



INFORMACIONES AGRONÓMICAS

de Hispanoamérica



Diciembre 2011 · No. 4

CONTENIDO

Avances en manejo sitio-específico de suelos en el Paraguay	1
Manejo del fósforo en sitios contrastantes de la región mesopotámica argentina bajo uso forestal	7
Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina	14
Efectos a largo plazo de la fertilización en el sudeste bonaerense y comparación con la región pampeana central	19
Cursos y Simposios	27
Publicaciones Disponibles	27



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

CUIT: 30-70175611-4
 ISSN 2222-0178
 No. de Registro de Propiedad Intelectual: 942009

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

AVANCES EN MANEJO SITIO-ESPECÍFICO DE SUELOS EN EL PARAGUAY

Enrique Hahn Villalba¹

Introducción

El concepto de manejo sitio-específico de insumos ha dejado de ser una novedad, herramientas de alta tecnología facilitan el manejo de distintas áreas de la parcela estudiada de forma diferencial. Las tecnologías de precisión incluyen sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), monitores de rendimiento, sistemas de información geográfica (SIG o GIS), software de computación, y tecnología de dosis variable (variable rate technology 'VRT'). Existe la necesidad de convalidar herramientas precisas y definir metodologías de trabajo para nuestra región agrícola. Los muestreos intensivos de suelo y el diagnóstico de la variabilidad de sus atributos son parte importante del paquete tecnológico.

La agricultura paraguaya es soportada sobre suelos como Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles, que presentan generalmente síntomas de deficiencias en algunos atributos químicos de suelos, prevaleciendo la necesidad de aportar correctivos para obtener altas productividades. El muestreo intensivo detallando la fertilidad de suelos, generando mapas de diagnóstico y mapas de aplicación de correctivos y fertilizantes, es una actividad promisoría para nuestra región y es la puerta de entrada para encarar proyectos de agricultura de precisión con los productores rurales.

La primera década del siglo XXI trajo consigo la gran expansión del cultivo de la soja, superando las 2.6 millones de hectáreas y un porcentual alto de adopción del sistema de siembra directa por superficie agrícola superior a 80%, posicionando al Paraguay en primer lugar, a nivel mundial en términos porcentuales, en adopción del sistema conservacionista (Derpsch y Friedrich, 2009). Se generaron avances en recomendaciones de fertilización en cultivos de granos para la Región Oriental del Paraguay (Cubilla, 2005; Wendling, 2005; Barreto, 2008; Hahn, 2008). Igualmente, en los últimos años, debido a la baja fertilidad encontrada en gran parte de los suelos con alto histórico de uso agrícola, una nueva era con la visión de fertilizar el sistema, y no solamente el cultivo, se va consolidando en nuestro país. Esto implica generar planes de construcción de la fertilidad, principalmente ligadas a aplicaciones de calcáreo, fósforo (P) y potasio (K), para buscar alcanzar mejores

¹ Consultor e Investigador en Manejo de Suelos y Agricultura de Precisión. Presentado en el II Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. SOPACIS-UNA, San Lorenzo, 25 y 26 de Agosto de 2011. Correo electrónico: ehahn@sustentap.com.py

productividades y evitar degradaciones en el suelo. Otro avance fue la informatización de las recomendaciones a través de un software que sirve de soporte para la interpretación de resultados de análisis, genera planes de construcción de la fertilidad y selecciona insumos apropiados para la necesidad del suelo, integrando a laboratorios de suelos y empresas del sector agrícola a través de redes online de trabajo (Hahn, 2009). Se verifica interés en los productores paraguayos en mejorar sus suelos, sin embargo, la situación problemática se resume en altos costos de los correctivos de suelo, lo que en muchos casos impide su aplicación.

Actualmente, el manejo sitio-específico de insumos busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial de los atributos de suelo presente en la finca, para luego determinar el impacto de esta variabilidad en el rendimiento y las estrategias que permitan el uso eficiente de insumos, conduciendo hacia una agricultura de mayor precisión, donde se incrementen los rendimientos, se mejore la rentabilidad y se reduzca el potencial impacto ambiental de la actividad.

Investigación sobre manejo sitio-específico en Paraguay

Desde inicios del 2009, a través del INBIO (Instituto de Biotecnología), financiador de las investigaciones, y las instituciones como la Cooperativa Colonias Unidas, que ofrece las parcelas experimentales a través de sus socios productores, y la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Itapúa (UCI), a través de sus estudiantes ligados con trabajos de tesis de final de grado, se realiza un proyecto técnico-científico de evaluación de herramientas disponibles para implementación de agricultura de precisión (AP) en el Paraguay. La finalidad es realizar investigaciones, generando información sobre la viabilidad de la aplicación de las herramientas existentes sobre la tecnología de agricultura de precisión. Esto implica integrar y exponer diferentes áreas de estudio en una forma objetiva, práctica y creativa para adaptar el uso y manejo de metodologías de trabajo y equipos precisos a las condiciones edafoclimáticas de nuestra región productora, partiendo de una situación real de 3 parcelas experimentales de 47, 20 y 13 hectáreas. La propuesta es crear un ciclo paraguayo de agricultura de precisión con las herramientas acordes a las necesidades regionales (Figura 1).

En las áreas experimentales se busca encontrar las causas que generan la variabilidad espacial y temporal de los rendimientos de granos. Se miden los tenores de nutrientes en el suelo, se realizan aplicaciones de fertilizantes y correctivos de suelo a tasa variada, y se controla la evolución de los nutrientes aplicados hacia el nivel de suficiencia en el suelo. Se realizan investigaciones específicas sobre el tipo de muestreo de suelo más representativo en tamaño e intensidad y sobre la variabilidad de los nutrientes de acuerdo al tamaño de grilla. Además de otros estudios sobre la variabilidad de los atributos físicos como textura, compactación, humedad y topografía. Se analiza cómo la fertilización nitrogenada y los rendimientos se relacionan con los tenores de materia orgánica (MO) del suelo y la biomasa a través del índice de vegetación y el tenor de clorofila. Para obtener información se utilizan varios equipos precisos como monitores de siembra, aplicadores a tasa variada de correctivos y fertilizantes, y monitor de cosecha (Figuras 2 y 3).

También se utilizan extractores automatizados de suelo, sensores de humedad edáfica, penetrómetro para medir resistencia a la penetración (compactación), y clorofilómetro para el cultivo. Así, se calibran respuestas de un sensor óptico activo, que mide el índice verde del canopeo de cultivos, con el objeto de diagnosticar causas de la variabilidad generada en rendimientos de los cultivos.

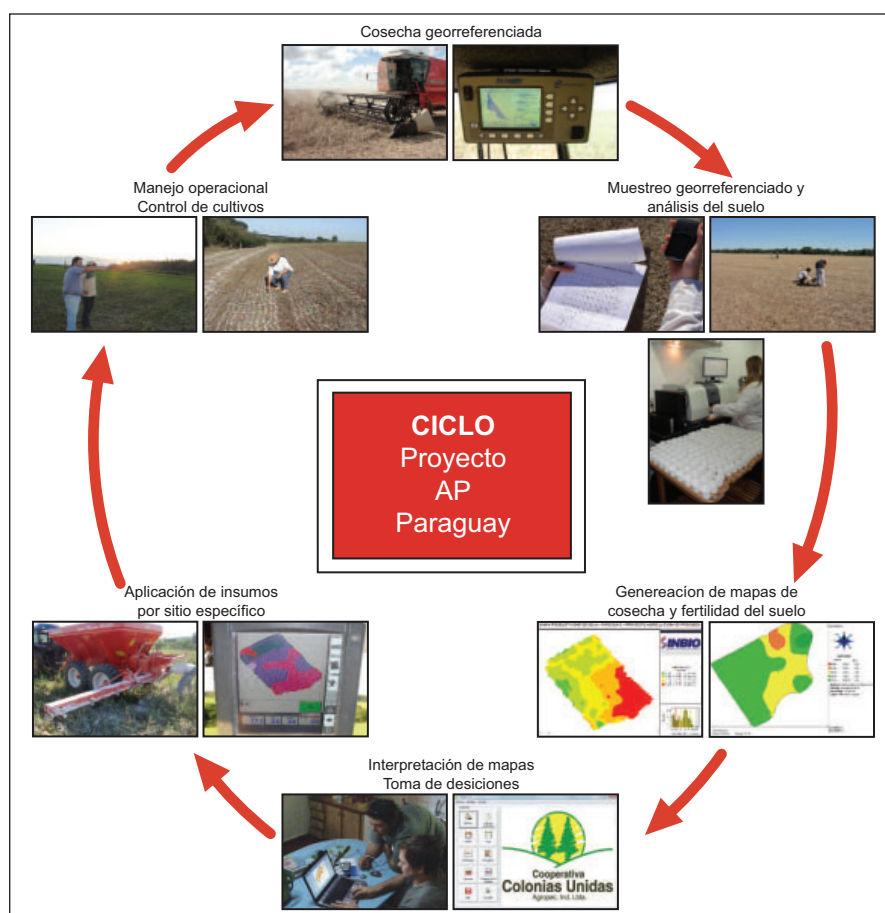


Figura 1. Ciclo de agricultura de precisión implementado en el Proyecto AP Paraguay financiado por el INBIO (Hahn, 2009).



Figura 2. Aplicador a tasa variada de correctivos de suelo (izquierda), y monitores de cosecha y de aplicación por sitio-específico utilizados en el proyecto.



Figura 3. Extractor automático de suelo y penetrómetro adaptados a cuatriciclo utilizados en el Proyecto AP, Paraguay.

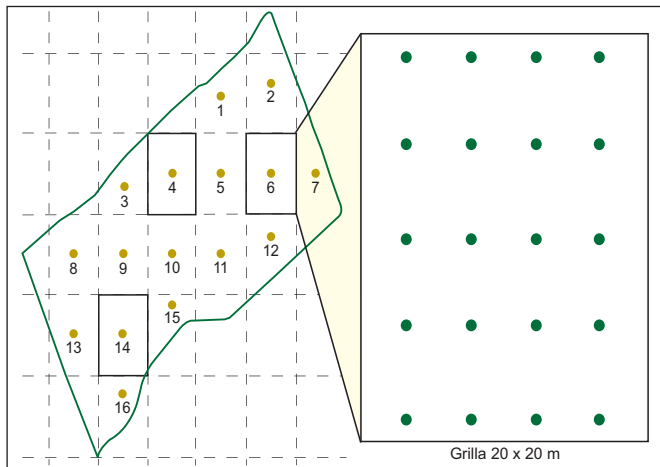


Figura 4. Distribución de la grilla de muestreo (173 x 173 m) y sub-grillas (20 x 20 m) en cuadrículas seleccionadas al azar. Parcela Experimental, Alto Verá, Paraguay.

Tendencias y perspectivas para el manejo sitio-específico en la agricultura paraguaya

En la búsqueda del mantenimiento de la fertilidad de suelos, la actividad básica a realizar debe ser reponer los nutrientes que se exportan en los granos. Un resumen de datos de análisis de suelos demostraron que gran parte del área agrícola sur del país está por debajo de los niveles críticos de P y K (Hahn, 2009). En lo que respecta a P, nuestros suelos presentan baja disponibilidad debido a la mineralogía en la que predomina la caolinita, la cual meteorizada genera óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al)

y ambientes de fijación del nutriente. Así también, se encontraron en muchas parcelas niveles bajos de K en los suelos, cuando originalmente en condiciones de bosque, los suelos poseían niveles considerados altos para la producción agrícola.

Trabajos en la zona sur del país vienen demostrando que, al diagnosticar la situación de los suelos con mapas de fertilidad a través de grillas de muestreo, es posible detallar la variabilidad de cada nutriente en el mismo. En las parcelas experimentales del proyecto se buscó refinar detalles sobre la variabilidad existente de atributos químicos del suelo mediante la realización de subgrillas de 20 x 20 m (20 muestras) en tres cuadrículas elegidas en forma aleatoria que provenían de la grilla de muestreo 173 x 173 m que generó 16 muestras cada 3 ha (Figura 4). Las parcelas experimentales son áreas con historia de uso agrícola superior a 30 años y siembra directa consolidada, representativas de las áreas agrícolas del Departamento de Itapúa.

Al detallar con sub-grillas, los resultados (Figura 5) generaron una tendencia de comportamiento variable para P en el suelo, con coeficiente de variación (CV) altos entre 30-40% y valores variando desde niveles muy altos (verde oscuro), altos (verde), medios (amarillo), bajos (naranja) y muy bajos (rojo).

El comportamiento de K en el suelo demostró también variabilidad, con CV entre 20-35% y niveles de fertilidad entre alto, medio y bajo. Esta variabilidad en las mayorías de las grillas trabajadas fue inferior a las encontradas en P.

El calcio (Ca) en el suelo demostró un comportamiento poco variable (CV de 10-20%), con niveles de fertilidad medios en la mayoría de los estudios realizados. El magnesio (Mg) por su parte, se situó en niveles de fertilidad medios a altos en casi todos los estudios realizados con CV entre 15-25%, dando resultados de variabilidad inferiores a los encontrados con P y K y superior al encontrado con Ca.

Es bueno entender que con la siembra directa, la variabilidad espacial de atributos químicos aumenta con respecto al manejo convencional usado en décadas anteriores, principalmente para el P y el K, en virtud del efecto residual de los fertilizantes aplicados con la sembradora en línea. En el sur del Brasil varios trabajos demuestran también variabilidad horizontal para P y K, superior que para pH en agua, Ca y Mg (Anghinoni y Salet, 1998; Schlindwein y Anghinoni, 2000). Esta variabilidad espacial se explica por el uso de fórmulas con alto contenido de P y K en línea de siembra, mientras que Ca y Mg se aplican encalando al voleo en forma homogénea sobre los rastrojos.

Actualmente, la tendencia para el manejo sitio-específico de la fertilidad de suelos en el Paraguay es enfocarse a una fertilización de reposición de exportación en granos,

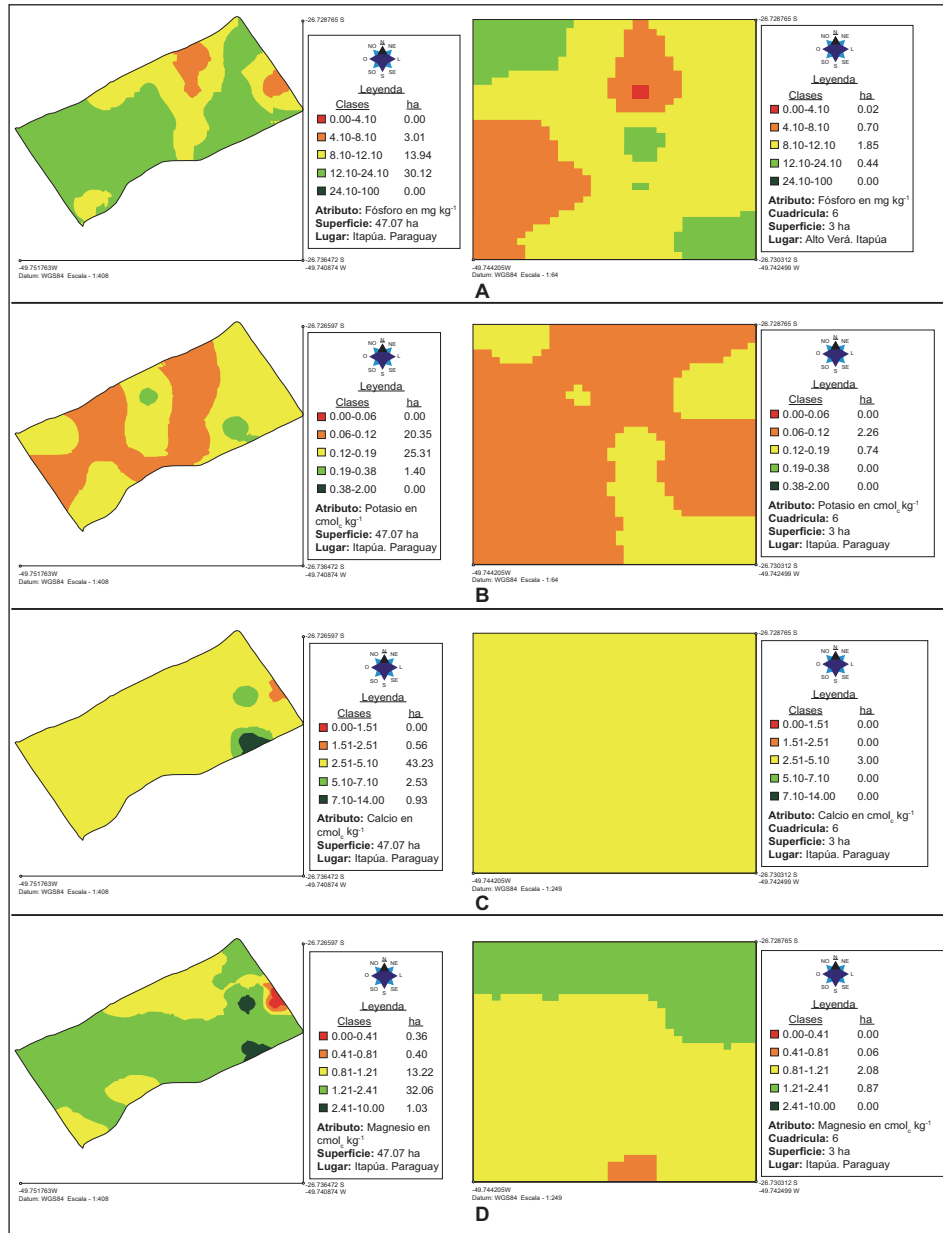


Figura 5. Estudio detallado de la variabilidad de suelo con grilla a 173 x 173 m (mapas a la izquierda) y sub-grillas de 20 x 20 m en cuadrículas seleccionadas al azar (mapas a la derecha) para fósforo (A), potasio (B), calcio (C) y magnesio (D). Parcela Experimental, Alto Verá, Paraguay.

en la línea de siembra y a una corrección de suelo sobre todo de calcáreo, P y K a tasa variada, buscando alcanzar niveles críticos o de suficiencia en los suelos, con el principal objeto de obtener mejores rendimientos en los cultivos implantados.

Para el manejo sitio-específico de nitrógeno (N) se desarrollan nuevas alternativas para la fertilización, que buscan mejorar la eficiencia e incluyen métodos de diagnóstico ligados a dosis, momento y estado nutricional, donde sobresale el uso de métodos no destructivos y de rápido análisis como los sensores ópticos que miden el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado de los cultivos (NDVI). Las investigaciones generadas con esta tecnología verifican un amplio rango de momento de aplicación de N, que se extiende hasta estadios más tardíos (V8 hasta V12). Con el uso de sensores NDVI se puede sincronizar la oferta de N con la demanda y disminuir

riesgos en la toma de decisiones por tener gran parte de los componentes de rendimiento definidos (Melchiori, 2010).

