Informaciones Agronómicas
del Cono Sur

INPOFOS
K P Investigación Educación

Instituto de la Potasa y el Fósforo
Potash & Phosphate Institute
Potash & Phosphate Institute of Canada

En este número:

Decisiones efectivas en el manejo de nutrientes
Balance de fósforo en rotaciones agrícolas
Rendimiento de soja. Factores limitantes
Formulación líquida de fertilizantes en tabaco
Nitrógeno en papa para industria
Compactación por el rodado de maquinarias en SD

Decisiones efectivas en el manejo de nutrientes ... mirando más allá de la próxima cosecha

Paul E. Fixen[1] y Fernando O. Garcia[2]
[1] Vicepresidente Senior, Potash & Phosphate Institute, Brookings, South Dakota, EE.UU.
[2] Director Regional, INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
pfixen@ppi-far.org; fgarcia@inpofos.org

Presentado en el XIV Congreso de AAPRESID. Rosario, Argentina. Agosto 8-11, 2006.

Hay mucho en juego al tomar decisiones en el manejo de nutrientes. Una reciente revisión realizada a partir de estudios llevados a cabo en varias partes del mundo, concluyó que por lo menos 30-50% del rendimiento de los cultivos es atribuible a los nutrientes aplicados mediante fertilizantes comerciales (Stewart et el al., 2005). A medida que los rendimientos continúen incrementándose, la definición de la nutrición balanceada requiere mayor precisión, mientras crece la preocupación acerca de los impactos ambientales en el uso intensivo de los nutrientes. Los recientes aumentos en los precios de los fertilizantes han creado un incentivo adicional para el uso económicamente óptimo de los nutrientes. La importancia, la complejidad y la incertidumbre inherente de los sistemas de manejo del suelo-planta-nutriente, hace del manejo de nutrientes una tarea agobiante, digna de lo mejor que la ciencia y la tecnología pueden ofrecer. Resulta afortunado que la ciencia hoy disponga de un impresionante conjunto de "piezas del conocimiento" sobre el sistema suelo-planta, y que la industria tenga un conjunto también impresionante de tecnologías para ser aplicadas a la producción agrícola. Quizás nuestro desafío más grande hoy, es proveer ciencia y tecnología disponibles a los productores en un paquete integrado que apoye efectivamente las decisiones críticas en el manejo de nutrientes.

Paisaje del Cinturón Maicero Norteamericano (izquierda) y de la Región Pampeana Argentina (derecha).

INPOFOS
K P Investigación Educación

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

Propietario: Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC)

ISSN 1666 - 7115
No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

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

Contenido:

Decisiones efectivas en el manejo de nutrientes ... mirando más allá de la próxima cosecha ____ 1

Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay ____ 8

Variaciones del rendimiento de soja en el sur de Santa Fe. Factores limitantes de clima y suelo ____ 12

Comportamiento de la formulación líquida de fertilizantes en dos manejos de cultivo de tabaco ____ 16

Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad de tubérculos en papa para industria ____ 19

Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siempra directa ____ 22

Publicaciones de Inpofos ____ 26

Congresos, Cursos y Simposios ____ 27

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

Decisiones en el Manejo de Nutrientes

Las decisiones en el manejo de nutrientes y los factores potenciales que las influencian pueden ser vistas según indica la Figura 1 (Fixen, 2005). En esta conceptualización, los factores potenciales sirven como entradas o "inputs" a dispositivos de ayuda para la toma de decisiones. El dispositivo de ayuda ofrece un cierto tipo de salida o "output", el cual es considerado durante el paso de la toma de decisión. Las decisiones tomadas conducen a las acciones en el manejo de nutrientes que generan un resultado. El resultado tiene valor educativo y genera una retroalimentación para el dispositivo, influenciando las decisiones futuras.

Los factores de cultivo incluyen rendimiento potencial, valor del cultivo, en algunos casos concentración de nutrientes en tejidos o color de hojas, y prácticas culturales que puedan influenciar el manejo de nutrientes. Factores de suelo a menudo involucran índices de disponibilidad de nutrientes en suelo u otras propiedades físicas, químicas o biológicas que influencian el ciclado de nutrientes y el crecimiento del cultivo. Factores del productor pueden incluir la tenencia de la tierra, suministro de capital, costos de oportunidad, o filosofía en el manejo de los nutrientes. Factores relacionados con el aporte de nutrientes incorporan la información sobre las fuentes disponibles, por ejemplo formas comerciales o nutrientes contenidos en abonos orgánicos, costos del fertilizante y costos de la aplicación. Factores de calidad de agua pueden incluir restricciones sobre la aplicación de nutrientes en zonas de riberas o cerca de otros cuerpos de agua o consideraciones debido a aguas subterráneas. Factores climáticos conducen algunos tipos de sistemas de apoyo basados en modelos de simulación, mientras que otros proveen información en tiempo real de las condiciones climáticas para una estación de crecimiento específica y los partes meteorológicos a corto plazo. Conocer cuales son las tecnologías relevantes que están disponibles en el sitio en cuestión puede influenciar ciertamente el procedimiento de toma de decisión.

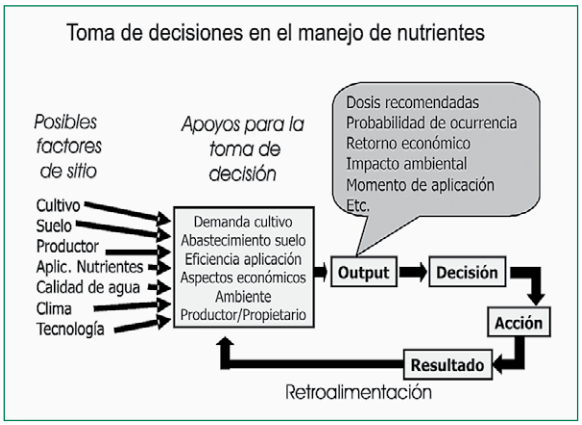


Figura 1. Proceso de Decisiones en el Manejo de Nutrientes (Fixen, 2006).

Apoyo para la toma de decisión, "output" o salida y retroalimentación

El apoyo para la toma de decisión, representado como una caja en la Figura 1, puede ser tan simple como un análisis de suelo y las recomendaciones de fertilización resultantes, o tan complejo como un programa integrado de computación que considere muchos de los posibles factores de sitio y proporcione una salida detallada sobre prácticas recomendadas y las probabilidades del resultado que pueden ser actualizadas a través de una estación de crecimiento. En sistemas de apoyo abiertos, el usuario no solamente ve cómo los factores del sitio se integran para influenciar la salida, sino que se permite alterar el proceso de la integración dentro de la "caja" de apoyo de decisión como parte de la retroalimentación. Cuando la retroalimentación incluye el proceso de integración del sistema de ayuda, la salida es dinámica y llega a ser más sitio-específica a medida que el tiempo transcurre.

Información adicional sobre sistemas y herramientas de apoyo de decisión para el manejo integrado de nutrientes se encuentra disponible en un documento de revisión reciente (Fixen, 2005) y en una presentación disponible en http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/napro.nsf. El foco de este escrito está en un conjunto de factores de sitio descriptos arriba, aquellos que consideran consecuencias de más largo plazo de las decisiones efectivas en el manejo de nutrientes... que "miran más allá de la próxima cosecha". El énfasis estará en materia orgánica de suelo y el impacto de los balances de fósforo (P).

