfatada. De igual modo, fue notable la respuesta de la soja de segunda a la fertilización con S. Las últimas dos campañas de trigo se caracterizaron por alta respuesta a la fertilización, tanto con P como con S. Los promedios de las cuatro campañas para trigo y soja en cada una de las doce combinaciones P-S se presentan en la **Figura 2**.

La producción de trigo expresó de mejor forma la respuesta a la fertilización creciente y combinada de P y S. La soja de segunda, por su parte, se destacó por la respuesta al S, pero no respondió a la fertilización fosforada.

Dada la importancia de evaluar la condición de fertilidad residual del suelo posterior a cada doble cosecha, se utilizaron los niveles de Pe como indicador de la disponibilidad de P. En la **Figura 3** puede verse la evolución de este parámetro a través del tiempo. El análisis de la variancia para los datos de Pe detectó diferencias significativas según las dosis de fertilización fosfatada.

Cuando el doble cultivo se condujo sin aplicación de P se produjeron aumentos de producción debido a la fertilización con S (**Figura 2**), pero a través de las campañas el contenido de Pe en el suelo se redujo cada vez más llegando a 5.7 ppm en la campaña 2009/10 (**Figura 3**). En el caso de P20 se observó un pequeño ascenso en el contenido del Pe, respecto a la concentración inicial, alcanzando un valor de 13.1 ppm en 2010, que fue significativamente diferente del P0, pero no llegó a valores de 15 ppm deseables para la rotación. Con la dosis P40, el contenido de Pe fue superior a los 15 ppm en el 2004, 2007 y 2010, con diferencias significativas respecto a P0 y a P20 (**Figura 3**).

Respuesta económica

La fertilización con P y S no solo produjo aumentos significativos en los rendimientos, sino también beneficios económicos (**Figura 4**). Los márgenes de ingreso bruto fueron mayores siempre que se fertilizó con S (solo o en combinación con P). El P tuvo efecto positivo, pero la respuesta se potenció cuando la aplicación de P se combinó con la aplicación de S, alcanzando beneficios de 2 378, 2 498 y 2 417 US\$ ha⁻¹ para los tratamientos P20-S12, P20-S24 y P20-S36, respectivamente. Las combinaciones de S con P40 tuvieron mayor producción de grano, pero los márgenes fueron menores debido al mayor costo del fertilizante fosfatado. Los beneficios fueron de 2 295, 2 334 y 2 364 US\$ ha⁻¹ para los tratamientos P40-S12, P40-S24 y P40-S36, respectivamente.

Cuando no se aplicó P, los márgenes fueron también importantes: 2 366, 2 387 y 2 328 US\$ ha⁻¹ para los tratamientos P0-S12, P0-S24 y P0-S36, respectivamente. Sin embargo, es preciso indicar que esta situación no es aconsejable en suelos deficientes en P y debido a que la mayor producción acentúa la deficiencia y degrada el suelo aun cuando se observen resultados económicamente positivos durante los primeros años.

Tabla 3. Incrementos porcentuales de la fertilización con P y S respecto de sus testigos, P0 y S0, para cada una de las cosechas. Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.

	Tr00*	Sj01	Tr03	Sj04	Tr06	Sj07	Tr09	Sj10
	(%)							
P20	-	7.1	14.8	4.6	12.8	1.5	19.9	4.5
P40	-	17	20.1	-19	17.2	7.6	25.3	7.6
S12	-	14.7	6.7	1.9	20.3	13.6	16.8	19.8
S24	-	20.7	7	24	25.1	16.2	16.7	19.4
S36	-	21.9	9.1	21.1	26	19.6	18.5	12.2

* No se presenta información debido a la existencia de interacción significativa PxS.

La dosis P40 no solo incrementó el contenido de Pe a niveles deseables, sino que también provocó incrementos apreciables de rendimiento (Figura 3). La combinación de P con las dosis de S también aumentó la producción, pero los márgenes decayeron por el mayor costo del fertilizante, (Figura 4). La combinación de P20 con las dosis crecientes de S produjo los mayores márgenes de ingreso bruto y el Pe residual, si bien es inferior al contenido deseable, es cercano a este valor (Figuras 3 y 4).

Conclusiones

- ◆ En las cuatro campañas de doble cultivo siempre se presentaron beneficios productivos y económicos, tanto en trigo como en soja, promovidos por la fertilización con P y S.
- ◆ Aunque ambos cultivos respondieron a las combinaciones de P y S, el trigo se destacó por su respuesta a la fertilización con ambos nutrientes, mientras que la soja mostró respuestas principalmente al S.
- ◆ Los mayores rendimientos no siempre produjeron los mayores márgenes de ingreso bruto.
- ◆ La combinación P20 y S24 permitió obtener el mayor margen bruto sin reducir los valores iniciales de Pe.
- ◆ La provisión de 40 unidades de P para el doble cultivo, en combinación con S, permitió una adecuada provisión de nutrientes y una evolución favorable de los niveles de Pe.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los Estadísticos Oscar Quaino y Alejandra Cuatrín (INTA EEA Rafaela) y Belén Conde (INTA EEA Marcos Juárez) por su contribución para este artículo.

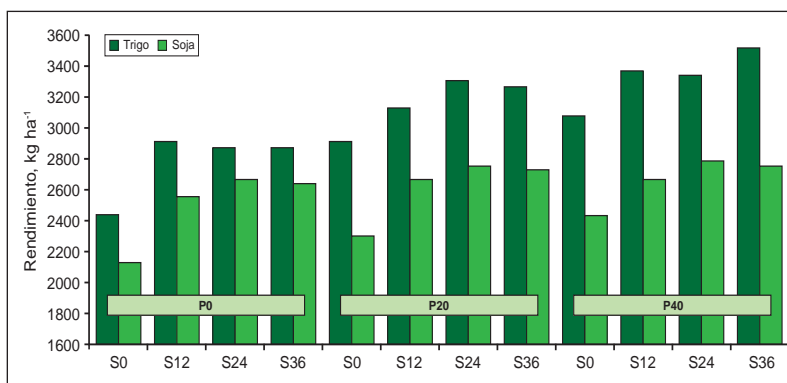


Figura 2. Producción de trigo y soja de segunda para las diferentes combinaciones de P y S. Promedio de las cuatro campañas conducidas en Bernardo de Irigoyen, Santa Fe.

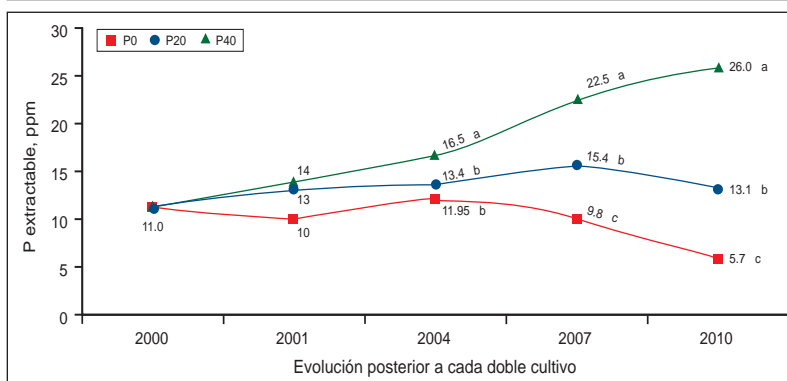


Figura 3. Evolución del contenido de Pe del suelo (0-20 cm) luego de cada doble cultivo trigo/soja en Bernardo Irigoyen, Santa Fe. Medias con igual letra en cada año no difieren entre sí (LSD al 5 %).

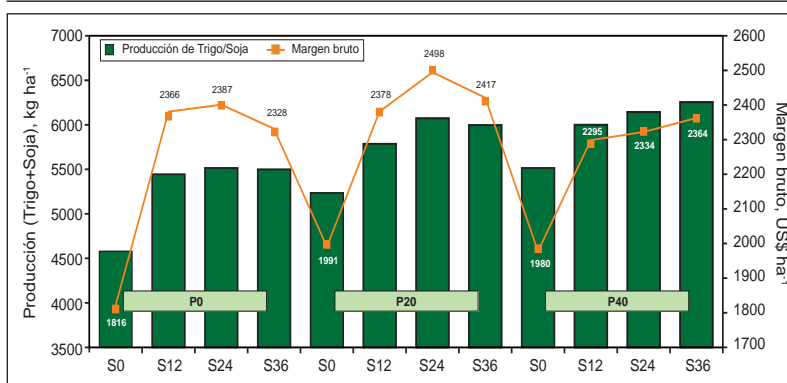


Figura 4. Producción promedio de cuatro campañas de trigo y soja de segunda y margen bruto correspondiente a cada combinación de fertilización con P y S en Bernardo de Irigoyen, Santa Fe. Precios de insumos y productos en base al mes de agosto de 2010.