Los resultados experimentales obtenidos en Paraguay con uso de sensor óptico activo en función a dosis de N para el cultivo de maíz, marcó una buena correlación entre la lectura del sensor, la producción de materia seca ($R^2 = 0.65$ a 0.95) y los rendimientos de granos ($R^2 = 0.5$ a 0.7) principalmente desde V10 hasta V14 (Figura 6).

Al obtener datos experimentales de varias zafras relacionando producción de materia seca y rendimiento de granos con las lecturas NDVI por el sensor, identificando zonas de stress y de alto potencial productivo, se pueden crear recomendaciones a tasa variada de aplicaciones de N y tomar medidas en tiempo real que induzcan a disminuir los rangos de variabilidad de productividad causados por deficiencia de N en el cultivo.

Implementación de proyectos de agricultura de precisión con productores de la Cooperativa Colonias Unidas

El Dr. Telmo Amado, referente en agricultura de precisión en el Brasil y propulsor e investigador líder del Proyecto Aquarius de alto impacto social (Amado et al. 2006), resalta que cada región

debe adaptar su propio sistema conveniente de agricultura de precisión, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y a los datos experimentales que se presentan, siendo esto clave para consolidar la implementación de proyectos precisos a escala de productores rurales.

En un trabajo sobre interpretación y diagnóstico de los suelos agrícolas de 209 parcelas de socios productores de la Cooperativa Colonias Unidas, los cuales presentaban histórico de fertilización en línea y siembra directa consolidada con más de 10 años del sistema, se verificaron deficiencias en fertilidad de P (79% de las parcelas) y K (69% de las parcelas) en los suelos analizados, donde se ha recomendado tomar medidas a través de planes de construcción de la fertilidad de suelos (Hahn y Bonussi, 2010).

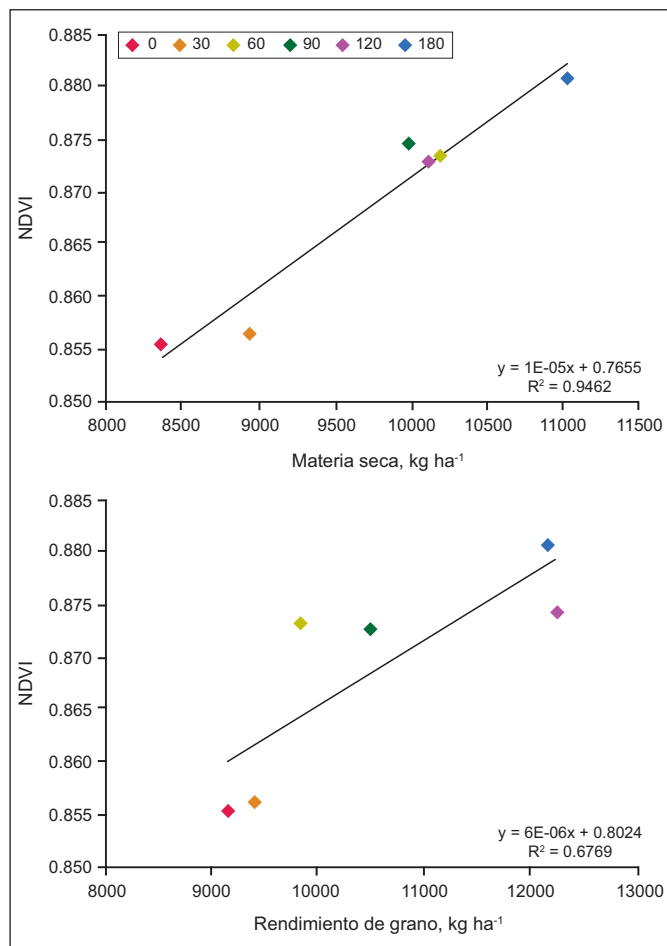


Figura 6. Relación entre el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y la producción de materia seca (superior) y rendimiento de granos (inferior) medidos en estadio fenológico V14 para 6 dosis de N (kg ha⁻¹). Parcela Experimental Alto Verá, Paraguay.

Una de las herramientas más utilizadas en la agricultura de precisión en suelos deficientes es la corrección de suelo a tasa variada. A partir del 2011 se implementó con los productores este servicio en el sector Asistencia Técnica de la Cooperativa Colonias Unidas, donde se dispone de equipos precisos e insumos para la corrección de suelos.

En la primera etapa del proyecto se implementaron trabajos de manejo sitio-específico de corrección de suelos con 30 productores y 42 parcelas agrícolas. Se realizaron mapas de atributos de suelos y se generaron recomendaciones para corrección de suelo con calcáreo, P y K. En las 42 parcelas se aplicó tasa variada y se usaron grillas de muestreo con puntos de muestreo cada 2 ha. Se elaboró un análisis sobre los beneficios económicos de la utilización de tasa variada versus tasa fija, para ello se simuló aplicaciones a tasa fija en las mismas parcelas, con recomendaciones que se obtuvieron en base al promedio de los resultados de los análisis de suelo de la grilla obtenida para tasa variada.

El encalado es una práctica necesaria en los suelos de la región para mejorar la disponibilidad de nutrientes y

neutralizar el Al³⁺ existente en nuestros suelos. Los resultados más favorables de economía con tasa variada fueron encontrados con el uso de calcáreo (Figura 7A) y en el 95% de las parcelas trabajadas hubo una economía de insumos positiva en comparación a la recomendación promedio. Existió una economía total de 26% en el uso de cal agrícola para corrección de suelos.

La aplicación de superfosfato triple como fuente de P en tasa variada resultó en 24 parcelas con balance favorable y 18 con pérdidas en economía con el uso de tasa variada al comparar con tasa fija (Figura 7B). En cantidad total de P utilizado en las parcelas hubo una economía del 14%, a favor de la implementación de la tasa variada.

Al realizar el análisis de la utilización de cloruro de potasio (KCl) como fuente de K en tasa variada se percibe un incremento en costos en relación al uso de dosis fijas (Figura 7C). El 25% de las parcelas no necesitaron K en tasa variada para superar el tenor crítico (75 mg dm⁻³ o ppm). Igualmente, al simular una dosis fija de recomendación en base al promedio, más del 75% de las parcelas no necesitaron aplicación de K. De las 9 parcelas que necesitaban el nutriente por el promedio, 8 parcelas tuvieron pérdidas en economía al comparar el uso en tasa variada versus dosis fija. Por consiguiente, hubo un balance económico negativo para la tasa variada en aplicaciones de KCl.

Un 80% de estas parcelas de socios productores son del departamento de Alto Paraná que poseen histórico más reciente de agricultura en comparación al departamento de Itapúa (20% de las parcelas). En esta región, los suelos tienen tenores medios a altos de K y esto explicaría los resultados con promedio por encima del nivel crítico, que daría una dosis fija de igual a cero. Sin embargo, debido a la variabilidad encontrada en K, algunos puntos de las grillas coincidían con niveles por debajo del nivel crítico, generando recomendaciones de aplicación de tasa variada.

Al realizar un balance general de los correctivos utilizados en las 42 parcelas (calcáreo, superfosfato triple y KCl) existió un beneficio en economía a favor del manejo sitio-específico, por la reducción de 16% en el costo total de los insumos, en comparación de la simulación de recomendación promedio para tasa fija. Además debemos considerar que los correctivos por manejo sitio-específico se ubican en el lugar correcto y en dosis adecuadas para la construcción de la fertilidad apuntada por el proyecto.

Consideraciones finales

La cotización de la tierra agrícola se elevó considerablemente en el Paraguay, cesando la gran expansión agrícola sobre los suelos del territorio en los últimos 3 años, debido a que las tierras con buena aptitud para el sector ya están cubiertas por cultivos. Con estos acontecimientos los productores paraguayos están más concentrados en adoptar tecnología para

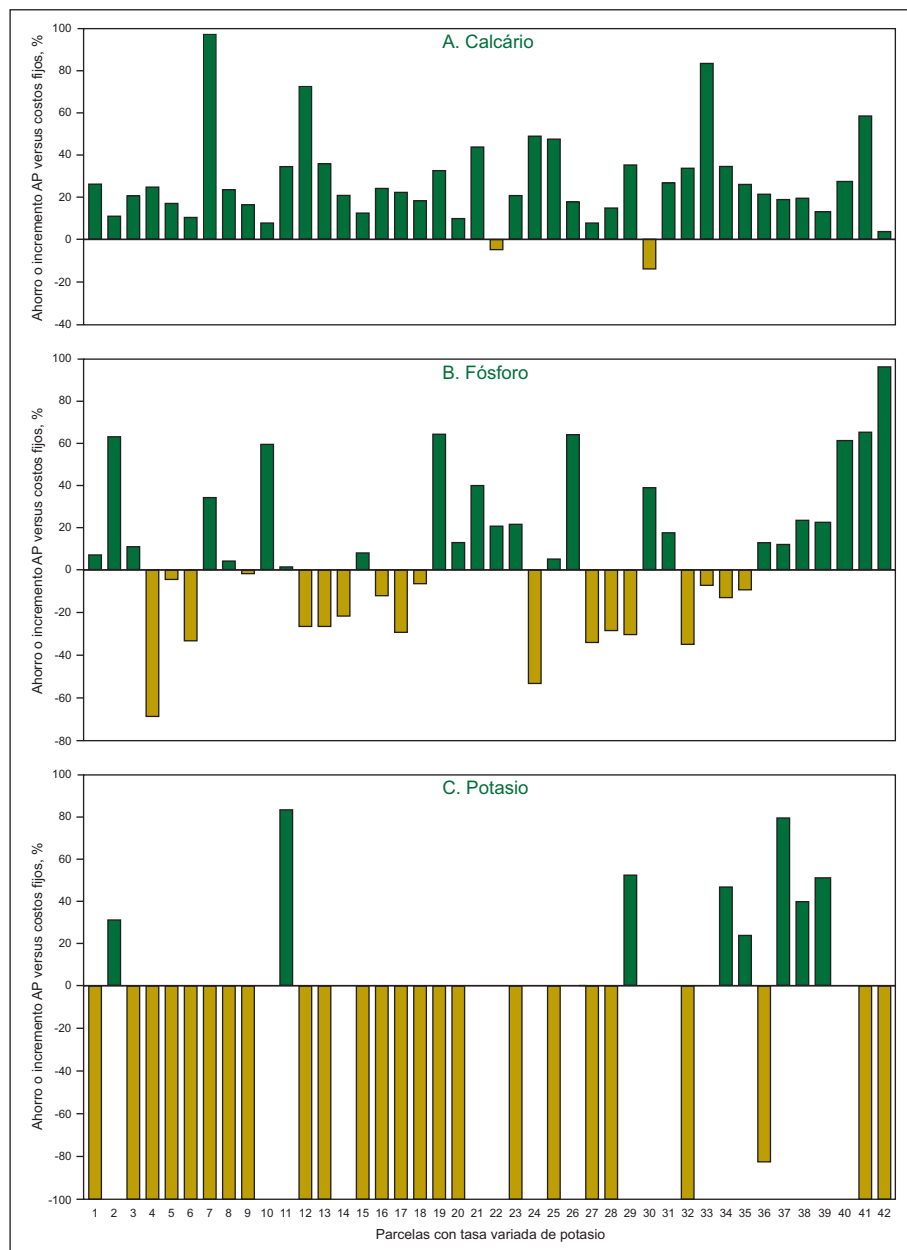


Figura 7. Variación de costos (ahorro en verde e incremento en gastos en amarillo) del uso de la tasa variada de insumos comparada con un promedio simulado de tasa fija, para calcáreo (A), Fósforo (B) y Potasio (C) en las parcelas de productores Cooperativa Colonias Unidas, Paraguay.

ganar en rendimientos por superficie cultivada. Obtener resultados satisfactorios estará vinculado al manejo y la conservación de los suelos agrícolas y al uso racional y eficiente de los insumos, pilares que cumplirán un rol importante para la sostenibilidad de nuestra agricultura.

Bibliografía

Amado, T.J. C., G.L. Belle, R.B.C. Dellamea, L.Z. Pes, R. Fulber, L. Pizzutti, R.B. Schenato, y C.L. Lemainski. 2006. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, 91(1):39-47.

Anghinoni, I., y R.L. Salet. 1998. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 27-52.

Barreto, U.F. 2008. Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa María.

Cubilla, M.M.C. 2005. Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai / 2005. 97 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

Derpsch, R., y T. Friedrich. 2009. Global overview of Conservation Agriculture No till adoption. In: IV Congresso Mundial da Agricultura Conservacionista. Disponible en internet: www.wccagri.ernet.in

Hahn, E. 2008. Recomendação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai. Mestrado em Ciência do Solo - Universidade Federal de Santa Maria.

Hahn, E. 2009. Informatización para el manejo de suelo. Primer Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Cooperativa Colonias Unidas, Obligado, Paraguay. 2009. Pp. 230.

Hahn, E., y D. Bonussi. 2010. Interpretación y diagnóstico de niveles de fertilidad de suelos agrícolas sobre siembra directa en la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas (Paraguay). Informaciones Agronómicas del Cono Sur

No. 45:5-8.

Melchiori, R.J.M. 2010. Sensores remotos para el manejo de nitrógeno. Libro del 9o. Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4a. Expo de Maquinarias Precisas. In Resúmenes de trabajos presentados. EEA Manfredi. Manfredi, Córdoba. AR.

Schindwein, J.A. e I. Anghinoni. 2000. Variabilidade espacial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24: 85-91.

Wendling, A. 2005. Recomendação de Nitrogênio e Potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai . 123 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria. ○

MANEJO DEL FÓSFORO EN SITIOS CONTRASTANTES DE LA REGIÓN MESOPOTÁMICA ARGENTINA BAJO USO FORESTAL

Ana María Lupi¹, Jorge Aparicio², Teresa Boca³, Diana Díaz⁴, María de los Ángeles García⁴, Luciana Ingaramo⁴, César Quintero⁵ y Graciela Boschetti⁵

Introducción

El fósforo (P) es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de los cultivos y, en consecuencia, su manejo adecuado es fundamental para lograr sistemas de producción sustentables. Las principales vías de salidas de P de un sistema en producción son la continua extracción a partir de la cosecha junto con pérdidas de suelo por erosión (Díaz Zorita y Barraco, 2002, Martiarena et al., 2009). En sistemas forestales productivos, la pérdida de P depende de la longitud de la rotación (en rotaciones cortas la pérdida es mayor que en las largas), del destino de la producción (biomasa, madera de calidad), del sistema de cosecha empleado (extracción del fuste o del árbol completo) y del sistema de establecimiento que se aplique (quema, laboreo o ausencia de estos). Esto define la magnitud de los impactos sobre la capacidad productiva de los suelos.

La región mesopotámica argentina incluye las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones en el noreste del país. Los suelos mesopotámicos tienen contenidos de P total medios a bajos (Boschetti et al., 2003) y se conoce poco sobre el rol de las diferentes formas del P en la nutrición de los cultivos forestales. Los estudios realizados sobre estos suelos analizan el efecto de diferentes manejos sobre el P disponible siendo poco frecuentes las investigaciones sobre las formas del P, su biodisponibilidad y su dinámica como consecuencia de las prácticas aplicadas en el periodo inter-rotación.

Debido a los cambios ocurridos en los últimos años en relación al manejo forestal inter-rotación, este artículo tiene como objetivo difundir los resultados de cuatro ensayos que evalúan el efecto de diferentes sistemas de manejo de residuos de la cosecha de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) y de pino (*Pinus elliotii*), sobre la dinámica del P. La importancia de abordar esta línea de trabajo en la Mesopotamia radica en que se trata de la principal región forestal del país y en la diversidad de suelos ocupados con bosque de especies de rápido crecimiento. Comprender las características particulares de la dinámica del P en cada suelo permitirá evaluar y optimizar la silvicultura inter-rotación en cada ambiente.

Materiales y métodos

Se trabajó con suelos de 4 sitios localizados en el noreste de Entre Ríos (S1 y S2) y sudoeste de Corrientes (S3 y S4), que se encuentran bajo uso forestal y han tenido uno o dos ciclos o rotaciones forestales previos. En la **Tabla 1** se presenta una síntesis de las características edáficas y climáticas de los sitios estudiados.

Diseño experimental y tratamientos

1. *Eucalyptus grandis* en el NE de Entre Ríos.

En S1 y S2 se aplicaron los siguientes tratamientos de manejo de residuos de la cosecha: 1) Extracción total de residuos (ER): luego de la cosecha, toda la biomasa remanente (mantillo, sotobosque, residuos de la cosecha) fue retirada de la parcela. 2) Conservación de residuos sin descortezado (CR): luego de la cosecha, sin descortezado a campo, toda la biomasa fue mantenida en la parcela. 3) Quema de residuos (QR): luego de la cosecha los residuos fueron quemados. 4) Conservación de residuos, doble adición (DA): luego de la cosecha toda la biomasa fue mantenida en la parcela y se adicionó el material extraído del tratamiento ER.

En S1, los tratamientos se aplicaron entre agosto y noviembre de 2005, mientras que en S2 se aplicaron entre noviembre y diciembre del mismo año. Los ensayos se dispusieron bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 4 repeticiones en S1 y 3 repeticiones en S2. Cada parcela experimental contó con una superficie de 1352 m². El suelo no recibió laboreo y la plantación de *Eucalyptus grandis* se realizó en forma manual, con pala.

A partir de un muestreo de los residuos realizado luego de la cosecha, se estimó la cantidad de P almacenada en los mismos. Se cuantificó la materia seca proveniente de la copa (ramas, hojas y frutos) y del mantillo y la cantidad promedio de P en residuos.

2. *Eucalyptus grandis* y *Pinus* en el SO de Corrientes.

En S3 y S4 se aplicaron los siguientes tratamientos de manejo de residuos de la cosecha: 1) Cosecha árbol completo (CAC): se extrajo el árbol entero del lote, en el sitio sólo permanece el mantillo. 2)

¹ Instituto de Suelos CIRN, INTA, Castelar, Buenos Aires. Correo electrónico: amlupi@cniia.inta.gov.ar

² EEA Bella Vista, INTA, Corrientes.

³ Instituto de Clima y Agua CIRN, INTA, Castelar, Buenos Aires.

⁴ EEA Concordia, INTA, Concordia, Entre Ríos.

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias UNER, Oro Verde, Entre Ríos.

Conservación de residuos (CR): Todos los residuos de la cosecha permanecen esparcidos en la parcela.
 3) Quema (QR): Los residuos esparcidos sobre el suelo fueron quemados mediante un fuego controlado.