Manejo de nutrientes: Efectividad vs. Eficiencia

La consideración de impactos a largo plazo de las decisiones de manejo de nutrientes requiere una comprensión de la diferencia entre la eficiencia y la efectividad. La eficiencia en el uso de los nutrientes puede ser expresada en diferentes maneras, pero la mayoría de las definiciones concluyen que la mayor eficiencia ocurre cuando el fertilizante es aplicado a dosis considerablemente menores a la dosis económicamente óptima. La Figura 2 ilustra que tal dosis da lugar a una alta eficiencia del nutriente pero no es probablemente efectiva porque no logra los objetivos principales de la utilización de los nutrientes. El objetivo de uso de los nutrientes varía con el plazo de tiempo involucrado:

Corto Plazo (usualmente un año):

1. Maximizar el retorno de la inversión
2. Eliminar las deficiencias de los cultivos
3. Mejorar la efectividad de otros insumos
4. Conseguir altos rendimientos a corto plazo

Largo Plazo (más de un año):

1. Mejorar la productividad del suelo
2. Incrementar el valor de la tierra
3. Maximizar la efectividad de otros insumos
4. Conseguir altos rendimientos a largo plazo

De hecho existe la oportunidad para mejorar la eficiencia, pero hay incluso una mayor oportunidad en mejorar la efectividad a largo plazo. Esto es esencialmente lo esperado como resultado de emplear las mejores prácticas de manejo (BMPs)..., el producto correcto, el lugar correcto y la dosis correcta... dentro de sistemas manejados intensivamente que apuntan a altos rendimientos y alta eficiencia en el manejo de nutrientes. La resultante "intensificación ecológica" promete ser una aproximación eficaz para la agricultura (Cassman, 1999).

Parte del desafío en el manejo de los nutrientes es evitar confundir verdaderas mejoras en eficiencia o efectividad a nivel de sistema, con prácticas que simplemente "toman prestado" de la productividad futura por el agotamiento de los nutrientes del suelo o que no valoran efectos residuales positivos sobre la productividad futura. Dobermann y colegas (2005) resumieron recientemente cuatro estudios de caso que ilustraban este desafío en algodón en California, soja en Hawaii, arroz en las Filipinas, y maíz en Nebraska. El estudio de maíz (**Tabla 1**) ilustró que si el impacto de las prácticas de manejo en el N de la materia orgánica del suelo no hubiera sido considerado a través del período de cuatro años, se hubiese llegado a conclusiones incorrectas referentes a la eficiencia a largo plazo del uso de N en los sistemas que fueron evaluados.

Materia Orgánica del Suelo

Calidad del suelo es un término utilizado por los científicos para referirse a cómo el suelo realiza funciones críticas tales como el ciclado de nutrientes, distribución y almacenaje de agua, y crecimiento de la raíz de una planta. El carbono orgánico total (materia orgánica) fue hallado como un indicador sensible de la calidad del suelo (Karlen et el al., 2006). Por lo tanto,

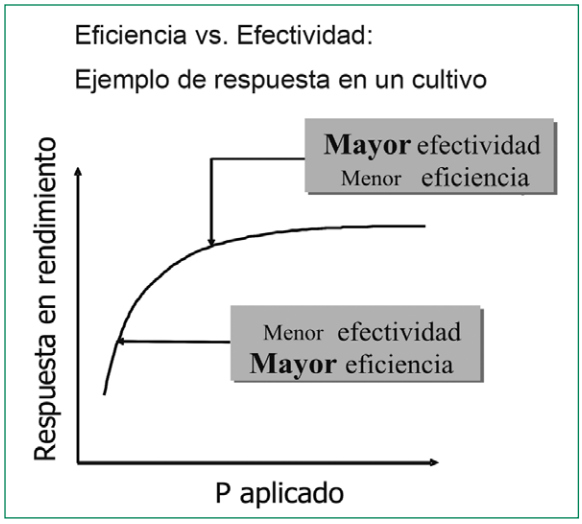


Figura 2. Eficiencia vs. Efectividad (Fixen, 2005).

parece lógico considerar este parámetro del suelo al evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre la productividad futura del suelo.

Las tendencias en los niveles de la materia orgánica del suelo en la Región Pampeana han sido similares a la de la Región del Cinturón Maicero de Estados Unidos (Fig 3 y 4; Andriulo y Cordone, 1998; Lal et al., 1998). En ambos países, la agricultura ha disminuido la materia orgánica alrededor de la mitad de los niveles originales. Otros estudios en la Argentina han estimado reducciones similares en los niveles de materia orgánica (Echeverría y Ferrari, 1993; Urricarriet y Lavado, 1999; Alvarez, 2001). La simulación demostrada en la Figura 4 indica que los niveles pueden ahora mantenerse e incrementarse en algunos casos debido a la implementación de labranza reducida o sistema de siembra directa.

¿Y entonces qué?, una pregunta valiosa para plantear en este punto. En ambos países durante esta era de reducciones dramáticas en la materia orgánica de suelo, los rendimientos de los cultivos aumentaron gracias a los progresos en genética, tecnología y manejo. Por lo tanto, ¿se hizo realmente algún daño que afecte la productividad del suelo? Un excelente artículo que trata los temas que rodean esta pregunta fue publicado recientemente por Janzen (2006). En este trabajo, Janzen discute el dilema del carbono del suelo: los estudios demuestran que la materia orgánica ofrece los mayores beneficios, biológicamente, cuando ésta decae, aunque nosotros decimos que es bueno construir materia orgánica en suelos, lo cuál implica una menor pérdida. Janzen utiliza como analogía, una planta hidroeléctrica conducida por el agua de un pequeño reservorio (Fig 5). En la analogía, el influjo de agua representa los residuos de la cosecha de los cultivos, el agua en el depósito representa la materia orgánica de suelo, la salida del agua representa el decaimiento de la materia orgánica, y la generación de energía eléctrica representa los beneficios biológicos. El decaimiento rápido aumenta los beneficios biológicos, pero a expensas de la materia orgánica de suelo almacenada, si la tasa de pérdida excede la adición de residuos de cosecha. Una vez que se agota el reservorio, los beneficios biológicos disminuyen y en teoría el suelo se convierte menos productivo.

Tabla 1. Eficiencia de uso de N en maíz irrigado en Nebraska (EE.UU.) con manejo recomendado o intensivo (Dobermann et al., 2005).

Recomendado: 7,500 p/ha; dosis basadas en analisis de suelo; N en 2 aplicaciones
Intensivo: 10,500 p/ha; mayores dosis; 4 aplicaciones de N + N en residuo en otoño

Promedios de 4 años	Rec.	Int.
Rendimiento de maíz, t/ha	14.0	15.8
Dosis de N promedio, kg/ha	195	305
N removido en grano, kg/ha	167	198
Factor de prod. parcial, kg grano/kg N aplicado	72	52
Eficiencia de remoción, %	86	65

Cambios medidos en N orgánico del suelo, kg/ha/año	-58	+55
(Remoción de N + cambio en N del suelo)/N aplicado, %	**56**	**83**

Eficiencia a nivel de sistema

El manejo sustentable del suelo (planta hidroeléctrica) requiere encontrar un equilibrio entre la adición de residuos de cosecha y el decaimiento de la materia orgánica que genera adecuados beneficios biológicos. Janzen ofrece dos aproximaciones con respecto al manejo sustentable que genere adecuados beneficios biológicos: 1) optimizar la sincronización del decaimiento de la materia orgánica de manera tal que la mayoría de los cultivos sean beneficiados con éste proceso y, 2) incrementar la entrada de carbono al suelo. Una cierta oportunidad para el manejo de nutrientes, especialmente con N, puede existir en la primera aproximación, pero la oportunidad claramente existe en la última aproximación.