Bibliografía

- Albrecht, R., H.S. Vivas, H. Fontanetto, y J.L. Hotian. 2000. Residualidad del P y del S 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 No. 93.
- Chao, T.T., M.E. Harward, and S.C. Fang. 1962. Movement of S35 Tagged Sulfate Through Soil Columns. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:27-32.
- García, F.O., H. Fontanetto, y H.S. Vivas. 2001. La Fertilización del doble cultivo trigo-soja. INTA EEA Rafaela. Información Técnica de Trigo. Publicación Miscelánea No. 94.
- Geniletti, A., y F.H. Gutiérrez Boem. 2004. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 24, 12-14. Acassuso, Bs As, Argentina.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management.* Sixth Edition. Prentice-Hall, Inc.
- Mizuno, J., B. de Lafaille, y L.G. de López Camelo. 1990. Caracterización del azufre en algunos molisoles de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del Suelo* 8:111-117.
- Olsen, S.R., W.D. Kemper, and J.D. Jackson. 1962. Phosphate diffusion to plant roots. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 26:222-227.
- Ozanne, P.G. 1962. Phosphate Nutrition of Plants. A General Treatise. *In. The Role of Phosphorus in Agriculture* (ed.) F.E. Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath. ASA-CSSA-SSSA.
- Reussi Calvo, N.I., E.H. Echeverría, y H. Sainz Rosas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24:77-87.
- Stevenson, F.J. 1986. The Sulfur Cycle. *In. Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons.
- Vivas, H.S., R. Albrecht, y J.L. Hotian. 2005. Manejo del fósforo y el azufre en una secuencia de cultivos del centro de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* No. 28. p 16-18.
- Vivas, H.S., R. Albrecht, J.L. Hotian, y L. Gastaldi. 2006. Residualidad del fósforo y del azufre. Estrategia de fertilización en una secuencia de cultivos. 2003-2006. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea No. 106.
- Vivas, H.S., R. Albrecht, J.L. Hotián, y O. Quaino. 2007. Relación del fósforo y del azufre asociada a la respuesta del doble cultivo trigo/soja en un suelo del centro de Santa Fe. INTA EEA Rafaela. Información Técnica de Cultivos de Verano. Publicación Miscelánea No. 108.
- Vivas, H.S., N. Vera Candiotti, R. Albrecht, y J.L. Hotián. 2009. Fósforo y Azufre sobre soja de 1° en rotación con gramíneas. Región central de Santa Fe. INTA EEA Rafaela. Información Técnica de Cultivos de Verano. Publicación Miscelánea No. 115. p. 57-65.
- Vivas, H.S., N. Vera Candiotti, R. Albrecht, L. Martins, O. Quaino, y J.L. Hotian. 2010a. Efecto aditivo de la fertilización con fósforo y azufre sobre trigo en una rotación. INTA EEA Rafaela. Información Técnica de Trigo y otros cultivos de invierno. Publicación Miscelánea No. 116. p. 61-67.
- Vivas, H.S., N. Vera Candiotti, R. Albrecht, L. Martins, O. Quaino, y J. L. Hotian. 2010b. Fósforo y Azufre en una Secuencia de Cultivos para una Fertilización cada dos cosechas. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bolsa de Comercio de Rosario. p. 138. ❖

Uso agronómico de la roca fosfórica... (de Pág No. 8)

Sistemas de decisión y soporte para uso de roca fosfórica

Los resultados de muchos experimentos con RF se han integrado en una sola herramienta que permite predecir la efectividad agronómica de la roca en situaciones específicas. El Centro Internacional de Desarrollo de los Fertilizantes (IFDC, por sus siglas en inglés) desarrolló y publicó un modelo de sistemas de soporte y decisión para RF (Smalberger et al., 2006; (<http://www-iswam.iaea.org>)). Este sistema puede usarse para tomar decisiones entre el uso de fertilizantes solubles o RF para satisfacer las necesidades de nutrientes. El sistema también provee asistencia para determinar las condiciones donde el uso de RF es más económico que los fosfatos solubles como fuente de nutrientes.

Conclusiones

En ciertas circunstancias, la efectividad agronómica y económica de la RF puede ser igual o mejor que la de los fertilizantes fosforados solubles en agua. A diferencia de los fertilizantes fosforados solubles en agua, que pueden ser usados ampliamente, existen factores específicos, incluyendo la reactividad de la RF, las propiedades del suelo, las prácticas de manejo y el tipo de cultivo, que deben tomarse en cuenta para maximizar la utilización de

la RF. El uso de los sistemas de decisión y soporte es un medio efectivo de predecir el mejor uso de la RF.

Bibliografía

- Chien, S.H. 2003. Factors Affecting the Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock for Direct Application. *In Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology: Latest. Development and Practical Experiences*, pp. 50-62, (S.S.S. Rajan and S.H. Chien, ed.). Special Publications IFDC-SP-37, IFDC, Muscle Shoals, Alabama.
- Chien, S.H., and D.K. Friesen. 1992. Phosphate Rock for Direct Application. *In Workshop on Future Directions for Agricultural Phosphorus Research*, pp. 47-52, TVA Bull. Y-224. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, U.S.A.
- Chien, S.H., G. Carmona, J. Henao, and L.I. Prochnow. 2003. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:1825-1835.
- Chien, S.H., L.I. Prochnow, and H. Cantarella. 2009. *Adv. Agron.* 102:261-316.
- Habib, L., S.H. Chien, G. Carmona, and J. Henao. 1999. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30:449-456.
- Smalberger, S.A., U. Singh, S.H. Chien, J. Henao, and P.W. Wilkens. 2006. *Agron. J.* 98:471-483.
- Van Ray, B. and A. Van Diest. 1979. *Plant Soil* 51:577-589. ❖

SIEMBRA DIRECTA, ROTACIONES Y FERTILIDAD PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE CON ÉNFASIS EN LAS CONDICIONES DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA, BOLIVIA

Fernando O. García*

Introducción

La demanda global de alimentos, forrajes, fibras y biocombustibles en los últimos años ha impulsado un fuerte aumento en la producción de granos en los países de América del Sur. Los costos crecientes de la tierra y de otros recursos e insumos, en muchos casos no son compensados por los precios de los granos, condición a la que se le suma la incertidumbre de las condiciones económicas y climáticas para el futuro cercano. En este marco, la intensificación productiva sostenible, definida como la mayor y más eficiente producción por unidad de recurso y/o insumo utilizado, se presenta como una alternativa válida. Esta intensificación busca mejorar la eficiencia en términos agronómicos, económicos y ambientales e involucra sistemas de producción y no solamente cultivos.

Los principales aspectos que deben considerarse en la implementación de sistemas intensificados sostenibles son:

- ◆ Rotaciones
- ◆ Siembra directa
- ◆ Balance de nutrientes y nutrición adecuada de cultivos y suelos
- ◆ Genética
- ◆ Manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas.

La sostenibilidad en el contexto de la producción agrícola, implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental, así como preservar la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad). Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. El suelo debe proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y direccionar el flujo del agua y servir como un amortiguador ambiental que atenúe el efecto o degrade los compuestos ambientalmente peligrosos.

La calidad del suelo se define en términos de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Entre estas propiedades, la materia orgánica (MO) es considerada como uno de los más importantes indicadores de la

calidad de suelo y de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Robinson et al., 1994). La MO es la fracción orgánica del suelo en la cual se incluyen los residuos vegetales y animales en descomposición (10-20 %), la biomasa microbiana (1-5 %) y el humus (50-85 %). Se excluyen los residuos vegetales y animales sin descomponer. La determinación analítica de la MO involucra la determinación del carbono (C) orgánico del suelo que constituye aproximadamente el 58 % de la MO, por lo que suelen usarse indistintamente los términos MO ó C orgánico ($MO = C \text{ orgánico} * 1.72$). La importancia de la MO radica en su relación con numerosas propiedades del suelo como se describe a continuación:

- ◆ **Propiedades físicas:** Densidad, capacidad de retención de agua, agregación y estabilidad de agregados (**Figura 1**), color y temperatura.
- ◆ **Propiedades químicas:** Reserva de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros, pH, capacidad de intercambio catiónico, capacidad tampón, formación de quelatos.
- ◆ **Propiedades biológicas:** Biomasa microbiana, actividad microbiana (respiración), fracciones lábiles de nutrientes.

El contenido de MO está determinado por los factores de formación del suelo (tiempo, clima, vegetación,

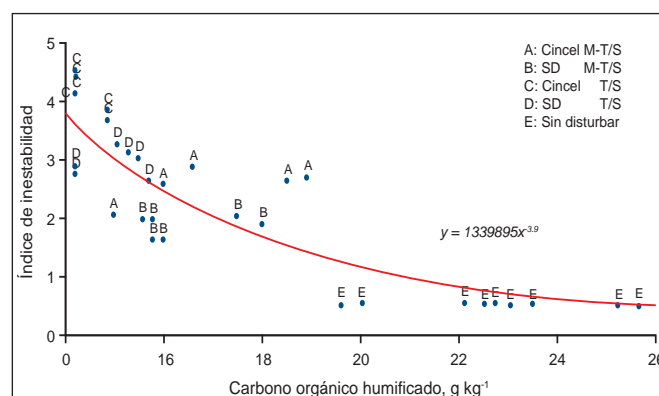


Figura 1. Relación entre el C orgánico humificado y el índice de inestabilidad de los agregados del suelo para distintas rotaciones con doble cultivo trigo/soja (T/S) y maíz (M), sistemas de labranza (Cinzel y Siembra directa, SD) y una situación prístina (sin disturbar) en el sur de Santa Fe (Argentina). Fuente: Gómez et al. (2001).

* Director del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

material parental, topografía, manejo). El manejo del suelo afecta el contenido de MO y los principales factores de cambio son el número de años de agricultura, cultivos, labranza, rotaciones, manejo del cultivo, fertilización y períodos de barbecho.

La siembra directa (SD), la rotación de cultivos y el mantener o elevar los niveles de fertilidad contribuyen a estabilizar los contenidos de MO del suelo a través de la incorporación de una alta cantidad de residuos de buena calidad (Walters et al., 2007; Galantini et al., 2008; Ferrari et al., 2010; Prior et al., 2010; Quincke et al., 2010) (**Figura 2**). Estas tres prácticas de manejo interactúan entre sí para promover la acumulación de MO, condición que mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas que definen la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Este artículo discute los efectos de la SD, las rotaciones y la fertilidad sobre acumulación de MO, como indicador de la calidad del suelo y de la sostenibilidad de los sistemas de producción de granos. Asimismo, se presentan algunas alternativas para el manejo de estas prácticas en sistemas de producción de granos en la región este de Bolivia. Como se mencionó anteriormente, existe una marcada interacción entre los efectos de estas tres prácticas, que a su vez interactúan con otras prácticas de manejo de suelos y cultivos. La variabilidad de los resultados obtenidos con el manejo de las prácticas mencionadas, generada por las condiciones ambientales locales (suelo, clima, tecnología, condiciones económicas), amerita un análisis específico para el sitio de cada situación.