Los tratamientos se dispusieron con un diseño en bloques completos al azar (DBCA), en 5 repeticiones en S3 y 4 repeticiones S4. Cada unidad experimental contó con una superficie de 1680 m². En S3, los tratamientos se aplicaron entre septiembre y octubre de 2005, y la plantación con pino híbrido (*Pinus elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensis*) se realizó en noviembre. En S4, la cosecha se realizó en el año 2006, la quema a fines de septiembre de 2007 y la plantación en octubre de 2007.

Fraccionamiento de P

De cada parcela se conformaron muestras compuestas de suelo (a partir de 30 submuestras) en las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm. En éstas se determinaron las siguientes fracciones del P mediante el método de Hedley et al. (1982): 1) P muy lábil, compuesto por P inorgánico en la solución del suelo y P adsorbido muy débilmente sobre hidróxidos y/o carbonatos, que se encuentra disponible para la planta y microorganismos (P_{muy lábil}); 2) P

inorgánico lábil (P_{il}) es el P fácilmente disponible para la planta; 3) P orgánico lábil fácilmente mineralizable (P_{ol}); 4) P inorgánico moderadamente lábil (P_{iml}) unido a la superficie de las arcillas o de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, que es disponible para la planta y microorganismos en el mediano plazo; 5) P orgánico moderadamente lábil (P_{oml}), asociado a compuestos orgánicos tales como ácidos fúlvicos y húmicos; 6) P inorgánico relativamente insoluble ligado al calcio (Ca) y P ocluido en suelos meteorizados (P_{i Ca}), no disponible para las plantas y microorganismos en el corto y mediano plazo y no reactivo. 7) P residual, formas inorgánicas y orgánicas químicamente muy estables e insolubles (P_{i res}), no reactivo y no disponible para las plantas y microorganismos en el corto y mediano plazo; y 8) P total (P_t).

Resultados y discusión

Fracciones de P en los suelos de los cuatro sitios

La información obtenida sobre las fracciones del P en los 3 órdenes de suelo bajo uso forestal se enmarca dentro de lo expresado en otras investigaciones realizadas sobre estos suelos en la región (Zubillaga y Giuffré, 1999; Fernández López et al., 2002; Boschetti et al., 2003; Fernández López et al., 2006). En la **Figura 1** se observa que el P total (P_t) varió con el grado de

Tabla 1. Localización y características de los sitios donde se instalaron los experimentos.

	S1	S2	S3	S4
Localización	Concordia, Entre Rios	Concordia, Entre Rios	Bella Vista, Corrientes	Bella Vista, Corrientes
Clima	Templado húmedo		Cálido templado	
Temperatura media anual	18.5 °C		20 °C	
Precipitación anual-ETP anual	1275 mm - 1420 mm		1168 mm - 1330 mm	
Tipo de suelo	Peluderte argiacuólico Serie Yerua	Hapludol fluventico Serie Calabacilla	Psamacuent típico Serie Pampin	Udipsament ácuico Serie Bravo
Textura del horizonte A1	Franco limoso	Franco arcillo arenoso	Arenoso	Arenoso
Materia orgánica, %	3.17	2.03	0.80	0.89
pH agua	5.80	5.30	4.64	4.73
P Bray, mg kg ⁻¹	1.81	3.23	5.09	5.59
Crecimientos promedio, m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	20-26	40-45	22-30	22-30
Uso previo	1 rotación de <i>E. grandis</i> con 2 ciclos de rebrotes	1 rotación de <i>E. grandis</i> con 2 ciclos de rebrotes	1 rotación de <i>Pinus elliottii</i> de 24 años	1 rotación de <i>E. grandis</i> con 1 ciclo de rebrotes
Período hasta el muestreo de suelos*	18 meses	22 meses	22 meses	10 meses
* Tiempo desde la quema hasta el muestreo de suelo.				

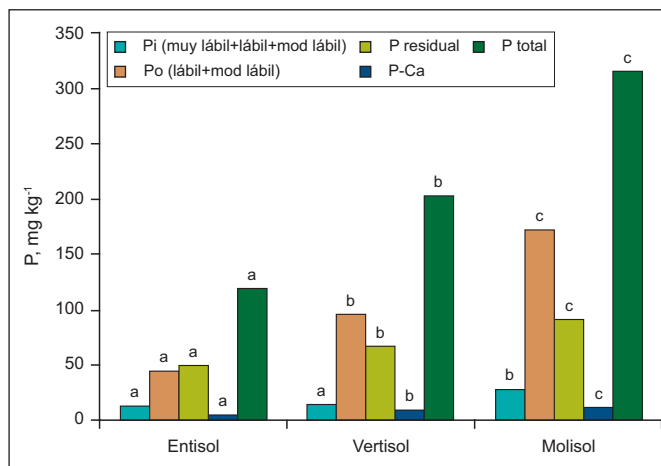


Figura 1. Concentración de P total, P orgánico, P inorgánico, P unido al Ca, P residual y P total, en la profundidad 0-10 cm, en tres suelos bajo uso forestal. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre órdenes de suelo.

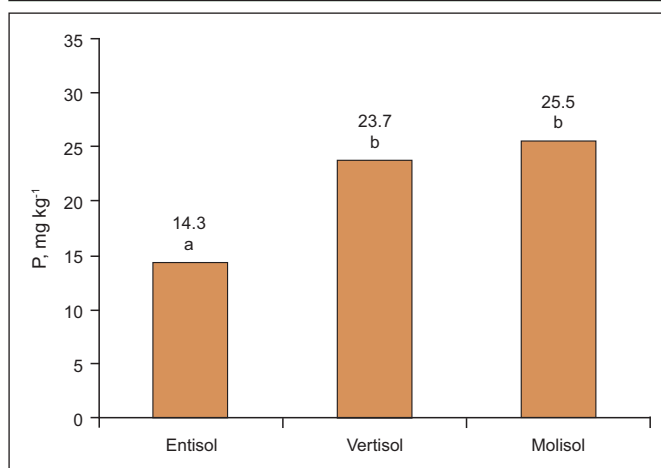


Figura 2. Fósforo disponible en tres suelos contrastantes bajo uso forestal. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre órdenes de suelo.

evolución de los suelos, desde un promedio de 118 mg P kg⁻¹ en el Entisol de Corrientes (S3 y S4) hasta 314 mg kg⁻¹ en Molisol de Entre Ríos (S2). El Vertisol (S1) ocupó una situación intermedia. Las diferencias entre los suelos reflejan el efecto de la génesis sobre la química del P y la fertilidad del suelo.

Las formas inorgánicas (P_{i muy lábil + lábil + mod lábil}) fueron menores que las formas orgánicas (P_{o lábil + mod lábil}) y las no reactivas (P_{i res + P_{i Ca}}). Proporcionalmente, el P_i fue menor en los suelos más evolucionados. Por otra parte, el P_o creció con el aumento de P_t. El valor más bajo se encontró en el Entisol (44.0 mg P kg⁻¹), con los menores niveles de materia orgánica (MO) y el valor más alto en el Molisol (171.4 mg P kg⁻¹), un suelo más rico en MO. Esta secuencia se debe a que durante la evolución de los suelos se incrementan las fracciones orgánicas debido al aporte de MO que realiza la vegetación en el horizonte superficial; efecto que se traduce en un incremento en el contenido de P_t (Cross y Schlesinger, 1995).

En todos los suelos predominó el P_o que actúa como

reserva (P_{oml}). Esta fracción ligada a la MO de mediana estabilidad se corresponde con estructuras orgánicas de mediana a alta complejidad que se encuentran estabilizadas (Tiessen et al., 1984). En general, cuanto mayores son los niveles de limo+arcilla, mayores pueden ser las reservas de P_o del suelo por la protección que genera la fracción mineral. En este sentido, las reservas de P se ordenaron de la siguiente forma: Entisol con 29.2 mg kg⁻¹, Vertisol con 75.3 mg kg⁻¹ y Molisol con 137.6 mg kg⁻¹.

El P_{oml} fue de dos (Entisol) a cuatro (Molisol) veces superior que el P_{ol} asociado a la MO, el cual se mineraliza en el corto plazo (ácidos fúlvicos o MO particulada). En el Entisol, el P_{ol} juega un rol importante en la nutrición ya que naturalmente contiene pocas reservas orgánicas.

En todos los suelos estudiados, el P disponible para las plantas (P_{muy lábil + lábil}) fue relativamente bajo (Figura 2) y representó menos del 15% del P_t. El valor hallado en el Entisol fue significativamente más bajo que el determinado en el Vertisol y el Molisol, sin embargo, no es un valor crítico limitante para el crecimiento del cultivo forestal.

Tal como lo plantean Tiessen et al. (1984), las correlaciones indican que, en el Molisol, la mayor parte del P disponible (P_{muy lábil + P_{il}}) proviene de las reservas inorgánicas (P_{iml}), que explican en un 74% y 87% de aquellas fracciones (Tabla 2). Paralelamente, un aumento en el P_{il} significó una reducción en la reserva orgánica (P_{oml}), lo cual indicaría que la mineralización de esta fracción abastecería también al P_{il}.

En el Vertisol, el P_{muy lábil} en solución y el P_{il} se asociaron con las reservas orgánicas e inorgánicas (P_{oml} y P_{iml}). El aporte de las formas orgánicas fue menor en relación a las formas inorgánicas. En el Entisol, las correlaciones fueron bajas pero significativas e indican que a medida que aumenta la reserva de P_o (P_{oml}) aumenta el P en solución, y a medida que aumenta el P_{il} disminuye su forma orgánica. En definitiva, las formas lábiles inorgánicas se explican a partir de las fracciones orgánicas poco transformadas reflejando la necesidad de un adecuado manejo de los aportes de MO fresca como fuente de P disponible.

La fracción unida al Ca (P_{i Ca}) tuvo menor representatividad que el P_{i-res} y evidenció la siguiente tendencia según orden de suelo: Molisol > Vertisol > Entisol. La mayor abundancia en el Molisol se debe a la estabilidad de las uniones P-Ca en estos suelos con un elevado porcentaje de saturación de bases (Tiessen et al., 1984). La fuerte correlación encontrada entre esta fracción y el P_{muy lábil + P_{il}} (r = 0.74), nos muestra que a pesar de su baja velocidad de reciclaje contribuye con el P disponible para las plantas.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre el P disponible y las fracciones orgánicas e inorgánicas lábil y moderadamente lábil.

Suelos	Fracciones de P					
	P _{muy lábil}			P _{il}		
	P _{ol}	P _{oml}	P _{iml}	P _{ol}	P _{oml}	P _{iml}
Vertisol	0.17	0.45 *	0.54 *	- 0.35 *	0.36 *	0.50 *
Molisol	- 0.26	- 0.27	0.74 *	- 0.35	- 0.61 *	0.87 *
Entisol	0.11	0.39 *	0.19	- 0.28 *	0.07	0.20

* Significativo a nivel de probabilidad $p \leq 0.05$.

Fracciones de P en diferentes sistemas de manejo de los residuos de la cosecha

En el corto plazo, la quema de residuos (QR) fue el único tratamiento que generó modificaciones en las fracciones de P, provocando un incremento del P_i y, en especial, del P disponible para las plantas (P_{muy lábil}, P_{il}). Los cambios ocurrieron básicamente en la profundidad 0-5 cm. En el Vertisol (S1), el P_{muy lábil} y el P_{il} en QR fueron 1.8 y 2.0 veces mayores a CR, respectivamente. Además, fracciones más estables como el P_{iml} y el P_{iCa} también aumentaron 1.4 y 1.6 veces, respectivamente, en relación al tratamiento CR. En el Entisol con residuos de *Pinus* (S3), el efecto de la quema se detectó sólo en la fracción lábil (P_{il}) y en la más resistente o no reactiva (P_{iCa}) con aumento de 2.1 y 1.3 veces respecto de CAC. El aumento de las diferentes fracciones inorgánicas en S1 y S3 expresa una redistribución del P que ingresó al suelo; comportamiento mencionado por Picone et al. (2007) y Boschetti et al. (2008) al evaluar el efecto de diferentes fertilizantes fosforados en Molisoles, Vertisoles e Inceptisoles. En el Entisol con *Eucalyptus* (S4), el incremento se encontró sólo en el P_{muy lábil} pero los efectos se vieron en ambas profundidades. La concentración de P disponible, suma de las fracciones del P en solución más el P fácilmente disponible (P_{muy lábil} + P_{il}), en QR fue 2.6 y 2.2 veces superior al tratamiento con residuos para las profundidades 0-5 y 5-10 cm, respectivamente. El aumento en subsuperficie puede asociarse a la translocación de las cenizas en los macroporos de la arenas, tal como lo indican Turrión et al. (2010).

A efectos de simplificar el análisis de las fracciones, en la **Figura 3** se presenta el comportamiento del P disponible para la profundidad 0-5 cm de cada tratamiento y tipo de suelo. Como se observa, no se advierten cambios entre tratamientos en los sitios muestreados a los 22 meses (S2 y S3) y esto puede relacionarse con diferentes procesos sucedidos en este tiempo: 1) el P disponible por la quema pudo ser absorbido por los vegetales (malezas y cultivo), 2) pudo suceder una redistribución del P hacia diferentes

fracciones, 3) ocurrió una re-adsorción a la fracción mineral, y/o 4) transformarse en P_o por procesos de inmovilización microbiana. Las diferencias significativas en S1 y S4, pueden asociarse al menor tiempo transcurrido desde la quema al muestreo y la mayor parte del P se localizaría aún en la solución del suelo.

El incremento en el P_i generado por QR produjo un aumento significativo en el P_i en el Entisol con *Pinus* (S3) donde se presentaron las mayores cantidades de P en residuos (25 kg P ha⁻¹) (**Figura 4**). En el Molisol (S2) no se detectaron cambios en las fracciones inorgánicas y en el P_i como consecuencia de la quema de los residuos.

Entre los factores que determinan las modificaciones de las fracciones del P debido a la quema se encuentran: la cantidad de material en combustión, la intensidad de la quema y el tiempo transcurrido desde su aplicación. Es

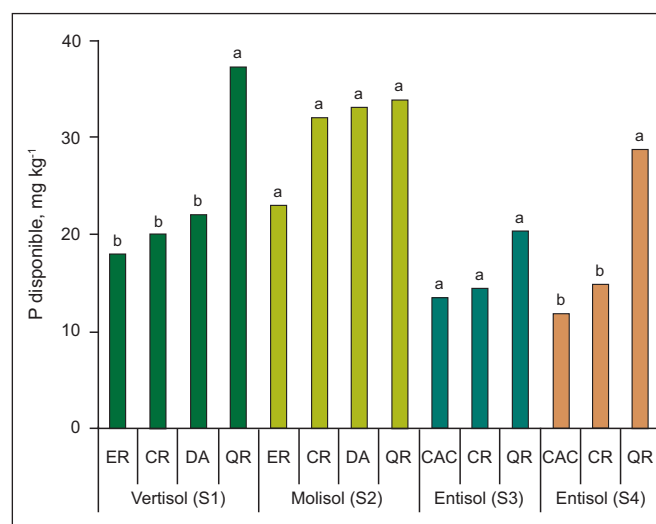


Figura 3. Fósforo disponible (P_{i muy lábil} + lábil) en la profundidad 0-5 cm, bajo diferentes sistemas de manejo de residuos aplicados en diferentes sitios. ER: Extracción de residuos. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. DA: Doble adición de residuos CAC: Cosecha del árbol completo; CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos dentro de cada orden de suelo (p < 0.05).

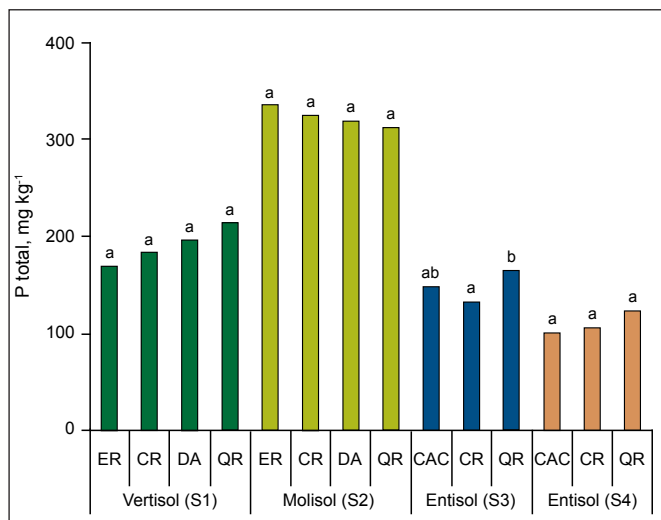


Figura 4. Fósforo total (Pt) en la profundidad 0-5 cm de diferentes sistemas de manejo de residuos, según sitios. ER: Extracción de residuos. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. DA: Doble adición de residuos. CAC: Cosecha del árbol completo. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos dentro de cada orden de suelo ($p < 0.05$).

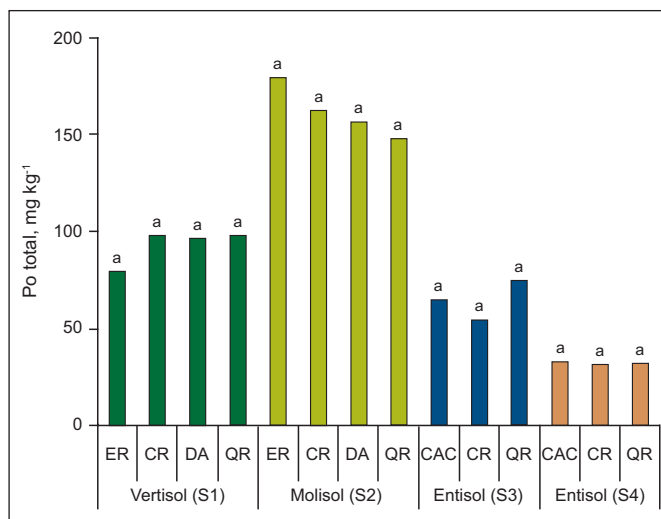


Figura 5. Fósforo orgánico total (Po_{l + ml}) en la profundidad 0-5 cm de diferentes sistemas de manejo de residuos forestales aplicados en diferentes suelos. ER: Extracción de residuos. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. DA: Doble adición de residuos. CAC: Cosecha del árbol completo. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos dentro de cada orden de suelo ($p < 0.05$).

importante destacar que a diferencia de las quemadas intensas ($> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$), las quemadas leves-moderadas tienen un efecto temporal dado que los cambios que se generan no son profundos y, en consecuencia, el sistema conserva resiliencia. La factibilidad de detectar los cambios en las fracciones del P disminuye con el tiempo. En esta experiencia, la temperatura de la quema debió superar los $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, de lo contrario el P disponible

no debió verse afectado (Serrasolas et al., 2008). Según se indica, entre $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, el P_o del suelo comienza su mineralización térmica con algunos cambios en la MO (Giovannini et al., 1990; Neary et al., 2005), llegando a su máxima combustión a partir de los $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde se consigue la liberación del P y la combustión completa de la MO con la volatilización de los fosfatos (Raison et al., 1985; Giardina et al., 2000 a, b; Hepper et al., 2008).