Numerosos estudios han demostrado cómo la fertilización y el incremento resultante en residuos de cultivos pueden aumentar los niveles de la materia orgánica de suelo o retardar la declinación. Por ejemplo, un estudio de 40 años en Uruguay demostró que la inclusión de pasturas en rotaciones de cultivos se podría utilizar para estabilizar los niveles de la materia orgánica, pero que también la fertilización retardó significativamente la declinación de la materia orgánica (Morón, 2003). Un estudio en curso de 45 años en Kansas en los EE.UU. está demostrando cómo mante-

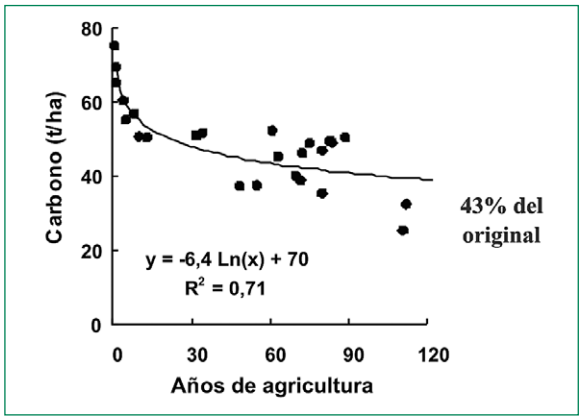


Figura 3. Niveles de Carbono orgánico en suelos argiudoles de la región pampeana norte desde la introducción de la agricultura (Alvarez y Steinbach, 2006, a partir de Andriulo y Cordone, 1998).

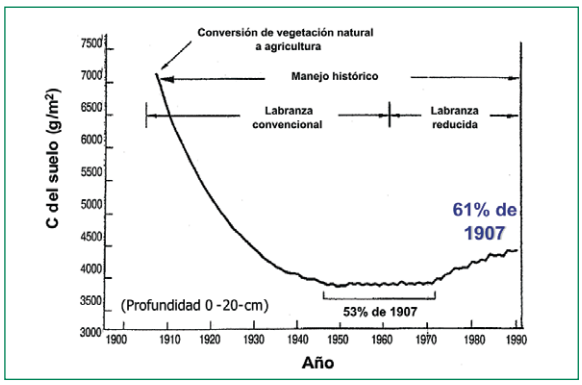


Figura 4. Simulación de cambios en carbono total del suelo para la región central del Cinturón Maicero de EE.UU. (Lal et al., 1998).

niendo un nivel óptimo de P del suelo y usando dosis óptimas de fertilizante nitrogenado durante muchos años, puede dar lugar a niveles más altos de la materia orgánica de suelo, que bajo el manejo de nutrientes en forma suboptima (Fig 6; Schlegel, 2006). Un estudio en Colorado, conducido por el USDA, demostró un incremento en el carbono orgánico en los primeros ocho centímetros (8 cm) del suelo un año después de una fertilización con P y antes de que cualquier residuo superficial fuese incorporado en el suelo (Halvorson y Reule, 1999). Los autores sugirieron que la causa fue la estimulación del crecimiento radicular por la fertilización con P. Estudios recientes también han demostrado que las plantas que sufren de deficiencia de P utilizan una mayor cantidad del carbono neto asimilado en la respiración de la raíz (Lynch y Ho, 2005).

Ya sea debido a aumentos directos en la disponibilidad de residuos de cultivos o a una retención más eficiente del CO_2 capturado, las decisiones apropiadas en el manejo de nutrientes pueden tener un impacto positivo en la materia orgánica de suelo y proporcionar una oportunidad para obtener mayores beneficios a partir del reciclado de la misma. La consideración del impacto de la materia orgánica debe ser parte de las decisiones efectivas en el manejo de los nutrientes.

Balances de P y su impacto

La extracción de nutrientes por los cultivos provee un punto de referencia básico para las decisiones efectivas en el manejo de los nutrientes. Ofrece una estimación cruda de la cantidad de nutrientes que se debe reemplazar por alguna fuente para mantener niveles existentes de fertilidad de suelo y es, por lo tanto, un factor en la sustentabilidad del sistema.

La mayor remoción de P a partir del suelo con respecto a lo que se aplica, resulta a largo plazo en una declinación en los niveles de los análisis de suelo. Numerosos estudios experimentales han demostrado este hecho alrededor del mundo. En una escala superior, se han observado resultados similares. Por ejemplo, en el Cinturón Maicero de los EE.UU., en los últimos 80 años, después de muchos años de balances excedentes de P, la remoción de la cosecha comenzó a exceder uso de P de fertilizantes y de abonos orgánicos. La información sumarizada de los análisis de suelo para esta región indica que esta situación resultó en un cambio de incremento de los niveles de P a niveles que lentamente declinaban para los suelos del Cinturón Maicero (Fixen y Murrell, 2002). En 2005, los productores de la mayoría de los estados del Cinturón Maicero substituyeron 60 a 90% del P removido por las cosechas de los cultivos con la adición de fertilizantes o abonos orgánicos. Sin embargo, debido a esos años de balances de P positivos, el promedio de P Bray-1 en 2005 fue de 36, 29, 25, y 18 ppm para Illinois, Indiana, Iowa y Minnesota, respectivamente (Murrell, 2006). En otras palabras, gran parte del Cinturón Maicero continúa alimentándose de las reservas de P del suelo acumuladas hace más de 20 años. En algunos estados, esas reservas siguen siendo significativas, pero en otros han disminuido a niveles muy bajos.

La tasa de aplicación respecto a la remoción se está incrementando en Argentina, pero el reemplazo de P es menor al 45% (Fig 7), resultando en una disminución en los niveles de P del suelo (Fig 8) (Montoya et el al., 1999). Para los niveles actuales de P demostrados en este conjunto de datos para la Pampa Arenosa, la información de la calibración de los análisis de suelo indica que la mayoría de los cultivos podrían ser altamente dependientes en la fertilización anual con P, a dosis que se aproximan la remoción por el cultivo. Dosis más bajas resultarán probablemente en disminuciones en la producción y la continua declinación en los niveles de P del suelo que dañara a los cultivos futuros.

Un reciente estudio de seis años que involucra cinco ensayos bajo la rotación maíz-trigo/soja en el sur de Santa Fe conducido dentro de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, evalúa los beneficios de fertilizar el sistema de cultivos, reponiendo todo el P y el S removido por las cosechas de los granos producidos (maíz, trigo, soja) y dosis óptimas de N para trigo y maíz. Esta filosofía dio lugar a dosis anuales de aplicación de fertilizantes promedio de 126, 36, y 21 kg/ha para N, P, y S respectivamente. El margen bruto calculado restando el costo del fertilizante del incremento en el ingreso bruto era de $1293/ha. Los efectos residuales sobre los cultivos siguientes en estudio fueron también

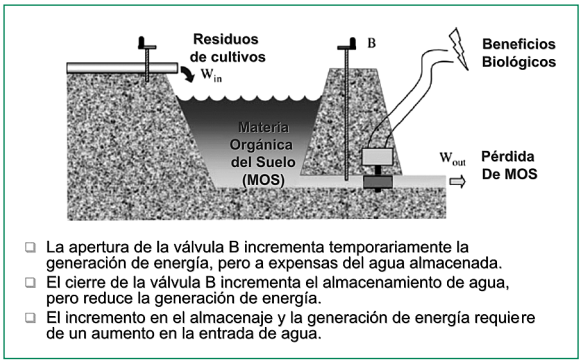


Figura 5. Planta Hidroeléctrica Hipotética y analogía con el carbono del suelo (Janzen, 2006).

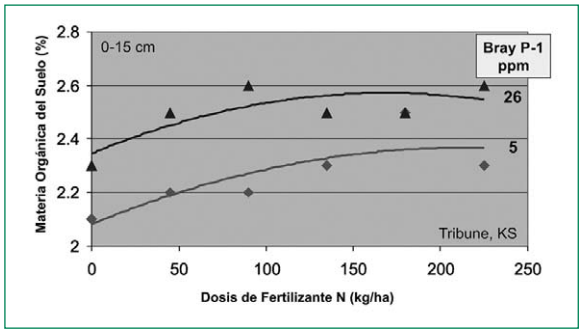


Figura 6. Influencia de la fertilización durante 45 años con N y P en maíz irrigado sobre el contenido de materia orgánica del suelo (Schlegel, 2006).

substanciales. Se obtuvieron respuestas residuales en trigo, soja, y maíz con respecto al testigo sin fertilizar de 2204, 559, y 1031 kg/ha, respectivamente, aún con aplicaciones directas de 88, 26 y 10 kg/ha de N, P, y S, respectivamente (García, 2006). Los involucrados en la evaluación creen que esta respuesta residual es debida más a un efecto de la fertilización balanceada en el ambiente del suelo (más residuos de la cosecha, más raíces, más carbono del suelo y una mayor actividad microbiana) que un efecto residual directo de N, de P y de S en la nutrición de la planta.