Siembra directa y materia orgánica del suelo

El hecho de no remover el suelo y mantener los residuos de cosecha en la superficie en los sistemas bajo SD promueve la acumulación de MO en las capas superficiales del suelo, en comparación con los sistemas de labranza convencional (LC) que remueven el suelo (Díaz Zorita et al., 2002; Studdert y Echeverría, 2002a; Alvarez, 2005; Amado et al., 2006; Andriulo et al., 2008; Galantini et al., 2008) (**Figura 3**). Este efecto se explica por la menor oxidación de los residuos orgánicos, la menor erosión y, eventualmente, la mayor producción de residuos promovida por el mejoramiento de la fertilidad y otras características del suelo bajo SD.

Estudios conducidos por Sá et al. (2001), en oxisoles del sur de Brasil, reportaron incrementos importantes en el contenido de C orgánico del suelo ($806 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en la capa de 0-20 cm en sistemas de producción bajo SD. Los aumentos de C orgánico del suelo estuvieron estrechamente relacionados con la cantidad de residuos aportados ($R^2 = 0.74$). Los autores atribuyen el incremento a la mayor protección del C orgánico en el suelo a través de la formación de agregados estables del tamaño de arenas y limos, especialmente en la capa de 0-10 cm de profundidad. Los datos de Bayer et al.

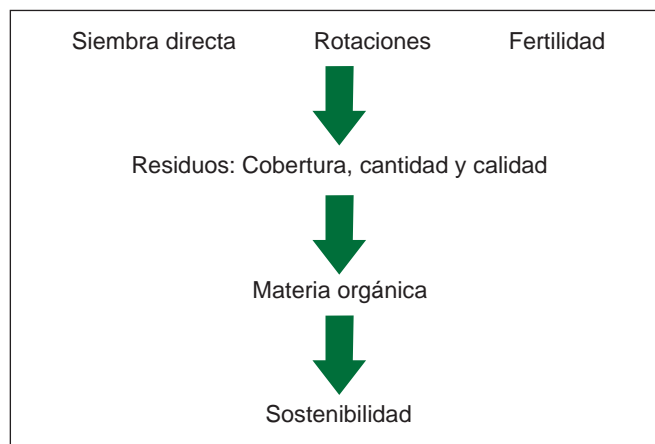


Figura 2. Relación de la siembra directa, rotaciones y fertilidad con la materia orgánica y la sostenibilidad de los sistemas agrícola-ganaderos.

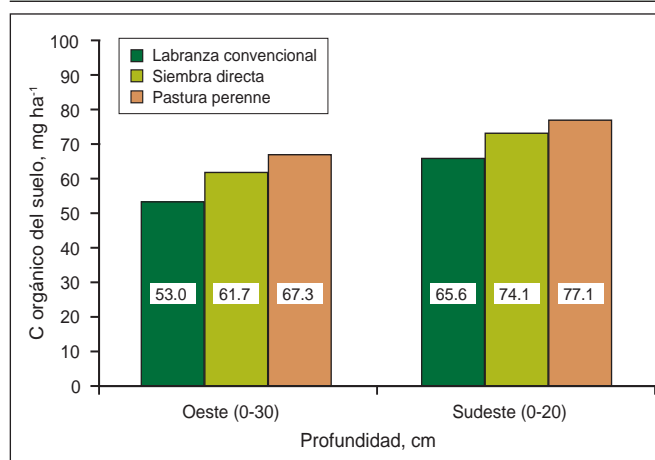


Figura 3. Carbono (C) orgánico del suelo bajo labranza convencional, siembra directa y pastura perenne en el oeste (0-30 cm de profundidad) y el sudeste (0-20 cm de profundidad) de la región pampeana argentina. Fuente: Díaz Zorita et al. (2002) y Studdert y Echeverría (2002b).

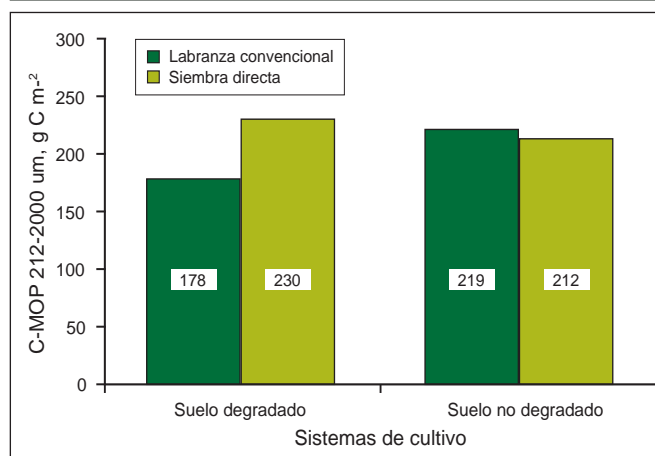


Figura 4. Carbono (C) orgánico del suelo en la fracción particulada de 212-2000 μm bajo labranza convencional y siembra directa en un suelo de prolongada historia agrícola (degradado) (izquierda) y un suelo con historia de pasturas (no degradado) (derecha) en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Fuente: Fabrizzzi et al. (2003).

Tabla 1. Rendimiento en grano, C humificado, pérdida de C y balance de C para dos rotaciones agrícolas en el sudeste de Córdoba, Argentina. Fuente: Alejandro Thomas (com. personal).

A. Trigo/Soja - Maíz, tres cultivos en dos años				
Cultivos	Trigo/Soja	Maíz	Promedio	
Rendimiento, kg ha ⁻¹	3 529 / 2 771	11 000		
C humificado, kg ha ⁻¹	2 993	3 359	3 176	
Pérdida de C, kg ha ⁻¹	3 505	2 713	3 109	
Balance de C, kg ha ⁻¹	-512	646	67	
B. Trigo/Soja - Maíz-Soja, cuatro cultivos en tres años				
Cultivos	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Promedio
Rendimiento, kg ha ⁻¹	3 500	3 529 / 2 771	11 000	
C humificado, kg ha ⁻¹	1 763	2 993	3 359	2 705
Pérdida de C, kg ha ⁻¹	2 713	3 505	2 713	2 977
Balance de C, kg ha ⁻¹	-950	-512	646	-273

Tabla 2. Tasa de secuestro de C en suelos tropicales y subtropicales de Brasil. Fuente: T. Amado y C. Bayer (datos no publicados), citado por Bayer et al. (2010).

Región	Manejo	Tasa estimada de secuestro de C mg C ha ⁻¹ año ⁻¹
Subtropical (Sur)	Monocultura/Rotación de cultivos tradicional	0.12 ± 0.06
	Rotación de cultivos intensiva	0.36 ± 0.09
Tropical (Cerrados)	Monocultura/Rotación de cultivos tradicional	0.03 ± 0.07
	Rotación de cultivos intensiva	0.42 ± 0.06

(2001) obtenidos en ultisoles de Rio Grande do Sul, Brasil, sugieren que la estabilización del C orgánico se debe a la interacción de los compuestos orgánicos con minerales de carga variable (caolinitas y óxidos de hierro). Los efectos positivos de la SD sobre la fracción orgánica del suelo se observan también cuando se evalúan los contenidos de N orgánico (Morales Sá, 1996) y las fracciones lábiles de C orgánico del suelo (Fabrizzi et al., 2003; Amado et al., 2006) (**Figura 4**).

Estudios realizados en los últimos años para evaluar la acumulación de C orgánico a mayores profundidades en sistemas de producción bajo SD han reportado resultados contradictorios. Baker et al. (2006) y Blanco-Caqui y Lal (2008) no encontraron diferencias de acumulación de C entre sistemas de LC y SD al evaluar la masa de C incluyendo horizontes subsuperficiales. Los efectos de la SD en la acumulación de C orgánico dependen de las condiciones iniciales del sitio, del tipo de suelo y del clima (Alvarez, 2005; Bayer et al., 2010).

Rotaciones y materia orgánica del suelo

La rotación de cultivos tiene varias ventajas si se compara con los sistemas de monocultivo. Las principales ventajas son:

- ◆ Posibilidad de acumular mayor cantidad de residuos de diferentes características lo que produce significativos aportes de C para el suelo.
- ◆ Mayor intensidad de uso del suelo.

- ◆ Mayor eficiencia de uso del agua.

Existen numerosos ejemplos a nivel mundial de las ventajas de la intensificación del manejo de las rotaciones en el incremento de los niveles de MO y en el mejoramiento de otros índices de calidad del suelo y/o en la eficiencia de uso de los recursos (Gregory y Drury, 1996; Peterson et al., 1998; Amado et al., 2006; Andriulo et al., 2008; Galantini et al., 2008). La mayor acumulación de MO se produce, entre otras razones, por la mayor producción de residuos provenientes de rendimientos más altos, por la reducción de los períodos bajo barbecho y por el uso más eficiente del agua.

En general, la inclusión de gramíneas en la rotación mejora el balance de C del suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los residuos y porque se logra una mayor cobertura del suelo. La **Tabla 1** muestra el balance de C del suelo de dos rotaciones en el sudeste de Córdoba, Argentina. En la rotación que tiene una mayor frecuencia de gramíneas (trigo y maíz), el balance de C es positivo, pero el balance es negativo en la rotación con mayor frecuencia de soja. El impacto negativo en el contenido de MO que se presenta cuando existe una mayor frecuencia de soja en las rotaciones, con respecto a cultivos como maíz o sorgo, ha sido descrito por varios autores en diversas regiones del mundo (Havlin et al., 1990; Studdert y Echeverría, 2000).

Una alternativa para mejorar el balance de C en el suelo es la utilización de cultivos de cobertura. Esta práctica

Tabla 3. Aporte de C de residuos y C humificado en un ciclo de la rotación maíz-trigo/soja de cuatro tratamientos de fertilización en dos sitios del sudeste de Córdoba, Argentina. Los tratamientos NP y NPS incluyeron dosis de nutrientes según diagnóstico y el tratamiento NPS-Rep dosis de nutrientes según reposición de los nutrientes extraídos en grano. Elaborado a partir de información de Vicente Gudelj y col. (com. personal).