La ausencia de modificaciones en las fracciones orgánicas (**Figura 5**) nos permite inferir que el incremento en el P disponible es una consecuencia de las cenizas que ingresaron al suelo luego de la combustión de los residuos y de la muerte de microorganismos por efecto del calentamiento (Raison et al., 1985; Romayá et al., 1994; Giardina y Rhoades, 2001; Kolawole et al., 2004 y Serrasolas et al., 2008).

De haber ocurrido mineralización del P_o del suelo, ésta hubiera tenido lugar a temperaturas del orden de los $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. A partir de ello, se puede descartar un impacto significativo de la quema sobre la fracción orgánica y mineral del suelo, tal como se observa en las determinaciones de carbono orgánico total (COT) realizadas en el Vertisol y en el Molisol (**Figura 6**). En forma adicional, ya que la volatilización del P no ocurre a temperaturas menores a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, la mayor parte de este elemento P quedó retenido en el suelo (Gray y Dighton, 2006; Serrasolas et al., 2008). Así, las posibles vías de salida podrían haber sido erosión, por humos y transporte aéreo de partículas (Neary et al., 2005).

La conservación de residuos o su eliminación no produjo modificaciones significativas en las fracciones del P_o , lo cual es concordante también con la ausencia de modificaciones en los niveles de COT presentados en la **Figura 6** para S1 y S2. Este comportamiento puede explicarse a partir del escaso tiempo transcurrido desde el inicio del experimento en combinación con otros factores como la baja calidad de los residuos forestales (elevadas relaciones C/N, presencia de taninos, resinas, etc.). En los tratamientos sin residuos (ER o CAC) de S1 y S2, la MO se encuentra protegida de ataque de los microorganismos debido a la ausencia de disturbios como el laboreo. Adicionalmente, la humificación del C aportado por las raíces del cultivo previo y de las malezas podrían compensar las pérdidas ocurridas en la fracción orgánica siendo el balance insuficiente para detectar cambios.

En el tratamiento CR es esperable que las reservas de P del suelo incrementen con el tiempo ya que restan descomponer residuos leñosos. En ER y CAC, las pérdidas de P ocurridas en la cosecha se acentúan por la exportación de los residuos. La extracción de residuos cuantificada en nuestros sitios genera una salida adicional del sistema que puede ser de 13 a 25 kg P ha^{-1} . En S1, la

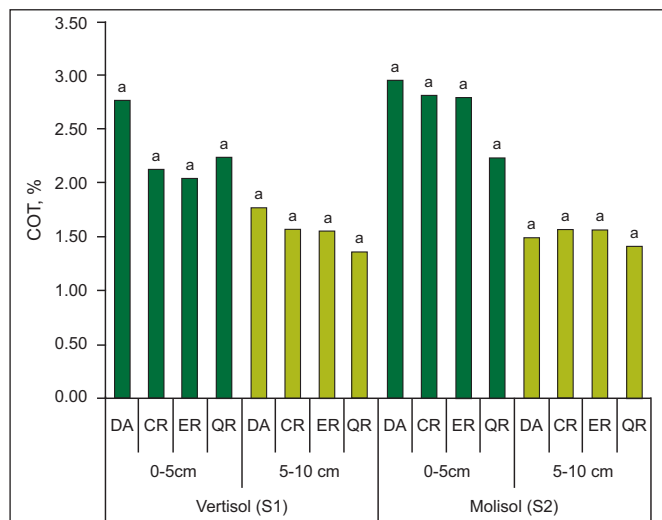


Figura 6. Carbono orgánico total (COT, %) para los distintos tratamientos en un Vertisol y un Molisol bajo uso forestal. S1: Vertisol, S2: Molisol. ER: Extracción de residuos. CR: Conservación de residuos. QR: Quema de residuos-testigo. DA: Doble adición de residuos. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos en una misma profundidad y sitio.

cantidad promedio de P en los residuos de la cosecha de *E. grandis* fue de 13.5 kg ha⁻¹ en CR, QR y ER, y 18.6 kg ha⁻¹ en DA. En S2, la cantidad de P en residuos fue de 14.4 kg ha⁻¹ en CR, QR y ER; y de 20.4 kg ha⁻¹ en DA. En S3, los residuos de *Pinus elliottii* presentaron 25 kg P ha⁻¹ en CR y QR. No se cuantificó la cantidad de P en los residuos en S4. Estos valores serían equivalentes a extracciones por cosecha: a modo orientativo, en plantaciones adultas de *Pinus spp.*, Goya et al. (2003) y Martiarena (2008) informan que en la madera se exportan entre 13 y 29 kg P ha⁻¹ (según la intensidad de raleo y para la cosecha del fuste comercial). Para *Eucalyptus*, estos valores son de 24.8 y 34.6 kg ha⁻¹ en plantaciones de 8 y 11 años, respectivamente (Goya et al., 2009).

Conclusiones

La gran extensión territorial que abarca la Mesopotamia Argentina va acompañada de una gran variabilidad de ambientes donde los suelos difieren en su formación y evolución, imprimiéndole en cada caso características particulares. Aplicar una silvicultura intensiva con un planteo sustentable implica conocer las potencialidades y las limitantes de cada ambiente y, a partir de esto, manejar cada uno de ellos en el marco de una silvicultura sitio-específica integrada con buenas prácticas.

Los contenidos de P total en los suelos estudiados son altamente contrastantes. Las concentraciones de P total en el Molisol prácticamente triplican lo observado en el Entisol (S3 y S4) y las diferencias prácticamente se cuadruplican cuando se considera la fracción orgánica del nutriente.

Los niveles de P disponible de estos suelos variaron desde 14 mg kg⁻¹ hasta 25 mg kg⁻¹ respectivamente. A

pesar de las diferencias, estos sitios pueden ser calificados de buena calidad si se los compara con suelos forestales de otras regiones del mundo. Los niveles de P disponible son suficientes para satisfacer las demandas anuales de los cultivos forestales, inclusive las de *Eucalyptus* que es más exigente en relación a *Pinus*. Las demandas anuales de P del suelo en los primeros años se encuentran entre 2-5 kg P ha⁻¹ año⁻¹. Las importantes tasas de crecimiento que se pueden obtener en estos suelos se correlacionan con la ausencia de deficiencias de P.

La extracción de P generada por la cosecha representa una salida neta del sistema. Las posibles pérdidas por manejos no adecuados a las características de los suelos (sistemas intensivos de alta densidad, quemadas moderadas a intensas, ciclos muy cortos) impactarán de manera diferencial cada sitio. Es esperable que las deficiencias se manifiesten de manera más acentuada y en forma más temprana en los Entisoles.

En el corto plazo, la conservación de residuos (CR) no generó cambios en las fracciones del P pero es esperable una ganancia en las reservas de este nutriente debido a la descomposición de los residuos (ramas y tocones presentes en el terreno al momento del muestreo). En este sentido, cabe destacar que tratamientos como CR y ER posiblemente requieran evaluaciones que involucren el ciclo forestal completo.

El cambio más destacado en el corto plazo fue debido a la acción del fuego. La quema de los residuos aumentó el P disponible sin modificar las fracciones orgánicas del suelo por calentamiento. El fuego resultó en una herramienta de transferencia instantánea de nutrientes de la biomasa al suelo.

Si bien no se rescatan impactos negativos directos por la quema y la extracción de residuos, se remarca que son prácticas no recomendadas por el potencial efecto negativo directo a largo plazo y el impacto negativo indirecto sobre la calidad y funcionamiento del suelo en general (desprotección de la superficie, riesgo de erosión, evaporación, compactación, etc.). Sin duda, los impactos serán más tempranos y mayores si estos tratamientos se aplican en suelos Entisoles.

Recomendaciones generales

Realizar un adecuado manejo del P en el sistema de producción significa aplicar una serie de prácticas que se traducen en la búsqueda de un sistema productivo sustentable. La aplicación de buenas prácticas orientadas a minimizar las pérdidas de P tiene impactos a diferentes escalas que van desde el lote hasta la cuenca.

En este sentido se recomienda:

- Evitar la exportación o eliminación de la biomasa en todos los sitios, pero de manera particular en:
 - ✓ Los suelos de escasa profundidad efectiva.

- ✓ Los suelos con volúmenes restringidos de enraizamiento o con un alto porcentaje de fragmentos gruesos.
- ✓ Los suelos de textura gruesa y con bajas reservas de P.
- Reducir al mínimo la perturbación o laboreo del suelo.
- Evitar las prácticas que eliminan las capas orgánicas del suelo (fuego, exportación de mantillo y de biomasa como combustible) o que generen mezcla del horizonte orgánico con el suelo mineral.
- Maximizar la conservación de los nutrientes en el sitio:
 - ✓ Promoviendo la rápida ocupación del sitio con coberturas vivas.
 - ✓ Manteniendo los residuos muertos sobre el suelo.
 - ✓ Descortezando en el sitio.
 - ✓ Reponiendo el P exportado.
 - ✓ Manteniendo franjas de vegetación a lo largo de los cursos de agua.

Bibliografía

- Boschetti, N.G., C.E. Quintero, R.A. Benavides, y L. Giuffré. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la mesopotamia Argentina. *Ciencia del Suelo* 21(1):1-8.
- Boschetti, N.G., C.E. Quintero, y L. Giuffré. 2008. Phosphorus fractions of soils under *Lotus corniculatus* as affected by different phosphorus fertilizers. *Biol Fertil Soil*. 45:379-384.
- Cross, A.F., y W.H. Schlesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64:197-214.
- Díaz-Zorita, M., y M. Barraco. 2002. ¿Cómo es el balance de P en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana?. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 13:8-11.
- Fernández López, C., S. Vázquez, y H.C. Dalurzo. 2002. Formas de fósforo en suelos altamente meteorizados del sur de la provincia de Misiones. *Ci. Suelo (Argentina)* 20(2):81-87.
- Fernández López, C., R. Mendoza, y S. Vázquez. 2006. Fracciones de fósforo en suelos de Corrientes con producción citrícola, arrocera y pastoril (Nota Científica). *Ci. Suelo (Argentina)* 24(2):161-168.
- Giardina, C.P., R.L. Sanford, y I.C. Døckersmith. 2000a. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash and burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Am J.* 64:399-405.
- Giardina, C.P., R. Sanford, I. Døckersmith, y V. Jaramillo. 2000b. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil*. 220:247-260.
- Giardina, C., y C. Rhoades. 2001. Clear cutting and burning affect nitrogen supply, phosphorus fractions and seedling growth in soils from a Wyoming lodgepole pine forest. *Forest Ecology and Management* 140: 19-28.
- Giovannini, G., S. Lucchesi, y M. Giachetti. 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Sci.* 149(6):255-261.
- Goya, J., C.Pérez, J.L. Frangi, y R. Fernández. 2003. Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecología Austral* 13:139-150.
- Goya, J.F., J.L. Frangi, G. Denegri, y F. Larroca. 2009. Simulación del impacto de diferentes regimenes de cosecha sobre el capital de nutrientes e indicadores económicos en plantaciones de *E. grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. *AUGMDomus* 1:1-17.
- Gray, D.M., y J. Dighton. 2006. Mineralization of forest litter nutrients by heat and combustion. *Soil Biol. Biochem.* 38:1469-1477.
- Hedley, M.J., J. Stewart y B. Chauhan. 1982. Changes in Inorganic and Organic Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:970-97
- Hepper, E., A. Urioste, V. Belmonte, y D. Buschiazzo. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *Ci. Suelo (Argentina)* 26(1):29-34.
- Kolwole, G.O., H. Tijani-Eniola, y G. Tian. 2004. Phosphorus fractions in fallow systems of West Africa: Effect of residue management. *Plant and Soil*. 263:113-120.
- Martiarena, R. 2008. Cuantificación y evaluación de la cantidad del P exportado en plantaciones de *Pinus taeda* conducido con diferentes intensidades de raleo y alternativas de sistemas de cosecha. Tesis de Maestría UNAM. 76 p.
- Martiarena, R., A. Von Wallis, y O. Knebel. 2009. Pérdida de nutrientes durante la cosecha y el establecimiento forestal, en un rodal de *Pinus taeda* en Misiones, Argentina. *Revista Forestal Venezolana*, 53(2):165-173.
- Neary, D.G., K.C. Ryan, y L.F. DeBano (eds.). 2005. (revised 2008). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.
- Picone, L., I. Capozzi, E. Zamuner, E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2007. Transformaciones de fósforo en un Molisol bajo sistemas de labranza contrastantes. *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2):99-107.
- Raison, R.J., P.K. Khanna, y P.V. Woods. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Can J Forest Res.* 15:132-140.
- Romanya, J., P.K. Khanna, y R.J. Raison. 1994. Effects of flash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *Forest Ecology and Management* 65:89-103.
- Serrasolas, I., J. Romayá, y P. Khanna. 2008. Effects of heating and autoclaving on sorption and desorption of phosphorus in some forest soil. *Biol Fertil Soil*. 44:1063-1072.
- Tiessen, H., J.W. Stewart, y C.V. Cole. 1984. Pathway of phosphorus transformation in soil of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:853-858.
- Turrión, M.B., F. Lafuente, M.J. Aroca, O. López, R. Mulas, y C. Ruipérez. 2010. Characterization of soil phosphorus in a fire-affected forest Cambisol by chemical extractions and ³¹P-NMR spectroscopy analysis. *Science of the Total Environment* 408:3342-3348.
- Zubillaga, M.S., y L. Giuffré. 1999. Soil phosphorus mobilization in different taxonomic orders. *Journal Plant Nutrition and Soil Science* 162(2):201-205. ○

FÓSFORO EXTRACTABLE EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LAS REGIONES PAMPEANA Y EXTRAPAMPEANA DE ARGENTINA

Hernán Sainz Rozas^{1,2}, Hernán E. Echeverría¹ y Hernán Angelini¹

Introducción

Las recomendaciones de fertilización fosfatada de los cultivos en la región pampeana argentina se basan en el rendimiento objetivo y la concentración de fósforo (P) extractable en los primeros 20 cm de suelo (Echeverría y García, 1998). En Molisoles de la región pampeana, con pH sub-ácido a neutro, el método de extracción propuesto por Bray y Kurtz (Bray I; Bray y Kurtz, 1945) es el más difundido para determinar la disponibilidad de P (García et al., 2007). La calibración en Argentina mostró que la concentración de P-Bray I en los primeros 20 cm, correlacionó positivamente con la respuesta a P de los principales cultivos de la región pampeana, con umbrales críticos que variaron de 15-18, 15-16 y 12-13 mg kg⁻¹ para trigo, maíz y soja, respectivamente (Zamuner et al., 2006; García et al., 1997; Echeverría et al., 2002).

Los suelos de la región pampeana argentina presentaban en condición prístina niveles muy bajos (< 10 mg kg⁻¹) de P extractable en superficie en el este y sudeste de Buenos Aires, entre Ríos y Corrientes, niveles medios (10-20 mg kg⁻¹) en el este de Santa Fe, el sudeste de Córdoba y una franja norte-sur en el centro de Buenos Aires, y niveles altos (> 20 mg P kg⁻¹) hacia el oeste de Santa Fe, centro y sur de Córdoba y noreste de la Pampa (Darwich, 1983). La continua remoción en los granos y la escasa reposición del P extraído (García y González Sanjuan, 2010), han resultado en la disminución del P extractable, y algunas áreas han pasado de rangos de valores promedio altos (> 20 mg kg⁻¹) a medios (10-20 mg kg⁻¹) o de rangos medios a bajos (< 10 mg kg⁻¹) (Montoya et al., 1999; García, 2001). Sin embargo, no se cuenta con información actualizada de la disponibilidad de P-Bray I en suelos de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina.

Considerando la importancia de este nutriente para los cultivos se plantearon como objetivos: i) determinar la distribución de la concentración de P-Bray I en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina a través de la confección de mapas; y ii) comparar estos valores con los resultados de un relevamiento realizado hace 25 años.

Materiales y métodos

Se recopiló información de reconocidos laboratorios privados y pertenecientes a Estaciones Experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que aplican el protocolo de determinación de P-

Bray I, indicado en la norma IRAM-SAGPyA 29570-1 (en revisión), la que se basa en la metodología de extracción propuesta por Bray y Kurtz (1945) con determinación colorimétrica del fosfato.

Las muestras correspondieron al estrato superficial de 0-20 cm y fueron extraídas durante las campañas 2005 y 2006 de suelos con capacidad de uso agrícola. La superficie relevada abarcó la mayor parte de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos, y algunos departamentos de La Pampa, Corrientes, Salta, Santiago del Estero y Tucumán. Se analizaron 34 328 muestras, proviniendo el mayor número de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba (**Tabla 1**). Las muestras con valores de pH superiores a 7.5 fueron eliminadas del análisis debido a que la metodología Bray subestima el P extractable en suelos con pH alcalinos.

Se determinó el promedio, mediana, desvío estándar, valor mínimo, máximo y los percentiles a nivel de departamento, región y provincia. Para generar los mapas se utilizó el programa ESRI ArcMap (2009) con cartografía base correspondiente a la división política del país. Se generó un punto, latitud y longitud correspondiente al centro de cada partido o departamento, el cual se relacionó con el valor de mediana. El método de interpolación utilizado para realizar el mapa de P-Bray I fue el Kriging Ordinario (KO), el que calcula los valores predichos según las ecuaciones descriptas por Schloeder et al. (2001).

La comparación de la predicción del KO se realizó mediante el análisis de los valores predichos versus observados, los que se obtuvieron por validación cruzada, que consiste en retirar o remover un valor observado, estimarlo con los valores mas cercanos, para luego comparar el valor estimado con el removido (Villatoro et al., 2008). También se calculó la eficiencia de predicción (EP), que estima que tan efectiva es la misma respecto del uso del promedio general de los datos (Schloeder et al., 2001). Un valor cercano a 100 indica predicción perfecta, mientras que valores bajos o negativos indican pobre estructura espacial (Kravchenko, 2003). La EP fue calculada según la siguiente ecuación:

$$EP = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - Z_{pred}]^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - Z_{prom}]^2 \right)} \right\}$$

¹ Unidad Integrada Balcarce EEA INTA - FCA UNMDP, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. Correo electrónico: fertibalc@balcarce.inta.gov.ar

² CONICET

Donde “n” es el número de observaciones, “Z(X_i)” es cada observación, “Z_{pred}” es la observación predicha por el modelo y “Z_{prom}” es el promedio general de los datos.