Un componente crítico de esta discusión del manejo de P a largo plazo es la distinción entre la respuesta a la fertilidad de suelo según lo reflejado por los análisis de suelo y la respuesta a la fertilización fosfatada. Quizás, el grupo con mayor experiencia en este tema es el equipo de investigación en la estación experimental de Rothamsted en Inglaterra. Ellos manejan los estudios más viejos de fertilidad de suelos del mundo. A.E. Johnston, al resumir algunos de sus estudios a largo plazo, ha indicado: *"en los suelos empobrecidos (< 10 ppm P) aún las fertilizaciones mas elevadas de P al voleo no aumentan los rendimientos hasta los niveles alcanzados en suelos ricos en P (25 ppm P) sin aplicación de fosfato fresco"* (Johnston, 1986). En otras palabras, los estudios demuestran que el fertilizante no puede sustituir totalmente a la fertilidad del suelo. El mensaje práctico es que el manejo óptimo de P debe incluir i) la definición de los niveles objetivo de P del suelo basados en investigaciones de calibración, seguido por ii) programas de manejo de nutrientes que mantengan los niveles de P del suelo por lo menos en esos valores objetivo.

El dilema de la soja en tierra alquilada en la Argentina y los EE.UU.

Uno puede discutir ciertamente que el manejo a largo plazo de P del suelo solamente tiene sentido para aquellos involucrados con una tenencia de la tierra por un período prolongado de tiempo. Por ejemplo, Murrell y Fixen (2006) utilizaron recientemente un modelo de aproximación desarrollado por el PPI (1993) y datos de la calibración de análisis de suelo de la Universidad del Estado de Iowa para estimar la mayoría de los niveles objetivo del análisis de P del suelo cuando la disponibilidad de capital es limitada para una rotación de maíz/soja para las duraciones de utilización de la tierra de 1, 4, y más de 8 años. Los niveles objetivo de P Bray-1 estimados fueron 6, 16, y 21 ppm respectivamente. Claramente, no tiene ningún sentido construir niveles de P del suelo si no se cosecha por lo menos una porción de los beneficios futuros de la acumulación. Los arrendamientos a corto plazo pueden entonces ser un impedimento para el proceso de mantenimiento o construcción de la productividad del suelo a largo plazo. Se estima que cerca de 50% de la tierra cultivada en la región pampeana argentina es alquilada y una reciente investigación de 131 productores en el sur de Santa Fe (Pampa central), revela que el 60% de los establecimientos mayores a 200 has eran arrendados (Cloquell et el al., 2005). La situación en el Cinturón Maicero de los EE.UU. es similar, el USDA reportó que la mayoría de los condados de esta zona presentan más del 40% de la tierra alquilada o arrendada.

El componente final del dilema es el cultivo de la soja, dominante en la rotación de la región pampeana, a veces el único cultivo realizado, y dominante en el Cinturón Maicero de los EE.UU. La soja ofrece un bajo aporte de carbono al sistema, contribuyendo a la declinación de la materia orgánica de suelo, y a menudo los estudios demuestran que presenta una menor respuesta al P con respecto a otros cultivos tales como trigo o maíz (Schwab et el al., 2006). Por lo tanto, el crecimiento de éste cultivo puede permitir programas que utilicen el P del suelo, siendo más provechoso en el corto plazo. Sin embargo, a largo plazo puede afectar negativamente las características biológicas, físicas, y químicas del suelo y, con el tiempo, hacer cada vez más difícil de lograr buenas rentabilidades en otros cultivos. De esta manera, el enfoque a corto plazo se encuentra atrapado en aún más producción de soja, resultando en una espiral descendente que declina la calidad del suelo, haciendo más difícil mejorar esta calidad a medida que pasa el tiempo.

Es importante considerar, como solución parcial al dilema, la negociación de los acuerdos de arrendamiento donde las inversiones en productividad del suelo son compartidas equitativamente con el propietario y el arrendatario puesto que ambos pueden beneficiarse con una aproximación a más largo plazo.

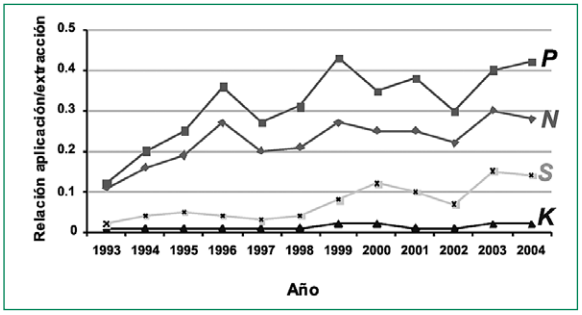


Figura 7. Argentina: Relaciones Aplicación/Extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos.

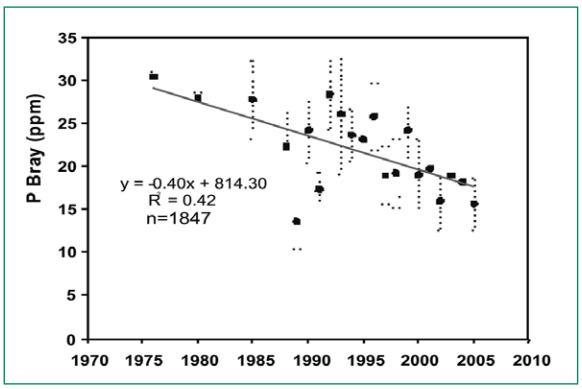


Figura 8. P extractable en suelos del Oeste de la región pampeana (Díaz Zorita et al., 2005, com. personal).

Síntesis Final

Las decisiones apropiadas en el manejo de nutrientes necesitan hoy considerar los numerosos factores sitio-específicos que se extienden desde características del cultivo o del suelo al tiempo y a las tecnologías disponibles. Una cierta clase de dispositivo de apoyo a la toma de decisión es generalmente necesario para ayudar a integrar esos factores y a crear salidas ("outputs") que puede ser consideradas al tomar decisiones y realizar la acción para manejar los nutrientes. Algunos de esos factores sitio-específicos implicados en decisiones efectivas de manejo de nutrientes se ocupan de consecuencias a largo plazo de las prácticas de manejo debido a los efectos residuales que afectan la productividad y los beneficios.

Los cambios de la materia orgánica de suelo pueden ser un indicador sensible de la productividad del suelo. El manejo sustentable implica encontrar un equilibrio entre la adición de residuos de los cultivos y las ventajas obtenidas del decaimiento de la materia orgánica. El aumento de las entradas de carbono al suelo es uno de los medios más importantes de aumentar los beneficios asociados con la materia orgánica. Ya sea por el aumento directo en aporte de residuos de cultivos o por una retención más eficiente del carbono fijado por la fotosíntesis, las decisiones apropiadas en el manejo de nutrientes pueden afectar positivamente la materia orgánica y la productividad del suelo.

La remoción de P en los cultivos cosechados corrientemente excede el uso en la Región Pampeana y en el Cinturón Maicero de los EE.UU. El punto en el cual estos balances deficitarios reducen la productividad y los beneficios es predecido por el análisis de suelo. Es altamente probable que algunos establecimientos ya experimenten la pérdida de producción con análisis de P del suelo cayendo por debajo de los niveles óptimos, mientras que en otros casos pueden pasar muchos años antes de que las pérdidas sean experimentadas.