Tratamiento	Aporte C residuos *	C humificado **
	----- (kg C ha ⁻¹) -----	
Don Osvaldo		
Testigo	6 144	-815
NP	8 061	31
NPS	10 353	1 082
NPS-Rep	11 381	1 532
Los Chañaritos		
Testigo	8 358	173
NP	10 377	1 071
NPS	11 019	1 359
NPS-Rep	11 747	1 677

* Estimado a partir del índice de cosecha y la concentración de C en residuos.
 ** Según modelo AMG (Andriulo et al., 1999).

está muy difundida en numerosas zonas de Brasil, donde se utiliza avena negra entre la rotación entre dos cultivos de grano en verano (por ejemplo soja y maíz) (Fiorin, 1999). En estos sistemas, la inclusión de leguminosas como cobertura (lablab, mucuna, caupí, vicia o guandú) mejora la acumulación de MO (Figura 5) (Amado et al., 2006; Vieira et al., 2009). En climas templados, la inclusión como cultivos de cobertura de gramíneas como centeno o avena, o de leguminosas como vicia o trébol encarnado, es también una buena alternativa para fijar una mayor cantidad de C atmosférico en el suelo (Ruffo, 2003).

Un reciente resumen presentado por Bayer et al. (2010) muestra que las tasas de secuestro de C en sistemas bajo SD en Brasil están directamente relacionadas con el aporte anual de C de los cultivos. Las estimaciones regionales de T. Amado y C. Bayer (datos no publicados) indican que los sistemas de rotaciones intensivas de cultivos permiten alcanzar retenciones de C significativas, comparadas con secuencias de baja intensidad de cultivos (Tabla 2).

Fertilidad y materia orgánica del suelo

La MO es reserva de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Si se considera que la MO contiene aproximadamente un 58 % de C y se estima que la relación C/N/P/S es de 140:10:1.3:1.3, cada 1 % de MO en la capa superficial de 0 a 20 cm de suelo, con una densidad de 1.1 t m⁻³, representa 22 000 kg ha⁻¹ de

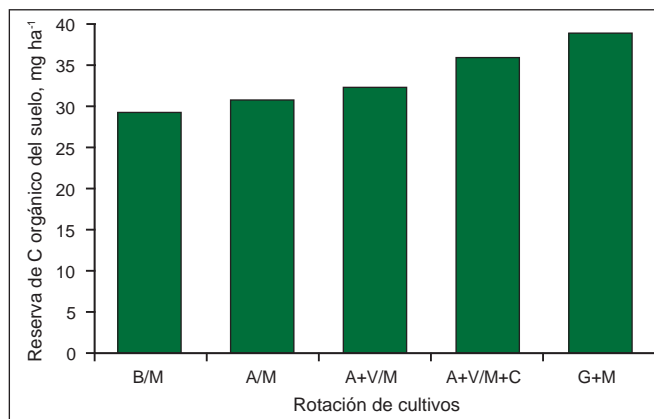


Figura 5. Reservas de C orgánico del suelo (0-17.5 cm) medidas a los 19 años del establecimiento de cinco rotaciones en la Estación Experimental Agronómica de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, RS, Brasil. B/M = Barbecho/Maíz; A/M = Avena/Maíz; A+V/M = Avena+Vicia/Maíz; A+V/M+C = Avena+Vicia/Maíz+Caupí; M+G = Maíz+Guandú. Fuente: Vieira et al. (2009).

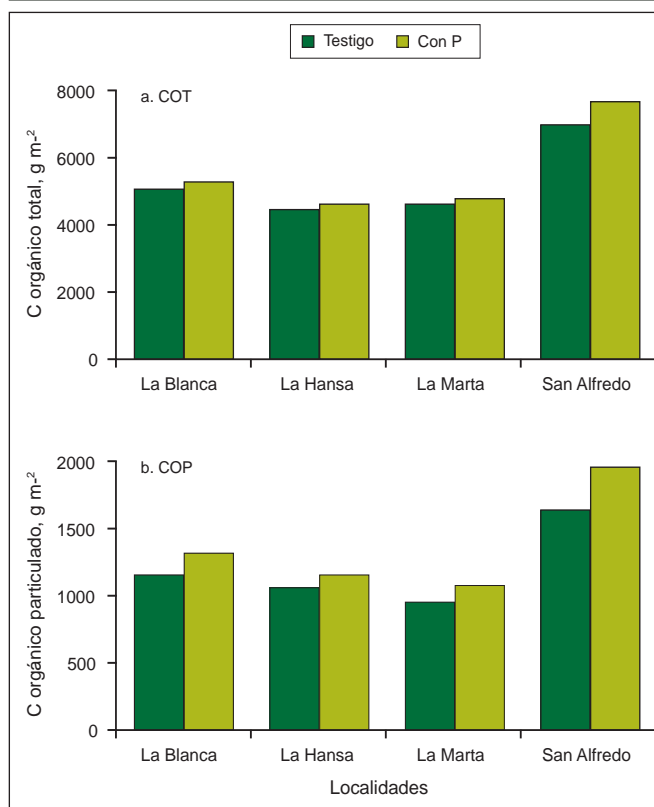


Figura 6. Reservas de C orgánico total (a) y particulado (b) en la capa de 0-20 cm superficiales de suelo sin (testigo) o con aplicación de P anual. Ensayos establecidos en el año 2000 y determinación realizada en agosto 2006. Fuente: Ciampitti et al. (2010).

MO, 12 000 - 13 000 kg ha⁻¹ de C, 1 000 - 1 200 kg ha⁻¹ de N, 90 - 120 kg ha⁻¹ de P y 90 - 120 kg ha⁻¹ de S. Estos contenidos indican que la MO actúa como sumidero y fuente de estos nutrientes en el sistema. En situaciones de balance negativo, cuando la exportación de nutrientes en los productos cosechados (granos y forrajes) es

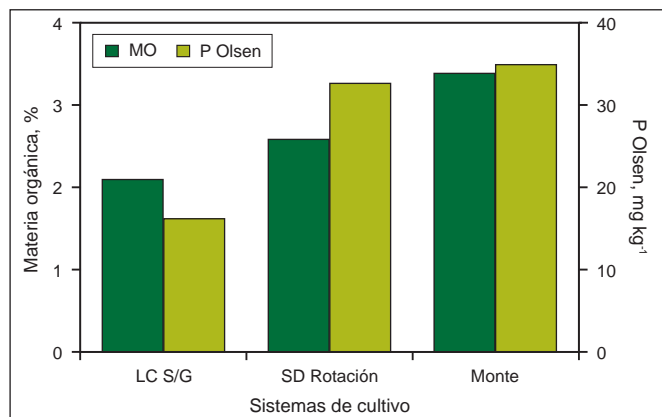


Figura 7. Materia orgánica (MO) y P Olsen en sucesión soja/girasol, rotación de cultivos anuales y situación prístina (Monte) en el ensayo del CEA-2 de ANAPO en la zona Este de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Fuente: Presentación del Ing. Agr. Edward Peña en el evento Vidas 2007 de Fundacruz.

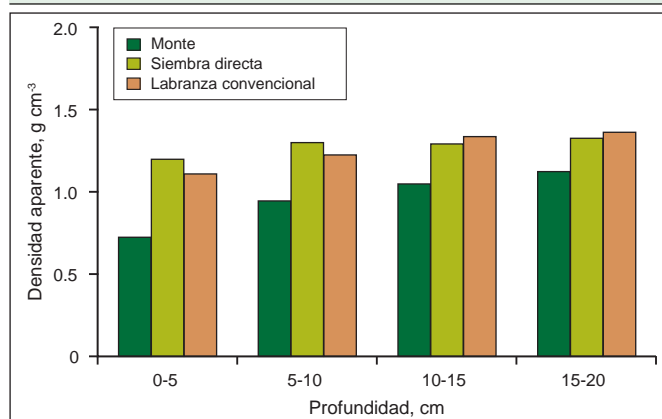


Figura 8. Densidad aparente bajo SD, LC y situación prístina (Monte) en el ensayo del CEA-2 de ANAPO en la zona Este de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Fuente: Presentación del Ing. Agr. Edward Peña en el evento Vidas 2007 de Fundacruz.

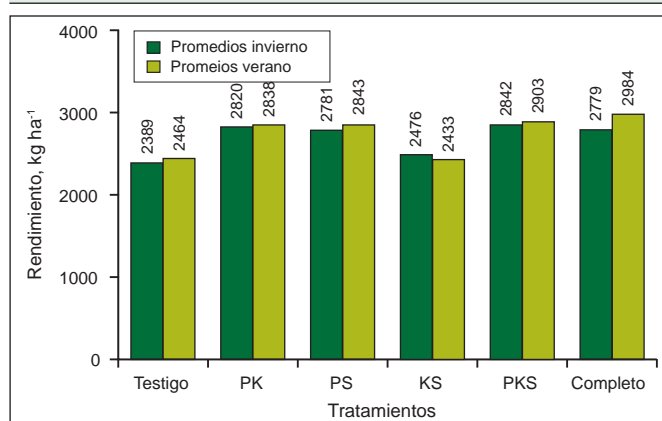


Figura 9. Rendimientos de soja de invierno y de verano, promedios de tres campañas, en los ensayos del Proyecto de Fertilización de Suelos y Cultivos de Fundacruz-IPNI. Zona Norte, 8 ensayos en invierno y 11 en verano, 2005/06 a 2007/08.

superior al aporte de nutrientes vía abonos orgánicos y fertilizantes, la MO constituye una fuente importante de los nutrientes necesarios para los cultivos, pero al mismo tiempo este proceso reduce los niveles de MO en

el suelo. Esta situación se observa frecuentemente cuando se incorporan áreas nuevas a la agricultura. En estas situaciones se ven disminuciones importantes de MO en los primeros años de cultivo que liberan cantidades importantes de nutrientes.