Por otra parte el KO calcula el error estándar del valor predicho (EEVP) mediante la siguiente ecuación:

$$EEVP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VO - VP)_i^2}{n}}$$

Donde “VO” y “VP” son los valores observados y predichos, respectivamente, y “n” corresponde a la cantidad de puntos que el modelo ha tenido en cuenta para el cálculo del VP en esa posición.

Para responder al primer objetivo, se agruparon las medianas de P-Bray I en los siguientes rangos: 0-10; 10.1-15; 15.1-20; 20.1-25 y de 25.1-100 mg kg⁻¹ de suelo, valores considerados como muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, respectivamente. Este rango de valores permitió discriminar con más detalle los valores próximos a los umbrales de respuesta de los cultivos. Para responder al segundo objetivo, se agruparon los valores promedio de P-Bray I en los siguientes rangos: 0-10; 10.1-20 y de 20.1-100 mg kg⁻¹ de suelo, valores considerados bajo, medio y alto, respectivamente, según Darwich (1983).

Se estimó el área ocupada para cada rango de P-Bray I considerando 28 Mha como superficie sembrada para la campaña 2006-07 (Ramírez y Porstman, 2009) y se calculó la dosis promedio de P para cada rango de concentración según Echeverría y García (1998), para que el P no limite la producción de los cultivos.

Resultados y discusión

El análisis de la distribución de valores de mediana de departamento y/o partido mostró desviación moderada de la normalidad (P < 0.08), por lo que el mapa se realizó con el valor de mediana sin transformar, dado que el KO es robusto para desviaciones moderadas de la normalidad (White et al., 1997). La relación entre valores predichos y observados fue significativa (P < 0.05) con un coeficiente de determinación aceptable y pendiente no diferente de uno (VO = 0.98 x VP; r² = 0.66, n = 171). Los mayores errores de predicción del KO se determinaron en la zona norte de la provincia de Santa Fe, norte de Santiago del Estero y en algunas zonas de Salta (Figura 1), lo que puede ser atribuido a la baja cantidad de partidos relevados en dichas zonas (Tabla 1). No obstante, el valor de EP fue 66%, el cual es considerado aceptable para la aplicación de métodos de interpolación (Villatoro et al., 2008).

Los valores más bajos de P-Bray I se determinaron en la provincia de Buenos Aires, este de La Pampa, sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y Entre Ríos, áreas que presentaron valores en el rango de muy bajo a bajo (Figura 2). Los valores de P-Bray I registrados para el este de La Pampa son similares a los reportados por Montoya et al. (1999) en un muestreo realizado en 1996. Si se asume que los umbrales críticos de P-Bray I para soja y/o girasol, maíz y trigo son de 12-13, 15-16 y 18-20 mg kg⁻¹, respectivamente (García et al., 2007), estos resultados sugieren que el nivel actual de P-Bray I en los suelos de esta vasta región podría ser limitante para la producción de los cultivos. Esta situación se agravaría en algunas sub-regiones de la región pampeana como el sur, oeste y norte de Buenos Aires, donde el 75% de los

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del P extractable (Bray y Kurtz, 1945) del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en provincias de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina.

Provincia	n	Promedio	DE	Mínimo	Máximo	----- Percentil -----		
						0.25	0.50	0.75
----- mg kg ⁻¹ -----								
Buenos Aires	22 025	13.3	10.8	1.0	132.0	6.9	10.4	16.0
La Pampa	1 221	16.8	10.9	1.6	95.5	9.2	14.3	21.2
Santa Fe	4 711	24.1	19.6	1.8	178.3	10.8	17.5	32.7
Córdoba	3 916	21.5	14.6	2.5	166.1	11.3	17.5	27.6
Santiago del Estero	219	29.3	17.1	5.7	125.0	19.6	26.4	33.5
Entre Ríos	1 190	11.8	13.2	1.4	98.2	4.6	7.8	13.4
Salta	406	26.8	16.0	3.5	110.6	16.8	24.2	33.7
Tucumán	640	30.2	25.6	3.3	194.8	14.9	22.9	34.5

n = número de muestras; DE = desvío estándar.

Fuentes: Laboratorio Tecnoagro, Laboratorio Suelofertil (ACA Pergamino), Laboratorio ISETA de Nueve de Julio, Laboratorio Tecnosuelo NOA, Laboratorio EEA INTA Oliveros, Laboratorio EEA INTA Marcos Juárez, Laboratorio EEA INTA Balcarce, EEA INTA Gral. Villegas y Laboratorio EEA INTA Anguil.

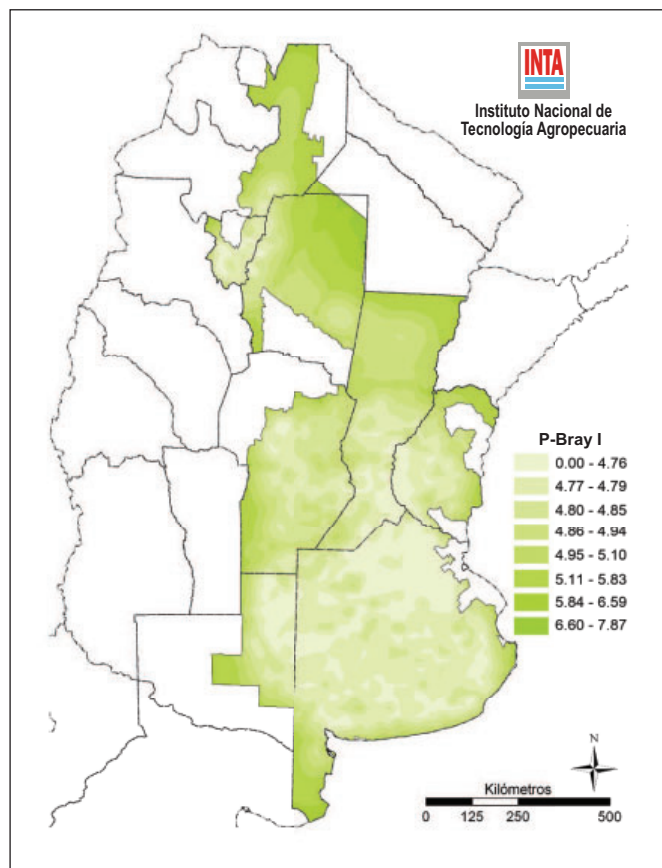


Figura 1. Rangos del error estándar del valor estimado de P-Bray I (mg kg^{-1}) por el método Kriging (error de predicción) en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina.

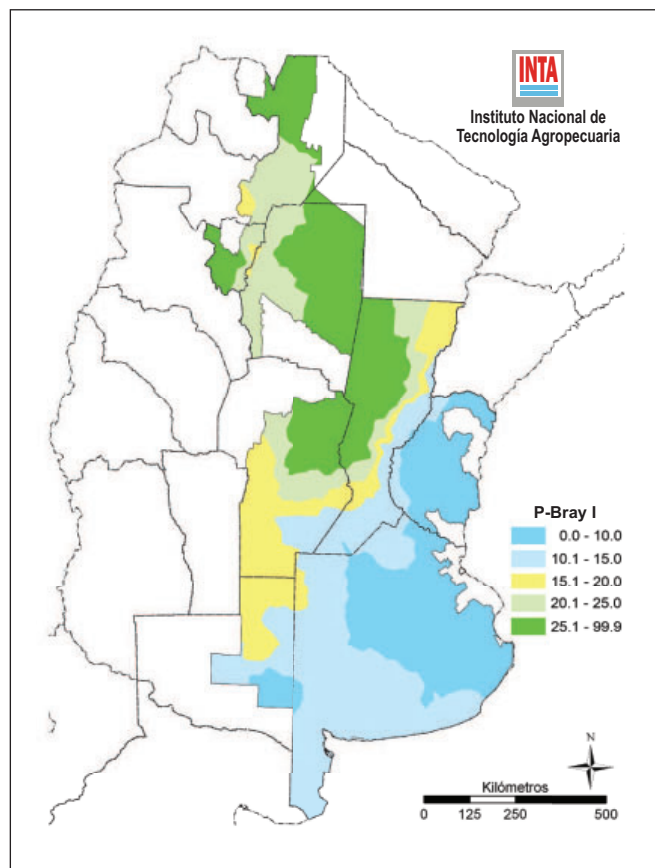


Figura 2. Rangos de valores de mediana de concentración (mg kg^{-1}) de P-Bray I (Bray y Kurtz, 1945) del horizonte superficial (0-20 cm) en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana. Interpolación realizada con el método de la inversa de la distancia ponderada y con Kriging Ordinario (a y b).

lotes relevados presentaron valores de P-Bray I menores a 16.8 mg kg^{-1} (Tabla 2), valor cercano al umbral de respuesta a la fertilización de la mayoría de los cultivos.

En un relevamiento realizado en 1980, se reportaron niveles de 10-20 y mayores a 20 mg kg^{-1} de P-Bray I hacia el oeste y norte de la región pampeana e inferiores a 10 mg kg^{-1} para el sudeste y noreste de Buenos Aires y para la provincia de Entre Ríos (Darwich, 1983). Estos resultados difieren de los actuales (Figura 3), dado que la mayor parte de los suelos del oeste de Buenos Aires, este de La Pampa, sur y sudeste de Córdoba han disminuido notoriamente su concentración respecto del muestreo realizado en 1980, pasando de concentración alta ($> 20 \text{ mg kg}^{-1}$) al rango de concentración media ($10\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$). Esta disminución se explicaría por el mayor uso agrícola de los suelos y por la baja reposición del nutriente, la cual en promedio representa tan solo entre 40-60% del P exportado (García y González Sanjuan, 2010). Esta caída también sería explicada por un aumento en la frecuencia del cultivo de soja en la rotación, debido al elevado requerimiento e índice de cosecha de esta especie (García, 2001). Además, los suelos del oeste de la región pampeana se caracterizan por presentar bajos contenidos de MO y textura gruesa, características que se asocian a un escaso poder de buffer de P (Tiessen et al., 1984).

En suelos de la región pampeana de Argentina, se determinó que la mineralización del P orgánico contribuyó positiva y significativamente al P extractable (Zubillaga y Giuffrè, 1998). Por lo tanto, ante balances negativos de P, las mayores caídas en los niveles de P-Bray I podrían ocurrir en suelos con textura más gruesa y con menores contenidos de MO. Sin embargo, en los suelos del sur y sudeste bonaerense, la concentración de P-Bray I se ha mantenido o ha pasado de niveles bajos a medios de P-Bray I (Figura 3), lo que puede ser atribuido a la amplia adopción de la práctica de fertilización y al uso de dosis de P más elevadas respecto de otras áreas con mayores niveles de P nativo (Echeverría y García, 1998).

De la superficie total cultivada en 2006-07 se estimó que el 54.4% presentó valores muy bajos a bajos y el resto valores medios a altos (Tabla 3). Según esta estimación solo el 31% de los suelos destinados a la actividad agrícola no requerirían el aporte de P por fertilización, mientras que el resto de la superficie sembrada requeriría dosis de enriquecimiento y/o mantenimiento (Tabla 3). Por lo tanto, para cubrir los requerimientos de P de los cultivos y aumentar gradualmente los contenidos de P-Bray I se deberían aplicar aproximadamente $424\ 220 \text{ t de P}$ ($2.12 \times 10^6 \text{ t de } 0\text{-}46\text{-}0$) (Tabla 3), valor superior a las $207\ 000 \text{ t de P}$ consumidos en el 2006 según García y

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del P extractable (Bray y Kurtz, 1945) del horizonte superficial del suelo (0-20 cm) en algunas subregiones de la región pampeana argentina.

Sub-Región	n	Promedio	DE	Mínimo	Máximo	----- Percentil -----		
						0.25	0.50	0.75
----- mg kg ⁻¹ -----								
Sur-Sur Este de Buenos Aires ¹	4 540	12.9	9.4	1.3	121.6	7.2	10.3	15.5
Oeste de Buenos Aires ²	7 519	13.6	9.3	1.5	108.1	7.7	11.4	16.8
Nor-Noreste de Buenos Aires ³	8 445	13.6	12.7	1.0	132.0	6.5	9.9	15.8
Sur de Santa Fe ⁴	4 293	22.9	17.6	1.8	158.0	10.5	16.8	30.0
Sur de Córdoba ⁵	2 641	19.2	12.9	2.5	166.1	10.5	15.6	23.9

n = número de muestras; DE = desvío estándar.

Partidos en cada subregión: ¹Azul, Bahía Blanca, Balcarce, B. Juárez, Cnel. Dorrego, Cnel. Pringles; Cnel. Suárez, A. Gonzáles Chávez, Gral. Alvarado, Gral. Lamadrid, Gral. Pueyrredón, Laprida, Lobería, Mar Chiquita, Necochea, Olavarría, Púan, San Cayetano, Tandil, Tornquist, Tres Arroyos; ²A. Alsina, Bolívar, C. Casares, C. Tejedor, Daireaux, Guaminí, Gral. Villegas, H. Irigoyen, 25 de Mayo, 9 de Julio, Rivadavia, Trenque Lauquen, Pellegrini; ³Baradero, B. Mitre, Bragado, Cañuelas, Cap. Sarmiento, C. de Areco, Chacabuco, Chivilcoy, Colon, 25 de Mayo, Gral. Viamonte, Gral. Arenales, Junin, L.N. Alem, Lincoln, Lujan, Mercedes, Monte, Pergamino, Pilar, Ramallo, Rojas, Roque Pérez, Saladillo, Salto, S.A. de Giles, S.A. de Areco, San Nicolás, San Pedro, San Vicente, Suipacha, Zárate; ⁴Caseros, Gral López, Gral. Belgrano, Castellanos, Constitución, Rosario, San Lorenzo, Iriondo, San Jerónimo, San Martín, San Justo, Las Colonias, ⁵Gral. San Martín, Juaréz Cellman, Marcos Juárez, Roque Saenz Peña, Río Cuarto, Unión.

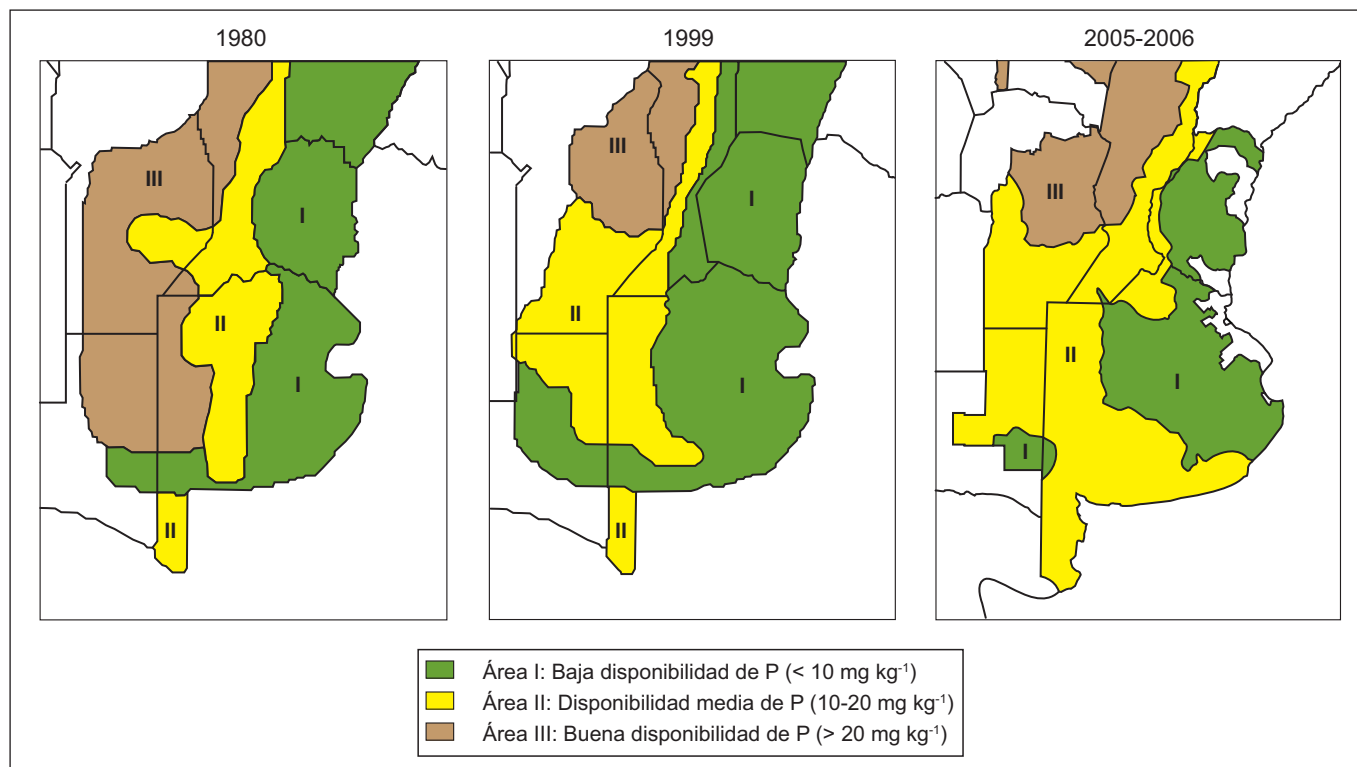


Figura 3. Rangos de concentración de P-Bray I (Bray y Kurtz, 1945) en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana argentina en 1980 (Darwich, 1983) y en 1999 (Darwich 1999, citado por García et al., 2007) y rangos de concentración de P-Bray I en el muestreo realizado en 2005-06 (interpolado con el método Kriging).

Ciampitti (2007). Estos resultados sugieren que para algunas zonas y cultivos sería necesario incrementar las dosis de P a fin de lograr una adecuada nutrición de los cultivos. No obstante, las mismas deben surgir de una adecuada evaluación del P extractable, condición indispensable para un uso racional de los fertilizantes.

Conclusiones

- La mayor parte de los suelos del oeste, norte y sur de la región pampeana presentan rangos de P-Bray I de

muy bajos a bajos, por lo que este nutriente podría ser limitante para la producción de los cultivos. Por el contrario, la mayoría de los suelos de la región extrapampeana presentan contenidos de P extractable altos o muy altos.

- La disminución de los contenidos de P-Bray I en los últimos 25 años ha sido más importante hacia el oeste y norte que al sur de la región pampeana.

Tabla 3. Área estimada para cada rango de concentración de P extractable (Bray y Kurtz, 1945) y dosis de P estimadas (promedio para la mayoría de los cultivos) según Echeverría y García (1998) para que el P no limite la producción de los cultivos.