Debido a la alta frecuencia de tierra alquilada en las Región Pampeana y el Cinturón Maicero de los EE.UU., el uso creciente de los arrendamientos que comparten equitativamente los costos a corto plazo de las prácticas que retornan beneficios a largo plazo, será probablemente un ingrediente en el desarrollo de programas teniendo como objetivo el aumentar la productividad del suelo.

La Región Pampeana Argentina y el Cinturón Maicero de EE.UU. presentan similitudes en características y desafíos para lograr una sustentabilidad de largo plazo. Los cambios de prácticas actuales serán necesarios en ambas regiones para una agricultura sustentable. Continuar compartiendo los resultados de investigación y de los programas educativos en forma cooperativa debe ayudar a apresurar esos cambios necesarios y ayudarnos a todos a mirar... ***más allá de la próxima cosecha***.

Bibliografía

Alvarez R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century model. Soil Use & Management 17:62-66.

Andriulo A. y G. Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la material orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *In* Siembra directa. J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo and R. Gil (Eds.). Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 65-96.

Cassman, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proceedings National Academy of Science. (USA) **96**: 5952-5959.

Cloquell S., R. Albanesi, M. De Nicola, G. Preda y P. Propersi. 2005. Agricultura y agricultores. La consolidación de un nuevo modelo productivo. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Año V No.8 pp. 29-40. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

Dobermann, A, Cassman, K.G., Walters, D.T. y Witt, C. 2005. Balancing short- and long-term goals in nutrient management. In Li, C.J. et al. (eds) Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection. Tsinghuan University Press, Beijing. pp 60-61.

Echeverría H. y J. Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características se los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. Boletín Técnico 112. EEA INTA Balcarce.

Fixen, P.E. 2005. Decision Support Systems in Integrated Crop Nutrient Management. Proceedings No. 569. International Fertilizer Society, York, UK. 1-32.

Fixen, P.E. y Murrell, T.S. 2002. The message of soil test summaries and nutrient removal. In: Murphy, L.M. (ed.). Fluid Forum Proceedings. Fluid Fertilizer Foundation, 2805 Claflin Road Suite 200, Manhattan, KS 66502, pp. 1-11.

García F. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. Informaciones Agronómicas 29:13-16.

Halvorson, A.D. y Reule, C.A. 1999. Long-term nitrogen fertilization benefits soil carbon sequestration. Better Crops 83(4):16-20.

Janzen, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? Soil Biology & Biochemistry 38: 419–424.

Johnston, A.E., Lane, P.W., Mattingly, G.E.G., Poulton, P.R., y Hewitt, M.V. 1986. Effects of soil and fertilizer P on yields of potatoes, sugar beet, barley, and winter wheat on a sandy clay loam soil at Saxmundham, Suffolk. J. of Agric. Sci. 106:155-167.

Karlen, Douglas L., Eric G. Hurley, Susan S. Andrews, Cynthia A. Cambardella, David W. Meek, Michael D. Duffy, y Antonio P. Mallarino. 2006. Crop Rotation Effects on Soil Quality at Three Northern Corn/Soybean Belt Locations. Agron. J. 98:484-495.

Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F. and Cole, C.V. 1998. The SOC Pool in U.S. Soils and SOC loss from cultivation. In: The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 128 pp.

Montoya J., A. Bono, A. Suárez, N. Darwich y F. Babinec. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en suelos del este de la provincia de La Pampa, Argentina. Ciencia del Suelo 17 (1):45-48.

Morón, A. 2003. Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos-pasturas de INIA La Estancuela en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). Simposio "40 años de rotaciones agrícola-ganaderas". Serie Técnica No. 134. INIA La Estanzuela. Uruguay.

Murrell, T. S. 2006. Northcentral soil test summary: changes in phosphorus and potassium. Better Crops 90(1):14-15.

Murrell, T.S, y Fixen, P.E. 2006. Improving fertilizer phosphorus effectiveness: Challenges for the future. Phosphorus dynamics in soil-plant continuum: Int. Symp., 3rd, Uberlandia, Brazil. 14-19 May, 2006. http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/usanc.nsf

PPI. 1993. PKMAN – A Tool for Personalizing P and K Management. Potash & Phosphate Institute, 655 Engineering Drive, Suite 110, Norcross, GA 30092-2821.

Schlegel, A.J. 2000. Nitrogen and phosphorus fertilization of irrigated corn and grain sorghum. Kansas Fert. Res. Kansas State Univ. Agric. Exp. Stn. and Coop. Ext. Serv., Manhattan; Personal communication with A. J. Schlegel.

Schwab, Gregory J., Whitney, David A., Kilgore, Gary L., y Sweeney, Daniel W. 2006. Tillage and Phosphorus Management Effects on Crop Production in Soils with Phosphorus Stratification. Agron. J. 98:430–435.

Stewart, W. M., Dibb, D.W., Johnston, A.E. y T. J. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agron. J. **97**:1–6.

Urricarriet S. y R. Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa ondulada. Ciencia del Suelo 17 (1): 37-44.

Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay

Juan D. Cano[1], Oswaldo Ernst[1] y Fernando García[2]
[1]Estación Exp. Mario Cassinoni, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.
[2] INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
jdcano@adinet.com.uy; fgarcia@inpofos.org

Introducción

Los sistemas productivos agropecuarios del litoral oeste del Uruguay se han caracterizado por la predominancia de las rotaciones pasturas - cultivos (García-Préchac *et al*., 2004). En la actualidad, con la generalización de la siembra directa, se produce una tendencia a prolongar la fase agrícola y acortar o eliminar la fase de pasturas. Los suelos del Uruguay poseen bajos niveles naturales de fósforo (P) extractable, siendo el mismo considerado el primer factor nutricional limitante para la siembra de cultivos (Hernández *et al.,* 1995). La fertilización fosfatada propuesta para cultivos graníferos se realiza en base al resultado del análisis de P utilizando el método de Bray N°1 en los primeros 20 cm de suelo antes de la siembra. En el caso de Argiudoles Típicos, que son los suelos predominantes en los campos agrícolas del Litoral uruguayo, la corrección se realiza con el agregado de 4 kg P ha^{-1} por cada punto (ppm) por debajo del nivel crítico correspondiente a cada cultivo (Capurro et al., 1982; Bordoli et al., 2000). La cantidad de P total que se va del sistema en forma de grano no es tomada en cuenta para la posterior reposición vía fertilizante.

El balance de P del suelo es considerado un importante indicador de sustentabilidad de los sistemas de producción, siendo utilizado con diferentes objetivos. Es incierta la evolución de los niveles totales de P en los suelos de los actuales sistemas agrícolas del Uruguay, y se desconoce si el balance de P total del suelo puede ser un indicador útil en la toma de decisiones de fertilización.

A nivel regional, los cálculos de balance de P de los suelos agrícolas de la Región Pampeana argentina muestran que son negativos, a pesar del incremento en el uso de fertilizantes en esa región en la última década. La reposición del P extraído en los granos de los cuatro principales cultivos anuales (soja, maíz, trigo y girasol) varió entre el 43% y 56% en los años 1997, 1998 y 1999 (García 2001).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el balance aparente de P de secuencias agrícolas del Uruguay y conocer su relación con el criterio de fertilización adoptado, los cultivos integrantes de la secuencia y los rendimientos en grano obtenidos.

Materiales y Métodos.

Una base de datos con información de chacras comerciales del Litoral Oeste de Uruguay fue conformada a partir de encuestas a productores y técnicos. Las chacras en estudio tienen una secuencia continua en agricultura de secano, de al menos 5 cultivos, comprendidos dentro del período 1999 – 2005.
En la encuesta se recabó información para cada chacra en particular de:

⇒ cultivos sembrados
⇒ rendimientos obtenidos
⇒ tipo y cantidad de fertilizante agregado
⇒ resultados de análisis químicos de suelo (P Bray N° 1)

La información útil incluida en la base de datos totaliza 217 cultivos, correspondiente a 32 chacras de 6 productores. La totalidad de las chacras son manejadas en siembra directa. Los suelos dominantes son Argiudoles típicos, poseen 5 a 35 cm de horizonte A, entre 40 y 100 cm de profundidad total, contenidos de materia orgánica de entre 3 y 6%, y entre 0 y 8 % de pendientes que, en general, no superan los 300 metros de largo (MGAP, 1979).