La aplicación de nutrientes vía fertilizantes minerales y/o abonos orgánicos permite mantener y/o mejorar los niveles de MO en el suelo (Tabla 3). La adecuada nutrición de los cultivos permite incrementar los rendimientos y acumular una mayor cantidad de residuos, logrando un mayor aporte de C para el suelo (Ciampitti et al., 2010) (Figura 6). Los efectos de la fertilización nitrogenada en la acumulación de MO han sido discutidos por varios autores. Se han observado resultados positivos en algunos sitios, mientras que en otros no se observó efecto, esta variabilidad se atribuye a diferencias en las condiciones climáticas, edáficas y de manejo (cultivos, eficiencia de la fertilización nitrogenada, etc.) (Alvarez, 2005; Andriulo et al., 2008; Galantini et al., 2008; Vieira et al., 2009).

Algunas consideraciones sobre el manejo de suelos y cultivos para una agricultura sustentable en la región de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

La producción de granos en la región de Santa Cruz de la Sierra se ubica en dos áreas contrastantes que son la zona Norte o Integrada y la zona Este o de Expansión. Estas dos zonas tienen características edáficas y climáticas diferentes que han sido evaluadas detalladamente en relevamientos recientes en el marco del Proyecto de Agricultura Sustentable (PAS) liderado por ANAPO y CIAT a través de estudios de caso. Algunas de las características relevantes se discuten a continuación (Tabla 4):

- ◆ La elevada proporción de limo en ambas zonas impone una limitación física característica de los suelos de la región. El 54 y 77 % de los suelos en la zona Norte y la zona Este, respectivamente, presentan contenidos de limo superiores al 60 %.
- ◆ Los niveles de pH se ubican en general en rangos de levemente ácidos a levemente alcalinos (6.0-7.5), aunque en la zona Norte se presentan suelos con niveles de pH medianamente ácido (pH 5.3-5.9) y medianamente alcalino (7.6-8.0).
- ◆ La conductividad eléctrica superior a 4 mmhos cm⁻¹ indica la presencia de suelos salinos, los cuales son más frecuentes en la zona Norte.
- ◆ Los niveles de MO son en general bajos en el Norte (< 2 %) y medios en el Este (< 4 %), aunque tienden a disminuir a medida que se intensifica el manejo, en tiempo y espacio en las situaciones donde se siembran dos cultivos de soja por año.
- ◆ Los niveles de P Olsen (indicador de disponibilidad de P) son bajos en el Norte (34 % de los suelos

tienen contenidos menores de 6 ppm) y altos en el Este.

- ◆ Los niveles de K intercambiable (indicador de disponibilidad de K) son medios a bajos en el Norte y altos en el Este.
- ◆ Los niveles de Ca y Mg intercambiable son adecuados en ambas zonas, pero las relaciones entre ambos cationes, y de éstos con el K, indican que podrían presentarse problemas de equilibrio entre bases en ambas zonas.
- ◆ Los niveles de Na intercambiable indicaran que también se podrían presentar problemas de sodicidad en un 19-20 % de los suelos de ambas zonas.

A partir de esta información y la relevada en numerosos ensayos, experimentos y evaluaciones conducidas por distintos institutos de investigación y organizaciones científicas y de productores, la implementación de prácticas de manejo como las discutidas en las secciones precedentes, contribuirá a una agricultura sostenible en términos ambientales, sociales y económicos.

a. Siembra directa y rotaciones

La implementación de rotaciones en sistemas de SD permite mejorar los rendimientos de los cultivos y las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. La **Tabla 5** muestra los rendimientos de cultivos de soja, trigo, girasol y sorgo, en rotación o sucesión, bajo sistemas de LC y SD en la zona Este de Santa Cruz, Bolivia. La **Figura 7** muestra los efectos de la SD y de las rotaciones sobre el contenido de MO y el P extractable, comparados con la situación prístina (cobertura de Monte) y la **Figura 8** presenta la densidad aparente bajo los sistemas de LC, SD y la condición prístina.

Estos resultados demuestran claramente las ventajas de manejar rotaciones de cultivos bajo sistemas de SD. La inclusión de leguminosas y gramíneas de cobertura como crotolaria, lablab, brachiaria, mileto u otros, sin duda es una opción prometedora que debe seguirse evaluando. Este sería un aporte significativo a la

Tabla 4. Distribución de frecuencia de algunos parámetros de suelo evaluados en los estudios de caso del relevamiento del PAS (ANAPO-CIAT) para las zonas Norte y Este de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Fuente: Presentación de la Ing. Agr. Mary Selva Viera en el evento Vidas 2007 de Fundacruz.

Parámetro	Zona Norte	Zona Este
	43 % Franco-limoso 17 % Franco-arenoso	44 % Franco-limoso 33 % Franco-arcillo-limoso
Textura		
pH	19 % 7.6-8.0 18 % 6.6-7.0 18 % 6.0-6.5 14 % 5.3-5.9 13 % 7.1-7.5	30 % 6.6-7.0 29 % 7.1-7.5 24 % 6.0-6.5
Conductividad eléctrica (mmho cm ⁻¹)	20 % > 4	8 % > 4
Materia orgánica (%)	51 % < 2.0 46 % 2.0-4.0	86 % 2.0-4.0 8 % < 2.0
P Olsen (ppm)	40 % 6-15 34 % < 6	95 % > 15 4 % 6-15
K intercambiable (cmol kg ⁻¹)	60 % 0.21-0.65 27 % > 0.65	79 % > 0.65 13 % 0.21-0.65
Ca intercambiable (cmol kg ⁻¹)	83 % > 2.5	97 % > 2.5
Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	86 % > 1.0	100 % > 1.0
Na intercambiable (cmol kg ⁻¹)	59 % 0.1-0.7 19 % > 0.7	80 % 0.1-0.7 20 % > 0.7

Tabla 5. Rendimientos de soja, trigo, girasol, y sorgo bajo LC y SD en distintos sistemas de rotación en el ensayo del CEA-2 de ANAPO en la zona Este de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Ensayo iniciado en el verano 2000/01. Fuente: Presentación del Ing. Agr. Edward Peña en el evento Vidas 2007 de Fundacruz.

Cultivo	Sistema de rotación*	LC	SD
		----- t ha ⁻¹ -----	
Soja (Verano 2006/07)	S/G	3.2	3.8
	S/T	3.4	3.7
	Rotación	2.9	3.8
Trigo (Invierno 2006)	S/T	1.02	1.62
	Rotación	1.09	1.85
Girasol (Invierno 2006)	S/T	1.05	1.21
	Rotación	1.19	1.51
Sorgo (Invierno 2006)	Rotación	5.2	6.5

* S/G = sucesión Soja (Verano)/Girasol (Invierno); S/T = Soja (Verano)/Trigo (Invierno); Rotación = Soja (V)/Sorgo (I)-Soja (V)/Trigo (I)-Maiz (V)/Girasol (I).

sostenibilidad del sistema como se ha demostrado en otros países y se ha observado en evaluaciones preliminares en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

b. Fertilidad

El mantenimiento y/o la generación de adecuados niveles de fertilidad del suelo a través de la rotación de cultivos, la inclusión de leguminosas que aportan N vía fijación simbiótica y la fertilización, contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

En el Proyecto de Fertilización de Suelos y Cultivos llevado a cabo por Fundacruz, en colaboración con IPNI entre los periodos del 2005/06 y 2007/08, se evaluaron tratamientos de fertilización incluyendo N, P, potasio (K), azufre (S) y micronutrientes en cuatro sitios de la zona Norte y uno en Paraíso, CAICO y en la zona Este. En un total de 19 ensayos/año en soja en zona Norte (8 en invierno y 11 en verano), se observó respuesta significativa a P en 17 sitios, a la interacción PxS en 2 sitios y a micronutrientes en 1 sitio (**Figura 9**). Asimismo, se observaron tendencias de respuesta, no significativas, a S y K en dos sitios. Las respuestas promedio a P fueron de 418 kg ha⁻¹ con dosis de P de 20 kg ha⁻¹, resultando en una eficiencia de 21 kg de soja por kg de P. La respuesta a P se asoció con los bajos niveles de P en el suelo. El 80 % de los sitios con menos de 10 ppm de P Olsen presentó respuestas agronómicas y económicas significativas a la fertilización fosfatada.

En los 4 ensayos de maíz del invierno del 2006 en la zona Norte se observó respuesta significativa al N en 3 sitios y al P en los 4 sitios. En el Paraíso y CAICO se observaron respuestas significativas a N, P y S en sorgo y maíz y a P en soja. En el sitio de la zona Este, no se observaron respuestas a la fertilización. Finalmente, ensayos paralelos realizados con soja en el invierno del 2007 en 2 sitios de la zona Norte mostraron respuestas a la aplicación de zinc (Zn).

c. Otros aspectos de manejo de suelos

Dos problemas frecuentes en el manejo de suelos de la región son la presencia de capas compactadas y de manchones de salinidad y/o sodicidad. En ambos casos, el mantener puentes verdes, con la inclusión de cultivos de alta producción de residuos y de cultivos de cobertura siempre será una práctica positiva que disminuye los impactos negativos de ambos problemas.

En los suelos con capas compactadas es recomendable el uso de cultivos descompactadores. Entre los cultivos de cobertura, los más adecuados son aquellos que desarrollen mayor cantidad de raíces.