Rango de P-Bray I	Valoración agronómica	----- Superficie relevada* -----	Dosis de P	Cantidad de P a aplicar**
mg kg ⁻¹	-	%	Mha	t
0-10	Muy Bajo	28.3	7 916	237 480
10.1-15	Bajo	26.1	7 911	146 220
15.1-20	Medio	14.5	4 052	40 520
20.1-25	Alto	8.7	2 425	-
> 25	Muy Alto	22.5	6 297	-

* Producto del área sembrada estimada en 2006-07 (28 Mha) reportada por Ramírez y Porstman (2009) y del porcentaje ocupado por cada rango.

** Producto de área por dosis de P ha⁻¹.

Agradecimientos

A los que aportaron información sobre los análisis de suelos: José Lamelas y Luis Berasategui (Tecnoagro), Roberto Rotondaro (Suelofertil), Graciela Cordone (INTA Casilda), Carlos Galarza (INTA Marcos Juárez), Alfredo Bono (INTA Anguil), Juan Galantini (UNS), Luis Ventimiglia (INTA 9 de Julio), Sebastián Gambaudo (INTA Rafaela), Mirian Barraco (INTA Gral. Villegas) y Laboratorio Tecnosuelo del NOA. A la responsable del Laboratorio de Geomática de INTA Balcarce Karina Zelaya.

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto INTA AERN 295561 y AGR 319/10 de la UNMP.

Bibliografía

Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci* 59:360-361.

Darwich, N.A. 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. *IDIA* enero-abril: 1-5.

Echeverría, H.E., G.N. Ferraris, G. Gerster, F.H. Gutiérrez Boem, y F. Salvagiotti. 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del proyecto Fertilizar – INTA Campaña 2000/2001 y 2001/2002. Fertilizar – INTA. www.fertilizar.org.ar

Echeverría, H.E., y F.O. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 18 p.

García, F.O. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 9:1-3.

García, F.O., y I.A. Ciampitti. 2007. Requerimientos nutricionales y balances de nutrientes. *Agromercado Temático*. Año 27. Bs. As., Argentina. pp. 2-6.

García, F.O., K.P. Fabrizio, M. Ruffo, y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de

Maíz. Pergamino, Buenos Aires. Tomo III: 137-143.

García, F., y M.F. González Sanjuan. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 48:1-5.

García, F.O., L.I. Picone, y A. Berardo. 2007. Fósforo. En: Echeverría, H.E.; García, F.O. (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp. 99-121.

Kravchenko, A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of American J.* 67:1564-1571.

Montoya, J., A. Bono, A. Suárez, N.A. Darwich, y F. Babinec. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en los suelos del este de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ciencia del Suelo*. 17:45-48.

Ramírez, L., y J.C. Porstman. 2009. Evolución de la frontera agrícola. *Campañas* 80/81-06/07. [Online]. *Revista Agromensajes de la Facultad*. <http://www.fcagr.unr.edu.ar>

Schloeder, C.A., N.E. Zimmerman, y M.J. Jacobs. 2001. Comparison of methods for interpolating soils properties using limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:470-479.

Tiessen, H., J.W.B. Stewart, y C.V. Cole. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:853-858.

Villatoro, M., C. Enríquez, y F. Sancho. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense* 32:95-105.

White, J.G., R.M. Welch, y W.A. Norvell. 1997. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:185-194.

Zamuner, E.C., L.I. Picone, y H.E. Echeverría. 2006. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. *Soil and Tillage Research* 89:70-77.

Zubillaga, M., y L. Giuffrè. 1998. Pathways of native and fertilizer phosphorus in Argentine soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 51:101-105. ○

EFECTOS A LARGO PLAZO DE LA FERTILIZACIÓN EN EL SUDESTE BONAERENSE Y COMPARACIÓN CON LA REGIÓN PAMPEANA CENTRAL

Guillermo A. Divito¹, Hernán R. Sainz Rozas^{1,2,3}, Hernán E. Echeverría^{1,2}, Guillermo A. Studdert¹ y Nicolás Wyngaard¹

Introducción

Diversos trabajos han puesto de manifiesto que la importancia de la fertilización de los cultivos está dada no sólo a través de efectos directos, como mejoras en el rendimiento y/o en la calidad de los productos de cosecha, sino también a partir de cambios que se manifiestan a mediano y largo plazo en el suelo. En este sentido, distintos organismos e instituciones han aportado valiosa información sobre el efecto a largo plazo de una adecuada nutrición de cultivos, en especial a partir de ensayos ubicados en la Pampa Ondulada y Pampa Interior Plana (García et al., 2010; Irizar, 2010). La primera región comprende el noreste de la provincia de Buenos Aires y centro-sur de Santa Fe, y se caracteriza por presentar suelos Argiudoles típicos, con altos tenores de limo y arcilla hacia el norte de Buenos Aires, mientras que hacia el este de Santa Fe aumenta el contenido de arcilla y predominan Argiudoles vérticos. La Pampa Interior Plana, por su parte, presenta Hapludoles típicos hacia el sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires y Hapludoles y Haplustoles énticos hacia el este de la provincia de Córdoba (Hall et al., 1992; **Figura 1**). El contenido de materia orgánica (MO) de los suelos de ambas unidades varía entre 2.0 y 3.5%.

El efecto de la fertilización sobre las propiedades del suelo está fuertemente condicionado por las características del mismo, del ambiente y de la secuencia de cultivos (Álvarez, 2005). Los suelos predominantes en el sudeste bonaerense (sector oriental de la Pampa Austral; **Figura 1**) son Argiudoles típicos y Paleudoles petrocálcicos con textura franca y un mayor contenido de MO respecto de la región central del país. Esto último les otorga una alta capacidad de resistir cambios promovidos por prácticas antrópicas (Seybold et al., 1999). Para dicha región, Studdert y Echeverría (2000) reportaron que la fertilización de los cultivos con nitrógeno (N) logró reducir las tasas de caída en el contenido de MO. Asimismo, Fabrizzi et al. (2003) informaron que dicha práctica permitió aumentar el contenido de MO de un suelo degradado producto de la larga historia agrícola, mientras que no observaron cambios en dicha propiedad en un suelo sin signos de degradación.

En general, el efecto de la aplicación de N sobre las propiedades del suelo es de mayor magnitud que el observado para otros nutrientes, debido a que normalmente es el nutriente más limitante. El azufre (S), por su parte, es un nutriente cuya disponibilidad en los suelos de la región pampeana ha mermado debido a

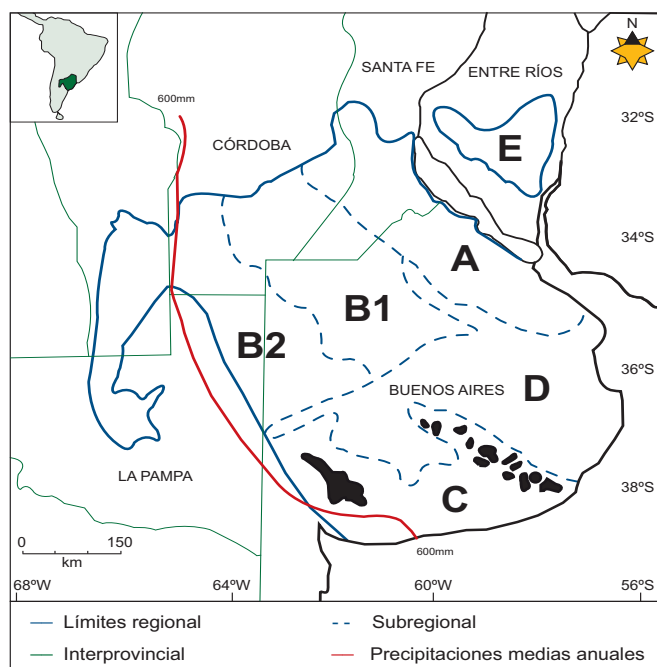


Figura 1. Subdivisión de la Región Pampeana. A. Pampa Ondulada; B. Pampa Interior (B1. Plana, B2. Occidental); C. Pampa Austral; D. Pampa Inundable; E. Pampa Mesopotámica. Fuente: Adaptado de Hall et al. (1992).

caídas en el contenido de MO, principal reservorio edáfico de S, al incremento en la superficie cultivada bajo siembra directa (SD), que reduce la mineralización de la MO), y al aumento en la demanda de los cultivos por mayor potencial de rendimiento (Echeverría, 2005). Las deficiencias de S son mayores en el norte de la región pampeana, donde los procesos mencionados se han desarrollado con mayor intensidad.

El primer objetivo del presente trabajo es difundir los resultados de un ensayo de larga duración del sudeste bonaerense donde se evaluó el efecto de la aplicación de N y S a los cultivos de una rotación. Un segundo objetivo es comparar dichos resultados con los obtenidos en la región pampeana central de Argentina, en base a los resultados presentados por Irizar (2010) para la localidad de Pergamino y por García et al. (2010) en distintos sitios correspondientes a la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (en adelante denominada Red CREA).

Materiales y métodos

El ensayo de larga duración se realizó entre los años 2001 y 2008 en la EEA INTA Balcarce (37°45' latitud sur y

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP, C.C. 276, (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: guillermomodivito@yahoo.com.ar

² E.E.A. INTA, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

³ CONICET

Tabla 1. Dosis de nutrientes (kg ha⁻¹) aplicados a cada cultivo de la rotación

Trat.	--- 2001/02---		--- 2002/03 ---		--- 2003/04 ---		--- 2004/05 ---		--- 2005/06 ---		--- 2006/07 ---		--- 2007/08 ---	
	---- Maíz ----		---- Soja ----		- Trigo/Soja -		- Trigo/Soja -		---- Maíz ----		---- Soja ----		- Trigo/Soja -	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
N0 S1	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15
N1 S0	70	0	0	0	70	0	70	0	116	0	0	0	70	0
N1 S1	70	15	0	15	70	15	70	15	116	15	0	15	70	15
N2 S0	140	0	0	0	140	0	140	0	176	0	0	0	140	0
N2 S1	140	15	0	15	140	15	140	15	176	15	0	15	140	15

58°18' longitud oeste), sobre un complejo Paleudol petrocálcico y Argiudol típico, con pendiente menor al 2% y textura franca (23% arcilla, 36% limo, 41% arena). El sitio experimental se mantuvo durante los 25 años previos al ensayo en rotación de cultivos agrícolas, bajo labranza convencional (LC), que incluyó arado de rejas y rastra de discos. Al inicio del ensayo, el contenido de carbono orgánico (CO) en 0-20 cm fue 25.4 g kg⁻¹, el pH 5.53 y el P-Bray 29 mg kg⁻¹ (H. Sainz Rozas y H. Echeverría, com. pers.).

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial y cuatro repeticiones, bajo una rotación que incluyó maíz, soja y trigo/soja de segunda. Se evaluaron dos factores: la aplicación de N (tres dosis: N0, N1 y N2) y de S (dos dosis: S0 y S1) (Tabla 1). La combinación N0-S0 no se incluyó en el ensayo. La fertilización se realizó al voleo a la siembra de los cultivos con urea (46-0-0) y sulfato de calcio (Ca SO₄; 16% S, 20% Ca). Además, se aplicó superfosfato triple de Ca (0-46-0; 20% P, 14% Ca) como fuente de fósforo (P) con el objetivo de evitar deficiencias.

Los residuos de biomasa aérea se estimaron según el índice de cosecha (0.45, 0.40 y 0.45 para maíz, soja y trigo, respectivamente) y la biomasa de raíces más rizo-deposiciones en el estrato 0-20 cm se calcularon según lo descrito por Domínguez y Studdert (2006), como una proporción de la biomasa aérea total (0.32, 0.32 y 0.43 para maíz, soja y trigo, respectivamente). Se asumió que la concentración de C en el material vegetal fue de 43%. El trigo sembrado en 2007 sufrió los efectos de helada en floración por lo que se consideró, para el cálculo del aporte de C, un rendimiento de 4000 kg ha⁻¹ en todos los tratamientos.

En 2008, previo a la siembra del maíz, se tomaron muestras de suelo de 0-5, 5-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad, se secaron en estufa a 30 °C y pasaron por tamiz de 2 mm. El fraccionamiento físico de la MO fue realizado según Cambardella y Elliott (1992). La determinación de C orgánico (CO) se realizó según Schlichting et al. (1995) y de N orgánico (NO) mediante combustión de las muestras y determinación con un analizador TruSpec CN (LECO, 2011). El CO y NO particulado (COP y NOP respectivamente) se obtuvo por diferencia entre el CO y NO y la

fracción asociada al limo + arcilla (COA y NOA). Para la determinación del N mineralizado en anaerobiosis (Nan), se incubaron 10 g de suelo durante 7 días a 40°C en condiciones anaeróbicas (muestras saturadas con agua destilada). Posteriormente, se cuantificó por microdestilación el N-NH₄⁺ formado durante la incubación.

La determinación del contenido de S-SO₄²⁻ intercambiable y en solución se realizó mediante la extracción con Ca(H₂PO₄)₂ y posterior análisis turbidimétrico con cloruro de bario (BaCl) y Tween 80 (Johnson, 1987). El contenido de N-NO₃⁻ se analizó por colorimetría (Keeney y Nelson, 1982). El pH del suelo se determinó en relación 1:2.5 (suelo-agua).

Se realizaron análisis de varianza con PROC GLM del Statistical Analysis System (SAS Institute, 1985). Como la combinación N0S0 no se incluyó en el ensayo, el efecto de las dosis de N se determinó considerando sólo los tratamientos que recibieron aporte de S (N0S1, N1S1 y N2S2). Por su parte, el efecto de la aplicación de S se determinó contrastando los promedios de N1 y N2 para los tratamientos sin (promedio de S0N1 y S0N2) y con aporte de S (promedio de S1N1 y S1N2).

Para establecer comparaciones respecto de lo observado en la Pampa Ondulada y en la Pampa Interior Plana, se discuten los resultados correspondientes a la Red CREA reportados por García et al. (2010) y los obtenidos por Irizar (2010) a partir del Ensayo de Larga Duración ubicado en la EEA INTA Pergamino. Los ensayos de la Red CREA comprenden 11 sitios distribuidos en el sudeste de la provincia de Córdoba, Sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires. Los mismos se establecieron en el año 2000 y se evaluaron distintos planteos de fertilización en dos rotaciones bajo SD: maíz-trigo/soja de segunda (M-T/S) y maíz-soja-trigo/soja de segunda (M-S-T/S). Del ensayo de Pergamino, se emplearon los datos pertenecientes a la rotación M-T/S iniciada en 1983, también bajo SD.

Resultados y discusión

Rendimiento de los cultivos

Los cultivos de gramíneas manifestaron un incremento en el rendimiento en grano en respuesta a la fertilización

Tabla 2. Rendimientos de los cultivos fertilizados con N (N0, N1 y N2) y S (S0 y S1) para el período 2001-2008.

Variable	2001/02	2002/03	----- 2003/04 -----		----- 2004/05 -----		2005/06	2006/07	----- 2007/08 -----	
	Maíz	Soja	Trigo	Soja 2da	Trigo	Soja 2da	Maíz	Soja	Trigo	Soja 2da
----- kg ha ⁻¹ -----										
N0	6725 b	3064 a	4234 b	2359 a	2661 b	1723 a	9084 b	3729 a	4000 *	1807 a
N1	9001 a	2864 a	5467 b	784 b	4378 a	971 b	10 254 ab	3608 a	4000	1551 a
N2	9586 a	2979 a	6930 a	753 b	4477 a	883 b	10 571 ab	3550 a	4000	1678 a
S0	8323 A	3043 A	5532 A	768 A	3876 B	851 A	10 220 A	3423 A	4000	1615 A
S1	9294 A	2921 A	6198 A	768 A	4427 A	927 A	10 412 A	3579 A	4000	1615 A

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas (p < 0.05). Minúsculas para N y mayúsculas para S.

* Valor estimado para el trigo de 2007, en reemplazo del cultivo perdido por helada.

nitrogenada. En promedio, la respuesta del cultivo de maíz fue de 23.3% (1723 kg ha⁻¹) y 29.4% (2174 kg ha⁻¹), mientras que la de trigo fue de 46.8% (1975 kg ha⁻¹) y 65.9% (2976 kg ha⁻¹) para N1 y N2, respectivamente (Tabla 2). La soja de primera implantada sobre parcelas con distinto historial de fertilización nitrogenada no manifestó diferencias en el rendimiento en los años 2002 y 2006. Contrariamente, en la soja de segunda implantada en 2004 y 2005 se determinaron disminuciones en el rendimiento en las parcelas sembradas sobre cultivos de trigo fertilizados con N, lo que podría obedecer a un mayor consumo de agua de éste último (Caviglia y Sadras, 2001). La aplicación de S, exceptuando la soja implantada en 2002, generó incrementos en el rendimiento de los cultivos (8.5% en promedio), aunque el mismo sólo resultó estadísticamente significativo en el trigo sembrado en 2004 (Tabla 2).

Estos resultados se diferencian de lo observado en la región pampeana central. Así, en el caso del maíz se pudo determinar que, si bien los rendimientos promedio presentados por Irizar (2010) para Pergamino (7108 kg ha⁻¹ para el tratamiento fertilizado con N) fueron inferiores a los de Balcarce, los determinados en la Red CREA (11 403 kg ha⁻¹ en promedio para las rotaciones M-T/S y M-S-T/S) fueron mayores y con respuestas levemente superiores a la aplicación de N (2653 kg ha⁻¹). Contrariamente, se observó que el rendimiento y la respuesta a la fertilización nitrogenada resultó superior para el trigo en el sudeste bonaerense, ya que el rendimiento promedio de la Red CREA fue de 2930 kg ha⁻¹ y la respuesta a N fue 735 kg ha⁻¹ (promedio para M-T/S y M-S-T/S). En soja, también se determinaron diferencias entre regiones, habiéndose reportado mayores rendimientos en la zona central, tanto para cultivos de primera (4304 kg ha⁻¹ para los ensayos de la Red CREA) como de segunda (3162 y 2398 kg ha⁻¹ para la Red CREA y Pergamino, respectivamente). Es de destacar que los resultados presentados por Irizar (2010) también muestran una tendencia a mayor rendimiento de la soja de segunda sembrada sobre parcelas no fertilizadas con N (480 kg ha⁻¹) en relación a las fertilizadas.

Las diferencias en el rendimiento de los cultivos obedecen principalmente a las condiciones climáticas de cada región. En el caso de los cultivos de verano, su rendimiento es mayor en el norte de la región pampeana debido a la mayor abundancia de precipitaciones en dicha estación respecto del sudeste bonaerense (Hall et al., 1992). Contrariamente, la productividad de los cultivos de invierno es mayor en el sudeste debido a la baja frecuencia de déficits hídricos (Reussi Calvo y Echeverría, 2006) y al mayor cociente fototermal (Q) (Magrin et al., 1993)

Para S, la escasa respuesta de los cultivos a la fertilización que se observó en el sudeste bonaerense coincide con lo esperado, puesto que la deficiencia del nutriente en la región no es generalizada (Reussi Calvo, 2009; Pagani et al., 2009; Divito et al., 2010). Contrariamente, en la región centro del país, se han determinado respuestas de mayor magnitud, siendo la soja de segunda y el maíz los cultivos que mayor incremento en rendimiento manifiestan (García et al., 2010). Estas diferencias entre regiones obedecerían principalmente al menor contenido de MO de los suelos de la zona norte.