Una vez recogida la información se procedió al cálculo de los balances aparentes de P, que fueron realizados para cada chacra y para el período disponible en cada una. Los balances contemplaron los ingresos de P por fertilizante y las salidas de P en grano o silo. Los ingresos de P se obtienen directamente de los datos de fertilización de la encuesta. Las salidas de P en la cosecha se estimaron utilizando coeficientes de contenido de P en grano para cada cultivo (PPIC, 2003).

A los efectos de profundizar el análisis de los resultados de los balances aparentes de P, se agruparon chacras en base al análisis estadístico Cluster, utilizándose el coeficiente de similitud de Gower (1971) del paquete estadístico SAS (V8). El análisis Cluster utiliza la información de una serie de variables de cada chacra y mide la similitud entre las mismas, con lo cual es posible conformar grupos homogéneos internamente y diferentes entre sí. El análisis Cluster se realizó considerando las variables: número de cultivos realizados, fertilización fosfatada acumulada durante el período

(kg P/ha), exportación de P vía producción de grano durante el período (kg P/ha), y balance aparente de P del período (kg P/ha). En primer lugar se obtuvo una matriz de distancias eucledianas con previa estandarización de las variables, restando la media y dividiendo sobre el desvío estándar para lo cual se utilizó el macro DISTNEW del paquete estadístico SAS versión 8.2. Luego se realizó el agrupamiento por el método de ligamiento promedio, y se obtuvo el resultado en distancias de desvío estándar. Para ello, se usó el procedimiento Cluster y para obtener el dendrograma el procedimiento Tree, del mismo paquete estadístico. La formación de grupos se realizó tomando como criterio la mitad de la distancia máxima entre observaciones y el aporte de cada variable a la formación de los grupos se realizó utilizando el Procedimiento STEPDISC (FORWARD y STEPWISE) del mismo paquete estadístico. El aporte relativo se estableció a partir del valor "F" de cada variable.

Resultados y Discusión

Características de las rotaciones

Los 217 registros de cultivos de la base de datos corresponden a 9 especies, entre las cuales el trigo y la soja sumados reúnen el 50%, siguiéndole en importancia los cultivos de girasol, maíz, cebada y sorgo (Tabla 1). Esta información muestra que existe una diversificación importante en los cultivos componentes de las secuencias en estudio, lo cual es más evidente si a esto le agregamos que varias de ellas rotan con pasturas después de un período determinado.

Los cultivos de verano predominan en las rotaciones agrícolas en estudio con un promedio de 63% de participación, valor que es algo mayor al promedio nacional correspondiente a las zafras 2001/02, 2002/03 y 2003/04, en el que los cultivos de verano representan el 56% de la agricultura de secano (DIEA, 2005).

La mitad de los cultivos de verano se siembran como segunda, luego de un cultivo de invierno. Dado que algunos productores manejan estrategias de fertilización diferentes según si el cultivo es de primera o segunda, es importante conocer cuales son los cultivos sembrados de esta última forma. Existen diferencias entre cultivos en cuanto al lugar que ocupan en la rotación; mientras que todo el sorgo fue como segunda, solamente un 4% del maíz se sembró luego de un cultivo de invierno. Asimismo, un poco más de la mitad de la soja y casi dos tercios del girasol se sembraron después de un cultivo de invierno.

Balance Aparente de Fósforo

El balance aparente promedio anual de las rotaciones en estudio es de 0,37 kg P/ha/año, con una reposición del P extraído en grano del 102%. Estos datos muestran un balance aparente de P que se podría clasificar como neutro o levemente positivo, evidenciando una realidad diferente a la de Argentina, en donde la reposición de P vía fertilizante se encuentra en torno al 50% (García, 2001).

Los cultivos de maíz, soja y sorgo son quienes exportan más P en grano (Fig 1). El sorgo y la soja además están entre los cultivos menos fertilizados, lo que lleva a que sean los únicos cultivos que en promedio arrojen balances negativos. Esta baja fertilización de soja y sorgo puede estar asociada a que son sembrados en una proporción importante como cultivos de segunda, habiendo productores que optan por no fertilizar o hacerlo con menores cantidades de P. El maíz, en cambio, si bien es el que más P exporta, es también quien más fertilizante recibe, lo cual resulta en un balance aparente positivo.

El rendimiento en grano tiene un elemental impacto en la salida de P en grano, que implica que por ejemplo el maíz exporte casi el triple de P en grano que el girasol, a pesar de que este último tenga un mayor % P. De todos modos, la concentración de P en grano es también muy importante, lo cual queda de manifiesto en el ejemplo de la soja y la cebada, cuyos rendimientos promedio son similares, pero la primera exporta más del doble de P en grano que la segunda por tener un mayor % P en grano. Los cultivos de invierno y el girasol son los que exportan menos P en grano. A su vez, la fertilización que reciben está dentro de los niveles promedio, lo que lleva a que tengan balances aparentes positivos.

Al examinar individualmente los balances aparentes de las 32 chacras, encontramos que existen importantes variaciones en el resultado final de cada

Tabla 1. Participación de cada cultivo, rendimiento en grano promedio (kg/ha) y coeficiente de variación (%) de los rendimientos.

Cultivo	N° cultivos	Rendimiento (kg/ha)	CV (%)
Soja	56	2532	25,1%
Trigo	53	3187	35,6%
Girasol	39	1601	40,9%
Maíz	28	5974	37,5%
Cebada	20	2601	46,7%
Sorgo	12	4533	16,3%
Avena	6	2317	27,9%
Otros	3	-	-

una, variando entre +55 y –60 kg P/ha. Mientras 18 chacras arrojan un balance aparente positivo, hay 14 cuyo resultado es de pérdida neta de P. En base a esto, se hace necesario profundizar el análisis a efectos de identificar situaciones diferentes.

El balance de P del período y el número de cultivos involucrados en el mismo son las variables discriminantes de mayor peso, mientras que la fertilización P acumulada y producción de grano no aportaron significativamente a la conformación de los grupos de similitud.

Como es esperable, los grupos que utilizan estrategias de fertilizar más frecuentemente a los cultivos de la rotación son los que finalizan con balances más positivos (Tabla 2).

El grupo A, con algo más de un cultivo por año, es el que posee un balance más positivo. Este grupo recibe una fertilización alta, lo cual explica principalmente los resultados. Los grupos B y D son quienes poseen mayores tasas de extracción de P en grano (25,5 kg P/ha/año), lo cual posiblemente esté asociado a que son los dos grupos que poseen secuencias más intensas, con un promedio de casi 2 cultivos al año (Tabla 3). Sin embargo la fertilización es muy diferente entre estos dos grupos, lo que lleva a claras diferencias en el balance aparente de P en suelo. Mientras el grupo B fertiliza casi todos los cultivos y agrega más fertilizante del que extrae en grano, el grupo D representa a chacras que arrancan de valores altos de P extractable en suelo, lo que lleva a que se fertilicen menos de la mitad de los cultivos y tenga pérdidas netas de P. El grupo C(a) es el que menos fertilizante recibe anualmente, y es también quien menos extrae, resultando en un balance aparente levemente positivo. El grupo C(b) posee un balance aparente de –2,34 kg P/ha/año, resultado de las fertilizaciones insuficientes, principalmente en los cultivos de verano de segunda (Tabla 4).

Existen diferencias en la fertilización y los resultados de los balances según el momento del año en que se encuentra la rotación. Los cultivos de invierno son quienes menos P extraen en grano y quienes poseen balances más positivos. En términos promedios, los cultivos de verano de segunda reciben menos de la mitad del fertilizante que los de primera, lo que resulta en claras diferencias en el resultado de los balances de P.