En suelos salinos y/o sódicos, el análisis de suelos permite identificar el principal problema (**Tabla 6**). Se recomienda drenar para eliminar las sales en los suelos

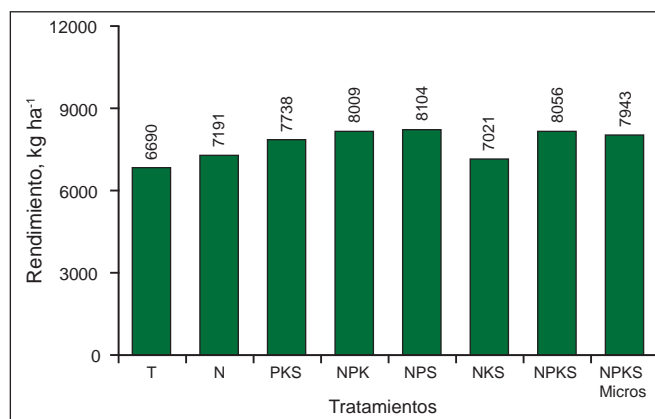


Figura 10. Rendimientos de maíz de invierno 2006, promedios de cuatro sitios, en los ensayos del Proyecto de Fertilización de Suelos y Cultivos de Fundacruz-IPNI, zona Norte.

salinos, mientras que en los suelos sódicos se recomienda la aplicación de sulfato de calcio (yeso) para reemplazar el exceso de Na con Ca y luego drenar el suelo para eliminar las sales junto con el Na. En estos casos, los puentes verdes con presencia permanente de cultivos o coberturas permiten mantener bajas las napas evitando el afloramiento de sales y Na.

Consideraciones finales

La producción de alimentos, biocombustibles, forrajes y fibras afecta la sostenibilidad ambiental, social y económica de los ecosistemas. Uno de los principales objetivos del manejo adecuado del suelo es limitar los procesos de degradación y balancearlos con los procesos de producción. La agricultura sostenible preserva la calidad de los recursos naturales como agua, aire, biodiversidad, suelo, etc. La MO es el indicador más importante de la calidad del suelo. El manejo adecuado, específico para cada sitio, de rotaciones, siembra directa y fertilidad, permite alcanzar y/o mantener contenidos adecuados de MO en el suelo.

Bibliografía

Alvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use & Management* 21:38-52.
 Amado, T.J.C., C. Bayer, P.C. Conceicao, E. Spagnollo, B.C. Campos, and M. Veiga. 2006. Potential of carbon

Tabla 6. Caracterización analítica, condición física y necesidades de enmiendas de suelos salinos, alcalinos, alcalino/salinos y calcáreos.

	----- Análisis de suelo -----			Condición física	Necesidad de enmienda
	CE*	PSI, %	pH		
Salino	>4.0	<15	<8.4	Buena	No
Alcalino	<4.0	>15	<8.4	Pobre	Si
Salino/alcalino	>4.0	>15	<8.4	Buena-Pobre	Si
Calcario	<4.0	<15	7.3 - 8.4	Buena	No

* CE = Conductividad eléctrica (mmho cm⁻¹); PSI = Porcentaje de Na intercambiable

- accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. *J. Environ. Qual.* 35:1599–1607.
- Andriulo, A., B. Mary, and J. Guérif. 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19:365-377.
- Andriulo, A., M.C. Sasal, A. Irizar, S. restovich y F. Rimatori. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranza, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. En J. Galantini (ed.). *Estudios de las fracciones organicas en suelos de la Argentina.* pp. 117-129. EdiUNS. Bahia Blanca, Argentina.
- Baker, J.M., T. E. Ochsner, R. T. Venterea, and T. J. Griffis. 2006. Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:1-5.
- Bayer, C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk, C. Pillon, and L. Sangoi. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1473-1478.
- Bayer, C., J. Dieckow, e P.C. F. Carvalho. 2010. Uma síntese da pesquisa em sequestro de carbono e mitigação de Gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuária no sul do Brasil. *Actas CD Taller SUCS-ISTRO. Colonia (Uruguay).* 12-14 de Julio de 2010.
- Blanco-Canqui, H., and R. Lal. 2008. No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:693-701.
- Ciampitti, I., G. Rubio, L. Picone, and F. García. 2010. Soil carbon and phosphorus pools in field crops rotations in Pampean soils of Argentina. *Enviado a SSSAI.*
- Díaz Zorita, M., G. Duarte, and J. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.
- Fabrizzi, K. P., A. Morón, and F. O. García. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Ferrari, A. E., L. A. Gabbarini, D. L. Reyna, M. González Baro, and L. G. Wall. 2010. Indicadores de calidad de suelos agrícolas con distintos manejos. *Actas CD Taller SUCS-ISTRO. Colonia (Uruguay).*
- Fiorin, J.E. 1999. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. En III Curso sobre Aspectos Básicos de Fertilidade e Microbiologia do Solo sob Plantio Direto. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo, RS, Brasil.
- Galantini, J., J. Iglesias, M.R. Landriscini, L. Suñer, y G. Minoldo. 2008. Calidad y dinamica de las fracciones organicas en sistemas naturales y cultivados. En J. Galantini (ed.). *Estudios de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina.* pp. 71-95. EdiUNS. Bahia Blanca, Argentina.
- García, F.O. 2003. Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Gómez, E., L. Ferreras, S. Toresani, A. Ausilio, and V. Bisaro. 2001. Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage. *Soil Till. Res.* 61:179-186.
- Gregory, E. and C. Drury. 1996. Fertilizer increases corn yield and soil organic matter. *Better Crops* 80(4): 3-5. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.
- 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 Sci. Soc. Am. J.*, 54:448-452.
- Moraes, Sá J. C. 1996. Manejo de nitrogenio na cultura do milho no sistema plantio direto. Aldeia Norte Editora. Passo Fundo, RS, Brasil.
- Peterson, G., D. Westfall, L. Sherrod, D. Poss, K. Larson, D. Thompson, and L. Ahuja. 1998. Sustainable dryland agroecosystem management. *Technical Bulletin 98-1.* Colorado Agricultural Experimental Station. Fort Collins, CO, EE.UU.
- Prior, S.A., G.B. Runion, H.A. Torbert, and H.H. Rogers. 2010. Effects of atmospheric CO2 and tillage practice on carbon dynamics. *Actas CD Taller SUCS-ISTRO. Colonia (Uruguay).* 12-14 de Julio de 2010.
- Quincke, A., J. Sawchik, and A. Morón. 2010. Siembra directa y rotación con pasturas: Efectos sobre carbono orgánico, nitrógeno total y potencial de mineralización de nitrógeno en un suelo agrícola del sudoeste de Uruguay. *Actas CD Taller SUCS-ISTRO. Colonia (Uruguay).* 12-14 de Julio de 2010.
- Robinson, C., R. Cruse, and R. Kohler. 1994. Soil management pp. 109-134. En J. Hatfield y D. Karlen (ed.). *Sustainable agricultura systems.* Lewis Pub.. Boca Raton, Florida, EE.UU.
- Ruffo, M. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 1: 171-176.* Rosario, Argentina.
- Sá, J.C.M., C. Cerri, W. Dick, R. Lal, S. Venske Filho, M. Piccolo y B. Feigl. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1486-1499.
- Studdert, G., and H. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, G. and H. Echeverría. 2002a. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. En *Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”.* INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Studdert, G. and H. Echeverría. 2002b. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. En *Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”.* INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Studdert, G. and H. Echeverría. 2002c. Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce. En *Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”.* INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 52 pág.
- Vieira, F. C. B., C. Bayer, J. A. Zanatta, J. Mielniczuk, and J. Six. 2009. Building Up Organic Matter in a Subtropical Paleudult under Legume Cover-Crop-Based Rotations. *Soil Sci Soc Am J.* 73: 1699-1706.
- Walters, D.T., S. Verma, A. Dobermann, K. G. Cassman, D. Ginting, A.E. Suyker, H. Yang, and M.A.A. Adviento-Borbe. 2007. Carbon Sequestration and Global Warming Potential of Continuous Corn and Corn/soybean Rotations Reconsidered. 2007 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. Madison, Wisconsin, EE.UU. ❖

REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR MEDIO DE LA INTENSIFICACIÓN AGRÍCOLA

Cliff Snyder¹, Tom Bruulsema, Valter Casarin, Fang Chen, Raúl Jaramillo, Tom Jensen, Robert Mikkelsen, Rob Norton, T. Satyanarayana y Shihua Tu

Introducción

La población mundial pasó de 3 080 millones en 1961 a más de 6 510 millones en el 2005 (111 % de incremento) y se espera que llegue a más de 9 000 millones en el 2050. Este crecimiento poblacional incrementará la demanda de alimentos en un 70 %. ¿Se podrá lograr este incremento en producción? y, si es así, ¿cuál sería el impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y en el cambio climático? Un artículo escrito por Burney et al. (2010) recientemente publicado en la literatura científica, entrega algunas respuestas a estas inquietudes. El presente artículo discute brevemente estas respuestas y sus implicaciones en un contexto práctico.

Escenario agrícola mundial

Desde 1961 hasta el 2005, la producción global de alimentos se aumentó a través del incremento en el área sembrada (extensificación) y mediante el incremento del rendimiento en áreas que ya se encontraba cultivada (intensificación). El área de tierra en producción agrícola creció de 960 a 1 208 millones de hectáreas (Mha), un incremento del 27 %. Mientras tanto, los rendimientos de los cultivos, promediados a través de los diferentes grupos de cultivos, se incrementaron de 1.8 a 3.96 t ha⁻¹ (135 % de incremento). Estas mejoras en rendimiento fueron posibles gracias a la adopción de variedades mejoradas e híbridos, al incremento en el uso de fertilizantes, al mejor manejo de plagas, al mayor acceso a la irrigación, al incremento del uso de prácticas de conservación de suelo y a la mayor mecanización agrícola.

Gases de efecto invernadero

Se estima que la producción agrícola fue responsable del 10 al 12 % de las emisiones globales totales de GEI en el 2005. Esas emisiones comprenden fundamentalmente el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄), cuya suma representa de 5 a 6 giga-toneladas (Gt) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Aproximadamente 60 % del total global de emisiones de N₂O y el 50 % de emisiones globales de CH₄ se atribuyen a la agricultura (Flynn y Smith, 2010). El cambio en el uso de la tierra, resultante de la eliminación de los bosques y de la conversión de tierras nativas a producción agrícola, es responsable del 6 al 17 % de las emisiones totales de GEI.