Aporte de Carbono

Para ambientes templados, se considera que la producción de residuos de cultivos y su manejo son los factores más importantes en la dinámica de la MO (Stevenson y Cole, 1999). En este sentido, el aporte de C estimado a través de las biomásas aérea y radical y de los exudados radicales siguió la misma tendencia que el rendimiento, con incrementos en la medida que la dosis de N y S fue mayor. Para el Sudeste Bonaerense, se ha reportado que la aplicación de N genera aumentos en la cantidad de C que ingresa al suelo en una rotación (Domínguez et al., 2005), pero para S sólo se han informado mayores aportes de C para cultivos en particular, como maíz (Pagani et al., 2009) y trigo (Reussi Calvo, 2009). De este modo, lo estimado en el presente trabajo pone de manifiesto que la adecuada provisión de este último nutriente, que manifiesta deficiencias moderadas en la zona, podría tener un impacto positivo sobre la variación del C edáfico. Esto adquiere

especial importancia en el norte de la región pampeana, donde las deficiencias de S son más pronunciadas y, por ende, la adecuada provisión del nutriente tendría un impacto mayor sobre el balance de C del sistema.

Carbono orgánico del suelo

Luego de 7 años de iniciado el ensayo en Balcarce, la fertilización con N y S a los cultivos que integraron la rotación, no produjo diferencias en el contenido de CO ni en ninguna de sus fracciones, COP y COA, a pesar de la distinta cantidad de C que ingresó al suelo a través de los residuos. El COP es considerado la fracción más lábil del CO y, por ende, la más susceptible a expresar los efectos de las distintas prácticas de manejo (Janzen et al., 1998). A pesar de ello, COP sólo manifestó una leve tendencia a aumentar en el estrato 0-5 cm conforme se incrementó la dosis de N y S (3% y 13% para N1 y N2 respecto a N0 y 8% para S1 respecto a S0). Similares resultados fueron obtenidos en la región por Domínguez et al. (2009). Sin embargo, Fabrizzi et al. (2003) reportaron que, según la condición inicial del suelo, hubo respuestas contrastantes en el cambio del contenido de CO debido al aporte de N. Así, en suelos no degradados provenientes de una pastura y manejados bajo SD, la aplicación de 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ no generó diferencias en CO respecto a una condición sin fertilizar. Contrariamente, en un suelo degradado bajo LC, la aplicación de 120 kg N ha⁻¹ año⁻¹ generó aumentos en el contenido de CO en el estrato 0-7.5 cm respecto del testigo.

Para Pergamino, Irizar (2010) reportó que no existieron diferencias en el CO ni en sus fracciones entre tratamientos fertilizados con distintas dosis de N. En los ensayos de la Red CREA, sólo se observó una tendencia de incremento en el contenido de CO en la mayoría de los sitios comparando los tratamientos testigo y NPS (García et al., 2010), mientras que en el COP, se determinaron por igual tendencias de aumento y disminución en aproximadamente la mitad de los ensayos. Sólo presentaron cambios significativos dos sitios de la Red: aumento en La Marta (sur de la provincia de Córdoba) y disminuciones en San Alfredo (sur de la provincia de Santa Fe).

Una de las explicaciones propuestas para la ausencia de incrementos en el contenido de CO en el sudeste bonaerense, es la escasa diferencia entre tratamientos en el aporte de C por residuos en relación al alto contenido de CO del suelo. En la región central del país, el contenido de CO del suelo es sensiblemente menor al del sudeste bonaerense, lo que a priori daría indicios de una mayor probabilidad de incrementos del mismo en respuesta a la fertilización. Sin embargo, los resultados obtenidos en dicha región no han demostrado esta tendencia. Para el caso del N, Irizar (2010) lo atribuye a la alta capacidad de los suelos de proveer el nutriente a los cultivos y, por ende, la escasa diferencia que se registra en el aporte de C entre tratamientos fertilizados y no fertilizados.

pH

La aplicación de dosis crecientes de N generó, luego de 7 años, menores valores en el pH del suelo en el estrato 0-5 cm. Contrariamente, a 5-20 cm, no se evidenciaron diferencias de pH entre dosis de dicho nutriente (Tabla 3).

La urea, al hidrolizarse y producir nitrato (NO₃⁻) acidifica el suelo produciendo 2 moles de H⁺ por mol (Bolan et al., 1991). Si el NO₃⁻ es absorbido por las plantas se neutraliza el efecto acidificante del fertilizante, por el contrario, si permanece en el suelo o es removido del mismo por lavado se genera una disminución en el pH (Bolan et al., 1991). En el sudeste bonaerense, el N que no es absorbido por los cultivos tiene una alta probabilidad de sufrir pérdidas por lavado (Echeverría y Sainz Rozas, 2006), las cuáles explicarían mayoritaria-mente la acidificación ocurrida.

El yeso agrícola (sulfato de calcio di-hidratado) es una sal neutra que no modifica el pH del suelo aunque indirectamente, a través del ión Ca²⁺, puede generar aumentos en el pH de suelos levemente ácidos (Wong y Swift, 2003). Sin embargo, la baja dosis de yeso empleada en el presente ensayo (94 kg ha⁻¹ año⁻¹) sería la causa de que no se hayan determinado diferencias en el pH entre tratamientos.

En los ensayos pertenecientes a la Red CREA, los sitios bajo rotación M-T/S manifestaron mayores diferencias en pH entre tratamientos respecto de la rotación M-S-T/S, como la evaluada en el presente trabajo. Los autores atribuyen estos resultados al uso más intensivo de N en la primera, producto de la aplicación anual al trigo y maíz durante 8 años. Así, se determinó que el tratamiento que recibió N, P, y S disminuyó 0.5 y 0.2 unidades respecto del testigo para M-T/S y M-S-T/S, respectivamente. Estos resultados se evidenciaron en el estrato 0-20 cm por lo que, basados en la mayor acidificación superficial observada en el sudeste bonaerense, podría suponerse que la misma también fue más pronunciada en 0-5 cm.

Tabla 3. Valores promedio de pH y CV a 0-5 y 5-20 cm de profundidad de los tratamientos según la dosis de N y S aplicada.

Tratamiento	----- pH -----			
	----- 0-5 cm -----		----- 5-20 cm -----	
	CV, %		CV, %	
N0	5.8 a	6.0	5.8 a	7.5
N1	5.5 b	4.0	5.8 a	1.9
N2	5.3 c	3.1	5.7 a	0.6
S0	5.4 A	3.6	5.8 A	1.4
S1	5.4 A	3.7	5.8 A	1.5
N * S	ns		ns	

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05). Minúsculas y mayúsculas para dosis de N y S, respectivamente.

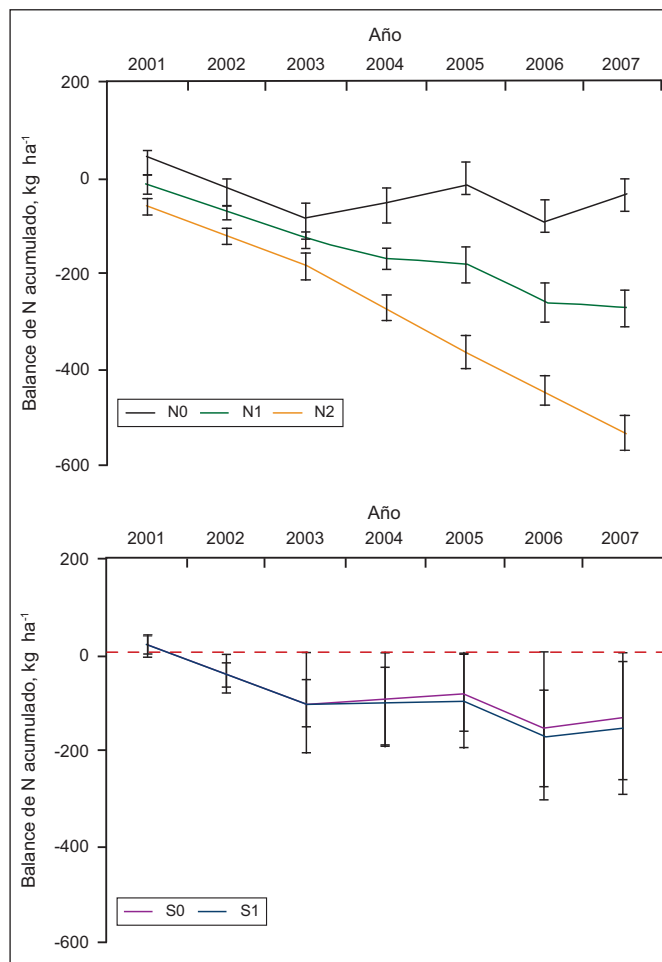


Figura 2. Balance acumulado del N edáfico según la dosis de N y S aplicada. Las líneas verticales indican el desvío estándar de la media.

En Pergamino, y luego de 25 años, la fertilización nitrogenada produjo acidificación del estrato 0-5 cm (5.53 y 6.22 para fertilizado y no fertilizado, respectivamente). Además, dicha diferencia se mantuvo en el espesor de 5-10 cm, registrándose valores de 5.73 y 6.07 para tratamientos con y sin N, respectivamente.

El alto contenido de MO confiere a los suelos del sudeste bonaerense una alta capacidad de resistir procesos de acidificación (Wong y Swift, 2003). De este modo, los suelos de dicha región presentarían una mayor tolerancia a la acidificación producto de la aplicación de altas dosis de N respecto de los de la Pampa Ondulada y de la Pampa Interior Plana. Si bien los ensayos comparados presentan diferencias en cuanto a tipo de rotación, dosis de N y duración, es factible establecer que la acidificación fue mayor en la región norte debido a la mayor magnitud de los cambios superficiales (0-5 cm) y/o a que éstos ocurrieron en un estrato más profundo (0-20 cm).

Nitrógeno orgánico del suelo

El balance de N edáfico, diferencia entre la cantidad de N que ingresó al suelo a través del fertilizante y las salidas en los granos, varió inversamente con la dosis de N pero no hubo relación con la dosis de S (Figura 2). Así, aunque el balance anual acumulado fue negativo en todos los casos, en la medida que se redujo la cantidad de N aplicada, la

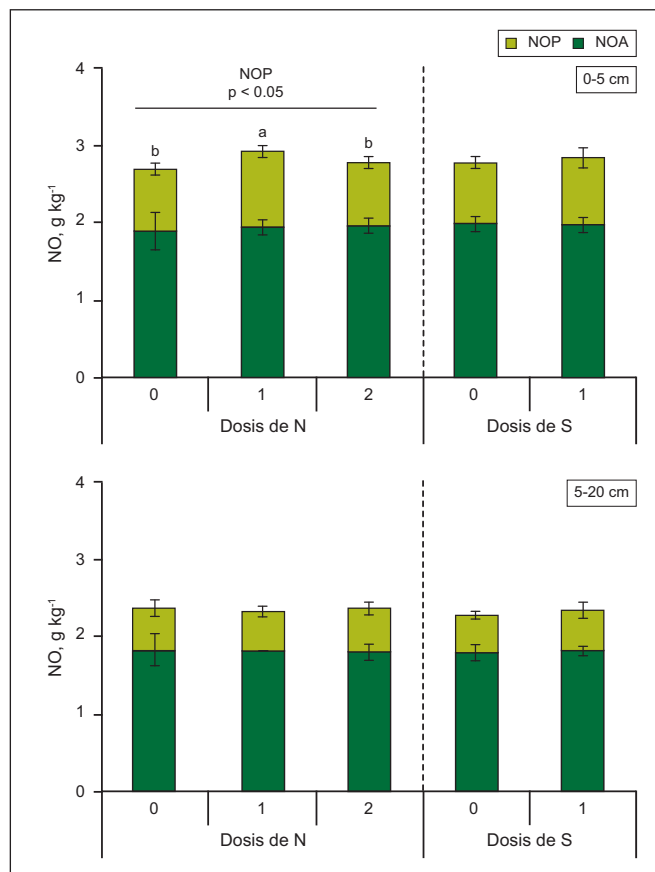


Figura 3. Contenido de nitrógeno orgánico particulado (NOP), asociado (NOA) y total (NO) en 0-5 cm (superior) y 5-20 cm (inferior) de profundidad según la dosis de N y S aplicada. Líneas verticales indican desvío estándar de la media. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para el NOP ($p < 0.05$).

magnitud del déficit se incrementó (Figura 2).

El NO y el NOA no difirieron entre tratamientos que recibieron distintas dosis de N, tanto en 0-5 como en 5-20 cm (Figura 3). Contrariamente, para la profundidad de 0-5 cm, el N en la fracción particulada (NOP) resultó mayor en el suelo que recibió la dosis intermedia de N, aunque en 5-20 cm no se observaron dichas diferencias. Por su parte, la aplicación de S no generó diferencias en el contenido de N en ninguna de las fracciones de la MO, para ninguna de las profundidades.

En términos generales, estos resultados son coincidentes con lo informado por Domínguez et al. (2009) y Diovisalvi et al. (2008) para suelos de la misma región, y por Irizar (2010) para Pergamino. En este sentido, considerando las diferencias entre tratamientos en el balance del N edáfico, la ausencia de diferencias en el contenido de NO podría deberse a que el efecto de dicha variación es pequeño en relación al alto contenido de NO del suelo (efecto similar a lo observado para CO) y/o a que parte del N aplicado en los tratamientos fertilizados salió del sistema, principalmente por lavado.

Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis

La aplicación de la dosis más elevada de N generó un menor potencial de mineralización de dicho nutriente en el

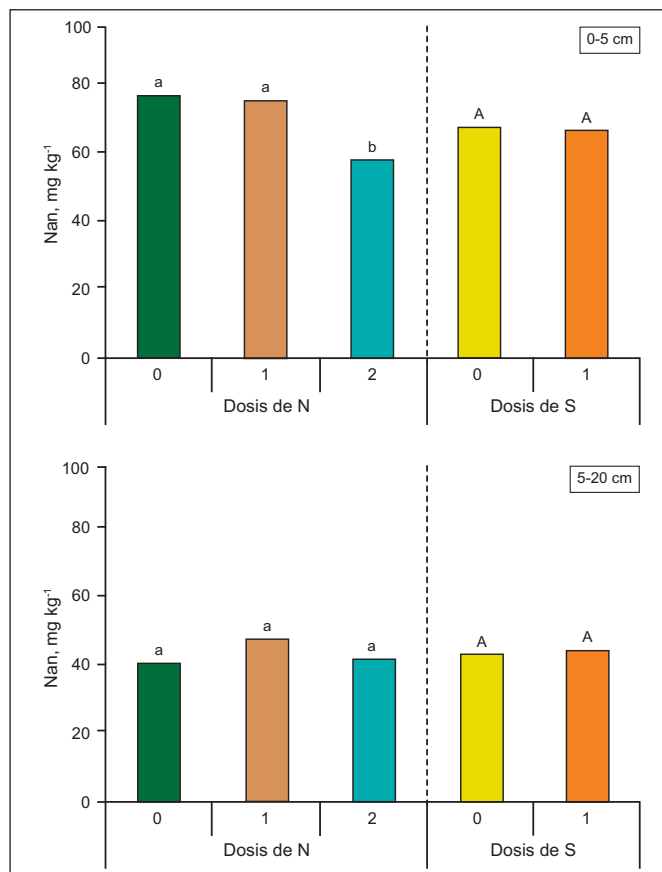


Figura 4. Nitrógeno anaeróbico (Nan, mg kg⁻¹) en 0-5 cm (superior) y 5-20 cm (inferior) de profundidad según la dosis de N y S aplicada. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (p < 0.05). Minúsculas para N y mayúsculas para S.

estrato 0-5 cm, respecto de las otras dos dosis (Figura 4). En 5-20 cm, no se detectaron cambios significativos en función de las dosis de N. El Nan no se modificó como consecuencia de la aplicación de S en ninguna de las profundidades (Figura 4). Estos resultados coinciden con los reportados para suelos de la región por Domínguez et al. (2009) y Genovese et al. (2009) para el estrato 0-20 cm. Contrariamente, de forma general en la Red CREA, los tratamientos no difirieron en el valor de Nan.

En general, tanto para suelos de distintas regiones agrícolas del mundo (Westerhof et al., 1998), como para la región sudeste bonaerense en particular (Fabrizzi et al., 2003), se han obtenido estrechas asociaciones entre el Nan y el contenido de CO, NO y, en especial, con fracciones de mayor labilidad como el COP y NOP. Sin embargo, en el ensayo realizado en Balcarce sólo se observó una leve asociación ($R^2 = 0.20$) del Nan con el NOP del estrato 0-5 cm. Esta ausencia de relación entre las variables analizadas obedecería al estrecho gradiente determinado en cada una de ellas.

Para el estrato superficial del suelo (0-5 cm) se observó una alta asociación entre el Nan y el pH aunque la misma no fue evidente en los 5-20 cm (Figura 5). El pH es considerado uno de los principales condicionantes del ciclado de C y N debido a que controla la diversidad, la

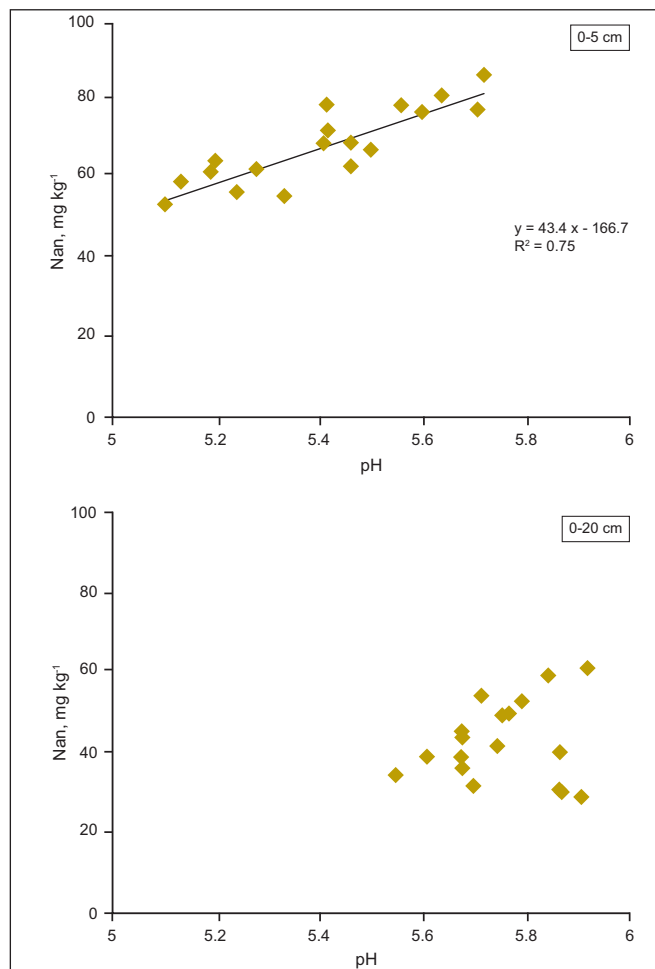


Figura 5. Relación del nitrógeno anaeróbico (Nan) con el pH del suelo en el estrato 0-5 y 5-20 cm.

biomasa y la actividad de los microorganismos del suelo. En este sentido, si bien el proceso de mineralización puede llevarse adelante en un rango de pH amplio, los valores óptimos oscilan entre 6.0 y 8.0 (Paul, 2007).