Entre grupos existen también importantes diferencias según estación. El grupo D fue el único con bajas fertilizaciones en cultivos de invierno y balance aparente negativo. En cultivos de verano de primera, que son los más fertilizados por todos los grupos, los 3 que extraen más P en grano son los que poseen balance aparente negativo. En los cultivos de verano de segunda todos los grupos arrojan balance negativo, destacándose los grupos C(a), C(b) y D, que agregan muy poco fertilizante y tienen balances muy negativos. Esto último es muy importante en el caso del grupo D, que tiene un promedio cercano a dos cultivos por año y, por ende, una alta

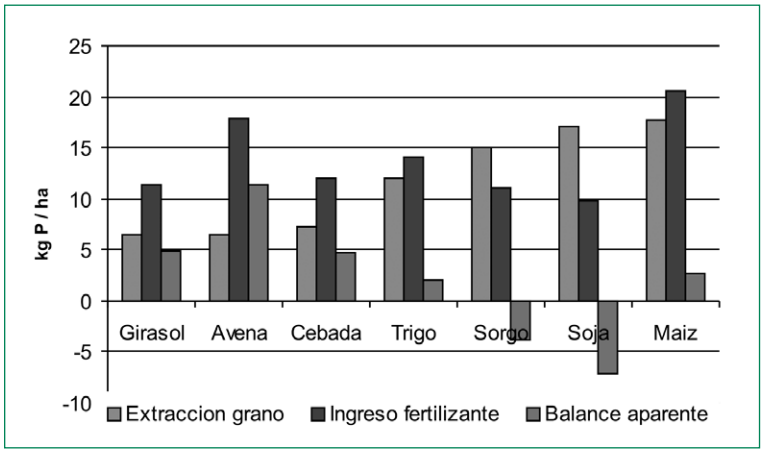


Figura 1. Extracción promedio de P en grano (kg/ha) para los distintos cultivos.

Tabla 2. Características de los grupos resultantes del análisis Cluster.

Grupo	N° cultivos / año	Cultivos fertilizados (%)	Balance final rotación (kg P/ha)
A	1,13	91,1%	24,5
B	1,97	86,7%	11,0
C (a)	1,22	71,4%	4,5
C (b)	1,48	62,2%	-9,6
D	1,82	42,5%	-40,2

Tabla 3. Balance aparente de P promedio anual según grupo.

Grupo	Fertilizante aplicado (kg P/ha/año)	Extracción en grano (kg P/ha/año)	Balance aparente anual (kg P/ha/año)
A	18,5	13,6	4,98
B	27,6	25,5	2,17
C (a)	13,9	12,7	1,18
C (b)	17,0	19,4	-2,34
D	16,4	25,5	-9,13
Total	19.5	19.2	0,37

proporción de cultivos de verano de segunda.

Los cultivos componentes de la rotación tienen incidencia en el resultado de los balances (Fig 1). En el Tabla 5 se muestra la proporción en las rotaciones de cada grupo de los cultivos más extractivos (soja, sorgo y maíz) y menos extractivos (cebada, avena y girasol). El grupo A, que posee el balance más positivo, es el que posee mayor proporción de cultivos menos extractivos. El grupo D, en tanto, que es el de balance más negativo, es el único que tiene más del 50% de sus rotaciones con soja, sorgo y maíz.

Conclusiones

- El balance aparente promedio anual de las rotaciones resultó ser levemente positivo (0,37 kg P/ha/año), con una reposición del 102% del P exportado en grano. La existencia de grupos de chacras con balances positivos de más de 4 kg P/ha/año y otras con valores negativos alrededor de los 9 kg P/ha/año, sugieren que el análisis deba ir más allá de un resultado promedio.
- En base a los resultados expuestos se destacan dos elementos como los de mayor peso en la determinación de los resultados finales de los balances de P de la base de datos: la estrategia de fertilización empleada y los cultivos componentes de las secuencia.
- Estrategia de fertilización: Las chacras que reciben fertilización en una alta proporción de los cultivos tienen siempre balances positivos, mientras que aquellas en que sistemáticamente se omite la fertilización, como ser los cultivos de verano de segunda, resultan en balances que van de neutros a negativos, dependiendo de otros factores.
- Cultivos componentes de las rotaciones: los grupos de chacras con balances más positivos son, a su vez, aquellos que tienen menor proporción de los cultivos más extractivos. Cual es el cultivo sembrado y cual su rendimiento en grano son determinantes en la salida de P del sistema vía grano y en el resultado del balance. La excepción a esta regla es el cultivo de maíz, que si bien es el más extractivo, también es el más fertilizado y su balance es levemente positivo.
- La base de datos disponible para el trabajo no permite arribar a conclusiones que brinden recomendaciones específicas de manejo de la fertilización, pero si detectar estrategias de fertilización que son insuficientes para mantener o aumentar los niveles de P en suelo.

Bibliografía consultada.

Bordoli M, A. Quincke, A. Marchesi. 2000. Fertilización de Trigo en Siembra Directa. 8ª Jornada Nacional de Siembra Directa. AUSID. Paysandú, Uruguay. Pp 14 – 29.

Capurro E, W. Baetghen, A. Trujillo, A. Bozzano. 1982. Rendimientos y respuesta a NPK de cebada cervecera. Miscelánea N° 43, CIAAB, La Estanzuela, Uruguay. 21 p.

DIEA. 2004. Encuesta Agrícola 2003/2004. Boletín Informativo – Serie Encuestas N° 219. MGAP, Estadísticas Agropecuarias (DIEA). Montevideo, Uruguay. 28 p.

García F. 2001. Phosphorus Balance in the Argentinean Pampas. Better Crops International 15 (1), 22 – 24.

García-Préchac F, O. Ernst, G. Siri-Prieto, J. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil & Tillage Research, 77, 1 – 13.

Gower J. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics 27, 857-872.

Hernández J, O. Otegui, J. Zamalvide. 1995. Formas y contenidos de Fósforo en algunos suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Boletín de Investigaciones N° 43. Montevideo, Uruguay. 32 p.

MGAP. 1979. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo III: Descripción de las Unidades de Suelos. Montevideo, Uruguay. 452 p.

PPIC. 2003. Nutrient statistics. Disponible en: http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/canadae.nsf. Consulta: Mayo 2006.

Tabla 4. Calculo de Balance aparente promedio de P (kg P/ha) de cultivo según grupo, para cultivos de invierno, cultivos de verano de primera y de segunda.

	Invierno			Verano Primera			Verano Segunda		
Grupo	Fertilizante	Grano	Balance	Fertilizante	Grano	Balance	Fertilizante	Grano	Balance
A	15,9	10,3	5,6	18,5	13,8	4,8	11,3	11,9	-0,7
B	16,7	10,4	6,3	17,4	19,4	-2,0	9,3	11,5	-2,2
C (a)	12,4	8,8	3,6	17,6	9,6	8,0	3,1	13,6	-10,6
C (b)	12,9	9,4	3,6	15,3	18,2	-3,0	4,7	12,2	-7,4
D	7,3	12,1	-4,8	14,4	16,1	-1,7	4,9	14,0	-9,2
Total	13,6	10,2	3,4	16,7	15,6	1,1	7,9	12,3	-4,4

Tabla 5. Proporción de cultivos más y menos extractivos en la rotación de cada grupo.

Grupo	Soja + Sorgo + Maíz (más extractivos)	Cebada + Girasol + Avena (menos extractivos)
A	47%	38%
B	43%	30%
C (a)	39%	32%
C (b)	43%	27%
D	53%	20%
Total	44%	30%

Variaciones del rendimiento de soja en el sur de Santa Fe. Factores limitantes de clima y suelo.