La atmósfera ha experimentado incrementos en la

concentración de N₂O que han pasado de 270 partes por billón (ppb) en la era pre-industrial a 319 ppb en el 2005, (<ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends>), aproximadamente un incremento anual del 0.26 % (Davidson, 2009). Los incrementos en la concentración de dióxido de carbónico (CO₂) han pasado de 318 partes por millón (ppm) en 1961 a 380 ppm en el 2005 o aproximadamente 0.44 % de incremento anual. Se considera cada vez más que este incremento en la concentración de GEI agrava el proceso de calentamiento global lo que resulta en cambios climáticos substanciales.

El uso global de fertilizantes nitrogenados fue de aproximadamente 93 millones de toneladas métricas (Mt) en el 2005. Utilizando el factor "Tier 1" del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2006) para emisiones de N₂O de 1 % (1 kg de N₂O-N emitido por 100 kg de N aplicado), se estima que el uso de



Foto1. La inversión en investigación agronómica evita las emisiones de GEI.



Foto 2. El incremento en la eficiencia de uso de los insumos es una estrategia viable para disminuir las emisiones de GEI.

¹ El Dr. Snyder es el Director del grupo de trabajo. Correo electrónico: csnyder@ipni.net. Los autores son científicos del International Plant Nutrition Institute (IPNI) que forman parte del grupo de trabajo de Nutrientes y el Ambiente (WG02).

Tabla 1. Comparación del mundo real con escenarios alternativos en la producción mundial de alimentos para satisfacer la demanda desde 1961 hasta el 2005 y las emisiones de GEI correspondientes (preparada utilizando los datos de Burney et al., 2010).

	Mundo real (MR)		Mundo alternativo (MA1)	Mundo alternativo (MA2)
	Intensificación de la producción agrícola		Extensificación de la producción agrícola	
	1961	----- 2005 -----	2005	-----
Nivel de vida		Mejorado	Igual que MR	Igual que en 1961
Rendimiento, t ha ⁻¹	1.84	3.96	1.84	1.84
Producción, Mt	1 776	4 784	4 784	3 811
Tractores agrícolas, Millones	11.3	28.5	28.5 ¹	23.7
Superficie bajo riego, Mha	139	284	284 ¹	298
Dosis de fertilizantes (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O), kg ha ⁻¹	32	136	32	32
Consumo mundial de fertilizante, Mt	31	165	88	67
Expansión global de la superficie de cultivo desde 1961, Mha	-	248	1 761	1 111
Aumento neto en las emisiones de GEI en comparación con MR, Gt CO ₂ e	-	-	590	317

¹ El MA1 asume de manera conservadora que el uso de maquinaria y el área bajo riego son los mismos que en el MR.

fertilizantes nitrogenados es responsable de la emisión de 1.46 Mt de N₂O o aproximadamente de 433 Mt de CO₂e. En perspectiva, el uso global de fertilizantes nitrogenados podría haber sido responsable de entre el 7 al 8.6 % de la emisión global de GEI (Flynn y Smith, 2010).

La producción agrícola moderna depende mucho del uso de fertilizantes. Para contestar la pregunta sobre cuál sería el impacto neto en los GEI, científicos de la Universidad de Stanford en los Estados Unidos (Burney et al., 2010) compararon dos escenarios mundiales alternativos (MA1 y MA2) contra el mundo real (situación actual; MR) en la emisión global de GEI desde 1965 hasta el 2005. En el escenario MA1, la superficie agrícola se expande, los rendimientos se mantienen constantes de acuerdo a los niveles de 1961, pero el estándar de vida mejora hasta llegar a las condiciones del MR. En el escenario MA2 también se tiene expansión en el área agrícola, pero el estándar de vida se mantiene en los niveles de 1961. Algunos de los supuestos utilizados y los resultados en términos de emisiones globales de GEI se muestran en la **Tabla 1**.

En el escenario MA1, en el que se asume que las dosis de fertilizantes y los rendimientos permanecen constantes en los niveles de 1961, se requiere expandir mucho más el área agrícola (> 7 veces) y además invadir áreas naturales para alcanzar las metas en la producción global de alimentos alcanzada en el MR. El escenario MA2 asume condiciones similares, pero además mantiene constante la producción per cápita de granos (estándar de vida). Aun así, el escenario MA2 todavía requiere de una gran expansión del área agrícola (4.5 veces más) para satisfacer las demandas globales de alimentos. En ambos escenarios, el MA1 y MA2, las emisiones globales del CO₂e se incrementan marcadamente en comparación con las emisiones en el MR.

A pesar de que la producción agrícola ha incrementado las emisiones de GEI por hectárea, el efecto neto de la intensificación ha sido evitar una gran cantidad de emisiones (**Tabla 1**). Al mismo tiempo, el incremento en la producción y consumo de fertilizantes es responsable de entre el 40 y 60 % de la producción global actual de cultivos y alimentos (Stewart et al., 2005; Erismán et al., 2008). Expresado de otra manera, podemos decir que gracias a la producción intensiva de cultivos se han evitado 13.1 Gt de emisiones de CO₂e por año y que cada dólar invertido en la producción agrícola ha resultado en la reducción de 249 kg de emisiones de CO₂e, en relación a las tecnologías empleadas en 1961.

Implicaciones importantes

Dos importantes conclusiones se pueden obtener de este estudio. Primero, la inversión en el mejoramiento de la producción agrícola es una manera efectiva de prevenir el incremento en las emisiones de GEI (**Foto 1**). Segundo, debe asegurarse que los esfuerzos de mitigación tomen en cuenta todos los impactos del sistema completo de estrategias utilizadas para reducir las emisiones de GEI. El aumentar la eficiencia de los insumos en la producción agrícola es una estrategia válida para disminuir las emisiones de GEI (**Foto 2**), pero reducir la utilización de insumos y finalmente limitar los rendimientos no lo es.

El satisfacer las necesidades de 9 000 millones de personas y al mismo tiempo proteger el planeta y mantener la capacidad de recuperación de la naturaleza puede ser el mayor reto que jamás ha enfrentado la humanidad (Foley et al., 2005).

Los principios promovidos por la industria de fertilizantes y por la comunidad agrícola para satisfacer la demanda de alimentos, mantener el planeta y preservar partes significativas de los ecosistemas naturales, incluyen la

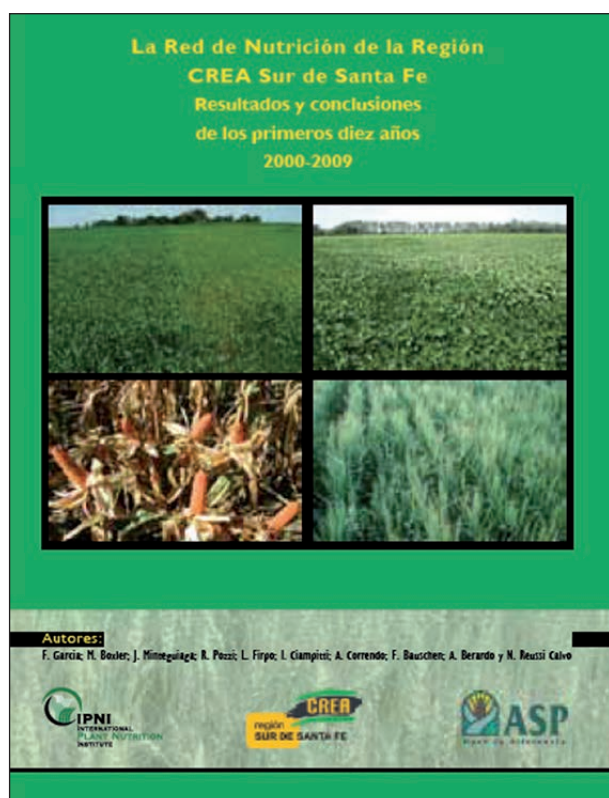
intensificación ecológica de los sistemas de producción (Cassman, 1999), el uso eficiente de nutrientes (Dobermann, 2007) a través de mejores prácticas de manejo (MPM) y la mejor administración del manejo de nutrientes para lograr las metas económicas, ambientales y sociales propuestas (Bruulsema et al., 2008; IFA, 2009; Snyder et al., 2009).

La pregunta al momento sería entonces: ¿Estamos listos como sociedad global para enfrentar este desafío?

Bibliografía

- Bruulsema, T.W., C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, and S. Ivanova. 2008. *Better Crops* 92(2):13-15.
- Burney, J.A., S.J. Davis, and D.B. Lobell. 2010. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107(26):12052-12057.
- Cassman, K.G. 1999. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96:5952-5959.
- Davidson, E.A. 2009. *Nature Geoscience* 2:659-662.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency - measurement and management. pp. 1-28. *In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations.* 259 pp. Proc. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007, Brussels, Belgium. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Erisman, J.W., M.A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont, and W. Winiwarter. 2008. *Nature Geoscience* 1:636-639.
- Flynn, H.C. and P. Smith. 2010. Greenhouse gas budgets of crop production - current and likely future trends. 67 pp. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F. S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, and P.K. Snyder. 2005. *Science* 309: 570-574.
- IFA. 2009. The Global "4R" Nutrient Stewardship Framework. Developing Fertilizer Best Management Practices for Delivering Economic, Social and Environmental Benefits. 10 pp. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.
- IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl> (verified 30 July 2010).
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen. 2009. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133:247-266.
- Stewart, W.M., D.W. Dobb, A.E. Johnston, and T.J. Smyth. 2005. *Agron. J.* 97:1-6. ❖

¡NUEVO! La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000 - 2009



La Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración del IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP) implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común.

Los objetivos generales de la Red son:

1. Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región.
2. Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada.
3. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn).
4. Conocer la evaluación de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando parámetros relacionados con su calidad y productividad.

Este informe presenta una síntesis y breve discusión de los principales resultados obtenidos en los primeros diez años de la Red de Nutrición (2000-09).