En Pergamino, Irizar (2010) determinó que el menor valor de pH superficial en los tratamientos fertilizados estuvo en relación con la disminución del C de la biomasa microbiana y sugirieron que la misma podría estar indicando un menor potencial de mineralización. Estos resultados han sido observados en situaciones similares a nivel mundial (Liebig et al., 2002) y advierten sobre los posibles efectos negativos de la acidificación por uso de altas dosis de N. Sin embargo, datos surgidos de la Red CREA aportan evidencias contrarias a las antes expuestas. Así, para el ensayo ubicado en Teodelina (sur de la provincia de Santa Fe), Conforto et al. (2010) determinaron que la aplicación de N, P y S durante 8 años incrementó la cantidad de unidades formadoras de colonia (UFC) de hongos y bacterias, y la actividad de dichos microorganismos respecto de tratamientos sin fertilizar, a pesar de que el pH del suelo resultó menor (5.6 y 6.2 en 0-20 cm para los tratamientos fertilizado y testigo, respectivamente). Los autores atribuyeron estos resultados a la mayor producción de los cultivos fertilizados, que sirvió de sustrato para la actividad microbiana. La aplicación de S, por su parte, generó un

leve aumento en las UFC de hongos y bacterias (Conforto et al., 2010).

Nitratos y sulfatos

La aplicación de dosis de N a los cultivos de gramíneas, no generó cambios en el contenido de N-NO₃⁻ ni de S-SO₄²⁻ en el estrato 0-60 cm (**Tabla 4**). Por su parte, la fertilización con S tampoco generó diferencias en la disponibilidad de N-NO₃⁻ en dicha profundidad. Sin embargo, se pudo determinar una mayor cantidad de S-SO₄²⁻ en los tratamientos fertilizados con S durante el período de ensayo. Estos resultados advierten sobre posibles diferencias en la residualidad de N y S. En el caso del N, los resultados obtenidos coinciden parcialmente con los observados en la Red CREA, donde tampoco se observaron efectos residuales en los primeros 5 años de la rotación M-T/S. Los mismos fueron evidentes a partir del año 2005, alcanzándose diferencias entre tratamientos de hasta 50 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ en 0-60 cm. Resulta relevante que dichas diferencias se registraron aún cuando los balances de N fueron negativos en todos los tratamientos, como sucedió en el presente ensayo. Contrariamente, en la rotación M-S-T/S de la Red CREA no se evidenciaron efectos residuales, probablemente por un balance más negativo de N y por la menor frecuencia de aplicación del nutriente (García et al., 2010).

La cantidad de N-NO₃⁻ residual depende, primeramente, del balance de N de los cultivos. Tal como se mencionó, las salidas de N a través de los granos superaron a los ingresos vía fertilizante durante el período de ensayo para todos los tratamientos siendo más negativa la variación en la medida que la dosis de N fue menor (**Figura 2**). Sin embargo, estas diferencias en la variación del N no se reflejaron en cambios en la disponibilidad de N-NO₃⁻ pre-siembra. En este sentido, las pérdidas del N edáfico explicarían la similitud en la disponibilidad del nutriente entre tratamientos. En la región Sudeste Bonaerense, el lavado de NO₃⁻ es el mecanismo más importante de salidas de N del sistema (Echeverría y Sainz Rozas, 2005).

La mayor disponibilidad de S-SO₄²⁻ que se determinó en el tratamiento fertilizado ya había sido observada en el mismo ensayo en 2004 y 2006 (Divito et al., 2010). Una de las razones que explicarían la mayor residualidad del S-SO₄²⁻ respecto al N-NO₃⁻ es la capacidad del primero de establecer uniones covalentes con las partículas coloidales del suelo, lo que le confiere mayor resistencia a la lixiviación. Además, el SO₄²⁻ puede formar precipitados con Ca²⁺, que en el sudeste bonaerense se han observado como co-precipitados junto al CaCO₃ (San Martín y Echeverría, 1995).

En la Red CREA, las diferencias entre tratamientos en la disponibilidad de S-SO₄²⁻ comenzaron a hacerse evidentes en 2003. Al igual que para N-NO₃⁻, las mismas fueron mayores en la rotación M-T/S. García et al. (2010) plantean que las diferencias entre tratamientos en la disponibilidad de S previo a la siembra del maíz y trigo sólo representaron una

Tabla 4. Contenido de nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻) y azufre de sulfatos (S-SO₄²⁻) en 0-60 cm según la dosis de N y S aplicada.

Tratamiento	N-NO ₃ ⁻		S-SO ₄ ²⁻	
	kg ha ⁻¹	CV, %	kg ha ⁻¹	CV, %
N0	89.6 a	9.4	21.0 a	7.8
N1	88.6 a	9.5	19.2 a	28.6
N2	81.6 a	7.8	18.6 a	16.5
S0	80.2 A	22.0	15.2 B	33.2
S1	85.1 A	19.2	18.9 A	43.7
N * S	ns		ns	

CV = coeficiente de variación. Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos (p < 0.05).

pequeña proporción de las diferencias determinadas en el balance de S del sistema. Esto indica que la fracción restante pudo haber sido inmovilizada en la MO, retenida en formas inorgánicas y/o haber salido del sistema, principalmente por lixiviación.

Consideraciones finales y conclusiones

La aplicación de N a los cultivos generó respuestas moderadas en la cantidad de C retornado al suelo, tanto en el sudeste bonaerense como en el norte de la región pampeana. Esto generó que los contenidos de CO y NO del suelo no se modificaran significativamente. Por el contrario, la fertilización nitrogenada generó un menor pH del suelo respecto de tratamientos sin fertilizar en ambas regiones. Esto advierte sobre la necesidad de implementar prácticas para monitorear y eventualmente corregir problemas de acidez. En especial, se destaca la relación directa entre en pH y el Nan que se evidenció en Balcarce.

En el sudeste bonaerense no se determinó residualidad de N-NO₃⁻, de manera similar a lo observado en la Red CREA en la rotación M-S-T/S, aunque difiere de lo reportado en M-T/S. La falta de residualidad obedecería a la ocurrencia de pérdidas por lixiviación y pone en evidencia la necesidad de ajustar las dosis de N aplicadas, para evitar consecuencias negativas para el ambiente. Por su parte, la aplicación de S no generó modificaciones en la mayoría de las propiedades del suelo, aunque se determinó residualidad de S-SO₄²⁻. Estos resultados confirman lo obtenido en otros ensayos, y deberían ser considerados a la hora de definir estrategias de fertilización con el nutriente.

En resumen, los resultados obtenidos en el sudeste bonaerense no difirieron en gran medida respecto de lo observado en la Pampa Ondulada ni en la Pampa Interior Plana, a pesar del menor contenido de MO en los suelos de esas regiones y, por ende, la menor resiliencia que presentan. Sin embargo, el efecto que la fertilización de cultivos genera en el suelo debería continuar bajo estudio.

Bibliografía

- Álvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manage.* 21:38–52.
- Bolan, N.S., M.J. Hedley, y R.E. White. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant Soil.* 134:53–63.
- Cambardella, C.A., y E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777–783.
- Caviglia, O.P., y V.O. Sadras. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res.* 69:259-266.
- Conforto, E.C., G. Figoni, A. Rovea, M. Boxler, C. Oddino, J. García, G. March, J. Meriles, y S. Vargas Gil. 2010. Evaluación del efecto de la fertilización sobre las comunidades microbianas edáficas. *Actas 22° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Rosario, Argentina. En CD.
- Diovisalvi, N.V., G.A. Studdert, G.F. Domínguez, y M.J. Eiza. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continúa con dos sistemas de labranza. *Ci. Suelo*, 26(1):1-11.
- Divito, G.A., N. Wyngaard, H.R. Sainz Rozas, y H.E. Echeverría. 2010. Residualidad de la aplicación de azufre en un ensayo de larga duración del sudeste bonaerense y su efecto sobre el maíz. *Actas 22° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Rosario Argentina. En CD.
- Domínguez, G.F., y G.A. Studdert. 2006. Balance de carbono en un Molisol bajo labranza convencional. *Actas 20° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, Argentina.* En CD.
- Domínguez, G.F., G.A. Studdert, y H.E. Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efecto de las prácticas de manejo. En: H.E. Echeverría; F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 207-253.
- Domínguez, G.F., N.V. Diovisalvi, G.A. Studdert, y M.G. Monterubbianesi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102:93–100.
- Echeverría, H.E. 2005. Azufre. En: H.E. Echeverría & F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 139-160.
- Echeverría, H.E., y H.R. Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. En: H.E. Echeverría & F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 69-97.
- Fabrizzi, K.P., A. Morón, y F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1831–1841.
- García, F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, L. Firpo, I.A. Ciampitti, A.A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N.I. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. Ed. AACREA. 64 p.
- Genovese, M.F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelo: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ci. Suelo* 27(2):225-236.
- Hall, A.J., C.M. Rebella, C.M. Ghersa, y J.P. Culot. 1992. Field-crop systems of the Pampas. p. 413-450. In C. J. Pearson (ed). *Ecosystems of the world. Field Crop Ecosystems.* Elsevier Scientific, Amsterdam-London-New York-Tokyo.
- Irizar, A.B. 2010. Cambios en las reservas de materia orgánica del suelo y sus fracciones granulométricas: efecto de la secuencia de cultivo, del sistema de labranza y de la fertilización nitrogenada. Tesis presentada para optar al título de Magister. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 108 p.
- Janzen, H.H., C.A. Campbell, R.C. Izaurralde, B.H. Ellert, N. Juma, W.B. McGill, y R.P. Zentner. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 47:181-195.
- Johnson, G.V. 1987. Sulfate: Sampling testing, and calibration. In Brown J.R. (Ed.). *Soil testing: Sampling correlation, calibration and interpretation.* SSSA Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI. pp 89-96.
- Keeney D.R. y D.W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: AL Page (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EE.UU.* pp. 643-698.
- LECO. 2011. Organic application notes. [En línea] (www.leco.com) [Consulta: 29/04/11].
- Liebig, M.A., G.E. Varvel, J.W. Doran, y B.J. Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 596–601.
- Magrin, G.O., A.J. Hall, C.H. Baldy, y M.O. Grondona. 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agr Forest Meteorol.* 67:29-41.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes en la provincia de Buenos Aires. *Ci. Suelo* 27(1):21-29.
- Paul, E.A. 2007. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry:* Academic Press. Amsterdam, Boston. 3ª. Edición. 532 p.
- Reussi Calvo, N.I., y H.E. Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ci Suelo* 24(2): 115-122.
- Reussi Calvo, N.I. 2009. Deficiencias de azufre en trigo: indicadores de disponibilidad en material vegetal. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP. Balcarce, Argentina. 127p.
- San Martín, N., y H.E. Echeverría. 1995. Determinación del contenido de sulfato en suelos del sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 13:95-97.
- SAS Institute. 1985. *SAS user's guide.* SAS Institute, Inc., Cary, NC. 1030 p.
- Schlichting, E., H.P. Blume, y K. Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum. Pareys Studentexte* 81, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 295 p.
- Seybold C.A., J.E. Herrick y J.J. Brejda. 1999. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. *Soil Science* 164:224-234.
- Stevenson, F.J., y M.A. Cole. 1999. *Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* 2a ed. John Wiley & Sons, Inc., USA. 448 p.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496–1503.
- Westerhof, R., L. Vilela, M. Ayarza, y W. Zech. 1998. Land use effects on labile N extracted with permanganate and the nitrogen management index in the Cerrado region of Brazil. *Biol. Fertil. Soils* 27:353–357.
- Wong, M.T.F., y R.S. Swift. 2003. Role of organic matter in alleviating soil acidity. In: Rengel, Z. (Ed.). *Handbook of Soil Acidity.* Marcel Dekker. New York. USA. pp 337-358. ○

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. XVIII Congreso Internacional de Girasol

Organiza : Asociación Argentina de Girasol
 Lugar : Mar del Plata, Argentina
 Fecha : Febrero 27 - Marzo 01, 2012
 Información : ASAGIR
 Tel.: (54) 11 4312 7105
<http://www.asagir.org.ar/>

3. XIX Congreso Latinoamericano - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - AACS
 Lugar : Mar del Plata, Argentina
 Fecha : Abril 16-20, 2012
 Información : SLCS - AACS
slcs2012@congresodesuelos.org.ar
www.congresodesuelos.org.ar

2. II Congreso Paraguayo de Ciencias Agrarias

Organiza : FCA - UNA
 Lugar : Asunción, Paraguay
 Fecha : Marzo 21-23, 2012
 Información : FCA-UNA Campus de San Lorenzo
 Tel.: (021) 585 606/10
cnca2012@gmail.com
<http://www.agr.una.py/congreso/>

4. XIX Conferencia ISTRO y IV Reunión de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo

Organiza : ISTRO - SUCS
 Lugar : Montevideo, Uruguay
 Fecha : Septiembre 24-28, 2012
 Información : ISTRO - SUCS
Istro2012@congresos-rohr.com
www.congresos-rohr.com

PUBLICACIONES DISPONIBLES

Título de la Publicación	Costo (U\$S)	Costo (\$ arg.)
NUEVO. Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de Producción. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2011.	20.00	80.00
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
Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre el uso y el manejo de suelos y fertilizantes.	15.00	60.00
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

Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en <http://www.ipni.net/lasc>

Para conocer la forma de pago, los gastos de envío y cualquier otra consulta de publicaciones por favor enviar un correo electrónico a Lpisauri@ipni.net

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

IPNI ANUNCIÓ A LOS GANADORES DE LOS PREMIOS IPNI-SCHOLAR AWARD 2011

La edición 2011 del premio Scholar Award auspiciado por IPNI, ya tiene sus ganadores. “Se observó un gran incremento en el número de aplicaciones este año y la competencia regional por el premio ha sido ardua”, explicó el Dr. Terry L. Roberts, Presidente de IPNI. “El proceso de selección ha reunido una vez más a un grupo de los más destacados jóvenes científicos – este premio continúa poniendo en relieve un futuro prometedor para la investigación en nutrición vegetal alrededor del mundo, y es un esfuerzo del que estamos muy orgullosos de apoyar”.

Este año, IPNI ha nombrado a 20 (veinte) estudiantes de posgrado en áreas relacionadas al manejo de la nutrición de cultivos y fertilidad de suelos, como los ganadores del Premio Académico. Gracias al apoyo de las compañías miembro de IPNI, cada uno de los ganadores recibirá como galardón la suma de USD 2 000 y una placa distintiva.

Los galardonados (becarios e institución), ordenadas alfabéticamente por región del Instituto, para esta edición 2011 han sido:

Africa:

- Grace Kanonge, University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe
- Boaz S. Waswa, Centre for Development Research (ZEF), Bonn, Germany

Australia/Nueva Zelanda:

- Brooke Ryan, University of Adelaide, Adelaide, Australia

China:

- Li Wang, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Beijing, China
- Chuan Limin, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Beijing, China
- Ying Xia, Wuhan Botanical Garden, Hubei, China

Europa del Este y Asia Central:

- Elena Pavlova, Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia
- Dmitry V. Bozhkov, Soil Science and Land Resources Department, South Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Latinoamérica:

- Darío Sebastián Ceballos, Universidad de Buenos Aires, Campana, Argentina
- Diogo Mendes de Paiva, Universidade Federal de Vicosá, Vicosá, Brazil
- Maria Elena Cardenas, Universidad de Sonora, Pueblo Yaqui, México

Norteamérica:

- Ronald Navarrete-Ganchozo, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA
- Tyler J. Nigon, University of Minnesota, South Saint

Paul, Minnesota, USA

- Joshua N. Cobb, Cornell University, Brooktondale, New York, USA
- Jared Crain, Oklahoma State University, Woodward, Oklahoma, USA
- Cameron Pittelkow, University of California, Davis, California, USA

Sur de Asia:

- Gopal Ramdas Mahajan, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India
- Shahid Hussain, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
- Sumanta Kundu, Institute of Agricultural Sciences, Calcutta University, Kolkata, India

Sudeste de Asia:

- Fabien F. Tengoua, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia

La nota de prensa completa con la información completa de los galardonados se encuentra disponible en el sitio principal de IPNI: <http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf>

Desde las oficinas regionales IPNI en Latinoamérica, agradecemos a todos los participantes de esta convocatoria y felicitamos especialmente a María Elena Cárdenas (Universidad de Sonora, Pueblo Yaqui, México), Diogo Mendes de Paiva (Universidade Federal de Vicosá, Brasil) y Darío S. Ceballos (Universidad de Buenos Aires, Argentina) por ser ganadores de esta edición 2011.



El **Ing. Agr. Darío Sebastián Ceballos** se encuentra completando sus estudios del Programa de Maestría en Recursos Naturales en la Universidad de Buenos Aires (UBA), en la ciudad de Campana, Argentina. Su tesis se titula “Cambio en el Uso de la Tierra y Nitrógeno vs. Fósforo: Limitación relativa

en ciénagas y plantaciones de *Populus deltoides* en suelos drenados en el bajo delta del Río Paraná”. Su trabajo de investigación está orientado a la comprensión de la dinámica de nutrientes en los ecosistemas de producción forestal vulnerables en la región del bajo delta del Río Paraná. Este trabajo podría proporcionar respuestas a cuestionamientos acerca de la posibilidad de crecimiento en la producción de fibra y alimentos en favor de las familias isleñas de la región sin cambios drásticos en sus culturas. Así, Darío espera continuar sus investigaciones enfocándose en aspectos de la nutrición en sistemas forestales y el cambio en el uso de la tierra.

Para mayor información acerca de IPNI Scholar Award: <http://www.ipni.net/awards>