Autores: F. García; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo.

Para adquirir, por favor contacte al IPNI Cono Sur:
Tel/Fax (54) 011 4798 9939
Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net

UNA DESPEDIDA PARA UN GRAN AMIGO DE LA AGRICULTURA EN LATINOAMÉRICA: EL DR. JOSÉ ESPINOSA SE RETIRA LUEGO DE MÁS DE 21 AÑOS DE FECUNDA LABOR EN EL IPNI

El Dr. José Espinosa se despide después de 21 años de trabajo con el IPNI. José o Pepe, como lo conocemos sus amigos, es un agrónomo y edafólogo apasionado por su profesión y sobre todo por quienes están involucrados en ella, los agricultores, los estudiantes, los agrónomos. José ha sido un excelente guía para nuestro Programa IPNI en el Cono Sur, un amigo siempre dispuesto para conversar de agronomía y gozar la vida. En el Cono Sur tuvimos oportunidad de disfrutar de su sabiduría y bonhomía en sus visitas al Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo en Salta-Jujuy en el 2006, y en sus varias visitas a Argentina, Bolivia y Chile. Los mejores deseos a un gran amigo en esta nueva etapa de su vida, a disfrutar de Teresa, hijos y nietos ... aunque por lo que nos cuenta en su mensaje de despedida, la educación, los suelos y la agricultura seguirán siendo su pasión!!

Un fuerte abrazo José!!



Estimados amigos en América Latina, después de 21 años de labores ha llegado la hora de jubilarme y terminar mi vinculación con el IPNI. Durante este tiempo he ejercido las funciones de Director de la oficina para el Norte de Latinoamérica del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI, por sus siglas en inglés) y de editor de la revista *Informaciones Agronómicas* para el Norte de Latinoamérica. El tiempo ha pasado rápidamente, pero esta experiencia ha sido extraordinaria. El año 1989 empecé mis labores en la nueva oficina para el Norte de Latinoamérica que el entonces Instituto de la Potasa y el Fósforo (PPI, por sus siglas en inglés) decidió abrir en su proyecto de expansión. El área abarcaba la región comprendida entre Perú y Costa Rica incluyendo Cuba, República Dominicana, Puerto Rico y Jamaica en el Caribe. Al mismo tiempo se abrieron las oficinas de India y del Sureste Asiático. En 1997, por razones institucionales, se incluyó México y América Central en el territorio bajo mi responsabilidad. El Instituto siguió ampliando su área de acción y en el año 2007 cambió su nombre de PPI a IPNI. Todos estos cambios fueron importantes en la vida del Instituto y marcaron mi actividad profesional de manera definitiva. En 1989, el Dr. David Dibb, en ese tiempo Presidente del PPI, me explicó la naturaleza del trabajo y me indicó que la misión del Instituto era la de desarrollar información científica acerca del uso adecuado de nutrientes en agricultura. Esto se lograría a través de investigación y educación. Acepté el reto y este ha sido mi trabajo a través de todo ese tiempo. Esto me ha dado la incomparable y fascinante oportunidad de conocer casi todos los sistemas agrícolas de la región y de otras regiones en el mundo. Pero más importante aún, me ha dado la oportunidad de conocer una enorme cantidad de personas con quienes he interactuado en investigación y educación a través de los años. Por supuesto, esto también me ha dado la inmensa satisfacción de tener amigos en muchos países, la oportunidad de conocer pensamientos diversos y finalmente, la humildad de reconocer lo poco que conozco y cuanto puedo aprender de agricultores, colegas profesionales, estudiantes y amigos. Una de las actividades que más he disfrutado a través de los años ha sido la edición de la revista *Informaciones Agronómicas*. Iniciamos con un modesto primer número en marzo de 1990 y terminamos editando el número 79 en diciembre del 2010. Tengo el honor de ser también uno de los editores del primer número de la revista *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, con el cual me despido de todos los lectores de nuestra revista. Finalmente quiero reconocer y agradecer el trabajo de los profesionales que colaboraron conmigo en la oficina de IPNI en Quito durante muchos años, en particular a la Licenciada Amparo Ormaza, al Ing. Mario Ramos y al Licenciado Paúl Gualoto. Su eficiente apoyo fue fundamental para lograr los objetivos propuestos en nuestra oficina. Al llegar a este punto crucial en mi vida me he dado cuenta que todavía tengo suficiente fuerza y entusiasmo para dedicarle a la ciencia. Por esa razón, he decidido aceptar la propuesta de una pequeña universidad en Ecuador para trabajar como Director de Investigación y Transferencia de Tecnología. Allí tienen un amigo dispuesto a ayudar en lo que esté a su alcance. Mi nueva dirección de correo electrónico es jespinosa@ute.edu.ec. Nuevamente, gracias a todos mis amigos por el privilegio de su amistad, los llevo en mi corazón.

José Antonio Espinosa Marroquín

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. IX Congreso Internacional de Pastizales - IRC-2011

Organiza : IRC-2011
Lugar : Rosario, Argentina
Fecha : Abril 2-8, 2011
Información : IRC-2011
irc2011@yahoo.com
www.irc2011.com.ar

5. Conferencia InfoAg 2011

Organiza : CropLife, IPNI, PAQ
Lugar : Springfield, Illinois
Fecha : Julio 12-14, 2011
Información : CropLife, IPNI, PAQ
Tel.: 217 762-7955
440 602-9178
registration@infoag.org
exhibits@infoag.org
www.infoag.org

2. I Simposio Regional IPNI-Brasil Sobre Buenas Prácticas para Uso Eficiente de Fertilizantes

Organiza : IPNI-BRASIL
Lugar : Sorriso, Mt, Brasil
Fecha : Abril 19-20, 2011
Información : IPNI-BRASIL
Tel.: 19 3433-3254/3422-9812
elavorenti@ipni.net
www.19wcss.org.au
www.ipni.net/brazil

6. X Congreso de la Soja del Mercosur - Mercosur 2011

Organiza : Mercosoja 2011
Lugar : Rosario, Argentina
Fecha : Septiembre 14-16, 2011
Información : Mercosoja 2011
mercosoja2011@acsoja.org.ar
www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf

3. Simposio "Fertilidad 2011". La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción

Organiza : IPNI Cono Sur - FERTILIZAR
Lugar : Centro de Convenciones
Metropolitano-Rosario, Argentina
Fecha : Mayo 18-19, 2011
Información : IPNI - FERTILIZAR
Tel.: (54) 011 4798-9939/9988
fgarcia@ipni.net
www.ipni.net/lasc
www.fertilizar.org.ar/simposio

7. XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SVCS-INIA
Lugar : Calabozo, Venezuela
Fecha : Noviembre 21-25, 2011
Información : SVCS-INIA
Tel.: 58 246 808-3446
nalfonzo@inia.gob.ve
www.xix-cvcs-inia.gob.ve

4. Mundo Soja Maíz 2011

Organiza : Mundo Soja Maíz 2011
Lugar : Buenos Aires, Argentina
Fecha : Junio 7-8, 2011
Información : Mundo Soja Maíz 2011
www.mundosojamaiz.com.ar

8. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar : Mar del Plata, Argentina
Fecha : Abril 16-20, 2012
Información : AACS-SLCS
www.suelos.org.ar
www.slcs.org.mx

PUBLICACIONES DISPONIBLES

Título de la Publicación	Costo (U\$S)	Costo (Pesos argentinos)
NUEVO. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	8.00	30.00
Manual de Manejo del Cultivo de Soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	16.00	60.00
Simposio Fertilidad 2009. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16.00	60.00
Simposio Fertilidad 2007. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8.00	30.00
Como se Desarrolla una Planta de Soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University. Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4.00	15.00
Como se Desarrolla una Planta de Maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4.00	15.00
Síntomas de Deficiencias Nutricionales de Trigo, Maíz y Soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	4.00	15.00
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	4.00	15.00
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	4.00	15.00
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	4.00	15.00
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.00	7.50
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.00	7.50
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.00	7.50
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5.00	18.00
Balance para el Éxito. Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón. El precio es por cada uno.	0.50	2.00
Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en www.ipni.net/lasc		

Consulte la versión completa de Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica en su versión digital en: www.ipni.net/lasc

Forma de pago de las publicaciones

Argentina

- Giro postal o telegráfico a través de Correo Argentino - Los datos para realizar su envío son los siguientes:
Sra. Laura Nélide Pisauri - DNI: 17.278.707 • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires, Argentina
Agencia de correos de destino: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina
- Depósito bancario a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5
- Transferencia bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Sucursal Olivos, Cta. Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4

Otros países

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

Para adquirir las publicaciones del IPNI Cono Sur

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):

de 0 - 100 g	(equivale a 1 publicación)	\$ 10.00	de 100 - 500 g	(equivale de 3 a 5 publicaciones)	\$ 35.00
de 500 - 1000 g	(equivale de 6 a 8 publicaciones)	\$ 50.00	de 1000-2000 g	(equivale de 9 a 10 publicaciones)	\$ 60.00

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o correo electrónico, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (N° de giro y fecha, datos de depósito o transferencia bancaria).

*Para cualquier consulta de la revista Informaciones Agronómicas,
por favor enviar un correo electrónico a Lpisauri@ipni.net*



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

FERTILIZAR
ASOCIACION CIVIL

**SIMPOSIO
FERTILIDAD 2011**

LA NUTRICIÓN DE CULTIVOS INTEGRADA
AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

ROSARIO, 18 Y 19 DE MAYO DEL 2011

CENTRO DE CONVENCIONES METROPOLITANO
ALTO ROSARIO SHOPPING
AV. INTENDENTE LAMAS 610, (2000) ROSARIO



Costo: \$ 700.00 Hasta el 8 de Abril de 2011; \$ 900.00 a partir del 9 de Abril de 2011 (Incluye publicación y café)

Información e Inscripciones en
www.ipni.net/lasc - www.fertilizar.org.ar