S. Bacigaluppo[1], J. Dardanelli[2], G. Gerster[1], A. Quijano[4], M. Balzarini[3], M. Bodrero[1], J. Andriani[1], J. Enrico[1] y R. Martignone[4].
[1]EEA INTA Oliveros. Ruta 11 km353, 2206 Oliveros, Santa Fe, Argentina.
[2]EEA INTA Manfredi. [3]Fac. Cs. Agropecuarias (UNC)-CONICET. [4]Fac. Cs. Agrarias (UNR).
sbacigaluppo@correo.inta.gov.ar

Presentado en Mercosoja 2006. Rosario, 27-30 Junio 2006.

Introducción

Las variaciones del rendimiento de los cultivos pueden explicarse a partir de efectos de genotipo (G), ambiente (A) y de su interacción (G x A). La importancia relativa de estas fuentes de variación cambia según el origen de los ambientes y genotipos. Comúnmente, el efecto ambiental explica la mayor parte de las variaciones (Yan et al, 2000; Gerster, 2001; Gerster et al, 2002, Dardanelli et al, 2006). En la región del Sur de Santa Fe, las variaciones ambientales se relacionan fundamentalmente con factores que afectan tanto el desarrollo como el crecimiento. El desarrollo está controlado principalmente por el fotoperíodo y la temperatura, mientras que el crecimiento depende tanto de factores climáticos como de suelo. Actualmente, el sistema más difundido en la región es la siembra directa (90 % de la superficie cultivada, RIAP 2006). La adopción de la agricultura continua y las prácticas culturales asociadas, han producido cambios físico-químicos en los suelos que parecen explicar parte de las variaciones observadas en el rendimiento entre lotes y años. El objetivo de este trabajo es identificar aquellos factores de suelo y/o clima, posibles de ser usados en modelos de predicción, que mejor explican las variaciones en el rendimiento de cultivos de soja, bajo siembra directa en el Sur de Santa Fe.

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2001/02, 2002/03 y 2003/04 se condujo una red de ensayos (RED) en 6, 7 y 7 localidades del sur de Santa Fe, respectivamente. En las mismas se evaluaron 17 genotipos de soja sembrados entre el 1/11 y el 5/12 en lotes de productores. Todos los ensayos se implantaron sobre un suelo perteneciente al gran grupo Argiudol y bajo un sistema de siembra directa con un diseño en bloques completamente aleatorizados. Utilizando la información de la RED (Bodrero et. al, 2002, 2003, 2004), se obtuvo, mediante análisis de varianza, la contribución porcentual de los efectos del ambiente, genotipo y su interacción sobre el rendimiento en la región de interés.

Para 3 genotipos: DM 4800 RR (GM IV), A 5520 RG (GM V) y A 6040 RG (GM VI), se determinaron los estadios fenológicos E, R2, R5 y R7 según la escala fenológica de Fehr & Caviness (1977). En R8, se efectuó un muestreo de los sitios en 10 m^2 y se determinó el rendimiento en semilla, expresado al 13,5 % de humedad. En cada localidad se determinaron además variables de suelo, parámetros químicos: contenidos de materia orgánica y fósforo en el horizonte A y físicos: profundidad hasta el horizonte B textural, conductividad hidráulica saturada, presencia de estados masivos delta (bloques sin porosidad estructural) y presencia de pisos subsuperficiales compactados. Además, al inicio del cultivo se determinó el contenido de humedad del suelo hasta los dos metros de profundidad, con sonda de neutrones, calculándose el agua útil inicial (AUI), (Bodrero et al, 2004). A partir de registros climáticos, se obtuvieron para cada localidad, el fotoperíodo, las precipitaciones, la radiación incidente y la temperatura media diaria por subperíodos: **1**: emergencia-floración (E-R2); **2**: floración-inicio de llenado de granos (R2-R5); y **3**: llenado de granos (R5-R7).

Cada combinación de campaña, localidad y genotipo (para los 3 genotipos mencionados), fue identificada como un ambiente, para ajustar modelos de regresión lineal múltiple del rendimiento en función de variables de clima y suelo. La finalidad de la modelación, fue clasificar a los distintos factores en función de la magnitud de sus correlaciones directas con el rendimiento (por ejemplo, correlaciones después de descontar el efecto de otros factores concomitantes). Los residuos parciales de un único modelo para todos los datos, indicaron la conveniencia de utilizar al menos dos modelos para explicar la variación ambiental del rendimiento en la región. Para la selección de variables se utilizó el procedimiento "backward". El error cuadrático medio de predicción fue utilizado como medida de la capacidad predictiva de los modelos ajustados (InfoStat, 2004).

Resultados y discusión

El análisis de la varianza para el rendimiento (datos de la RED), mostró que el efecto del ambiente explicó un 63, 65 y 83% de la variación del rendimiento en las campañas 2001/02, 2002/03 y 2003/04, respectivamente. El ambiente fue netamente el factor principal de variación de los rendimientos, no obstante la interacción

GxA resultó también significativa. Las variaciones entre los genotipos fueron significativas en dos de las tres campañas; en la campaña 2003/2004, la variación total fue explicada exclusivamente por efecto del ambiente y de la interacción (Tabla 1). La caracterización de las variables de clima y suelo que se utilizaron para evaluar diferentes modelos para la relación rendimiento-clima-suelo, se presentan en la Tabla 2.

El análisis de los residuos parciales de un único modelo entre rendimiento y las variables de suelo y clima, indicó que la relación rendimiento-precipitación es dependiente del nivel de precipitaciones acumuladas en el periodo reproductivo (Pr_{2+3}). Se observaron dos comportamientos diferenciados según esta precipitación fuese menor o mayor a 180 mm (Fig 1).

Para Pr_{2+3} menores a 180 mm se visualizó una relación lineal positiva entre rendimiento y precipitación acumulada, que se pierde cuando los valores de Pr_{2+3} superan los 180 mm. Por tal razón, se ajustaron dos modelos de regresión independientes, uno utilizando los ambientes con Pr_{2+3} de hasta 180 mm y otro con aquellos donde Pr_{2+3} había superado este valor.

Para ambientes de precipitaciones ≤180 mm en el periodo reproductivo, el mejor modelo de regresión múltiple obtenido (**R^2 = 0.82**) incluyó sólo dos variables: Pr_{2+3} y %masivos delta, sugiriendo que la variación en la aptitud de estos ambientes, se puede predecir (con un error de predicción de **30 gr/m² o 300 kg/ha**) a partir de los niveles de estas dos variables (Modelo 1):

- **Modelo 1:**

Rendimiento = 196,59 - 1,23%Mdel + 1,20*Pr2+3*

Ambientes con mayores precipitaciones en el periodo reproductivo y con menor presencia de bloques masivos delta, fueron los que produjeron los mayores rendimientos dentro de este grupo.

El segundo modelo, (Modelo 2) (**R^2 = 0.60**), obtenido a partir de ambientes con Pr_{2+3} mayores a 180 mm, sugiere que la aptitud del ambiente puede ser predicha (con un error de predicción de **45 gr/m² o 450 kg/ha**) por la radiación incidente acumulada en el subperiodo R5-R7, el contenido de materia orgánica del suelo y la presencia de estados masivos delta en el perfil del suelo:

- **Modelo 2:**

*Rendimiento = - 678,23 + 45,87*MO - 1,39*%Mdel + + 3,07*Ra3 - 0,0025*Ra3²*

Ambientes con mayor Ra3, mayor % MO y menor presencia de estados masivos delta en el perfil del suelo, fueron los que produjeron los mayores rendimientos cuando las precipitaciones en el periodo reproductivo fueron de moderadas a abundantes. Es importante destacar que un modelo alternativo (Modelo 3) (**R^2 = 0.60),** que incorpora la variable conductividad hidráulica saturada en lugar de %Mdel mostró un ajuste sólo ligeramente menor (**48 gr/m² o 480 kg/ha** de error de predicción) al Modelo 2.

Tabla 1. Efectos (en porcentaje) del ambiente, genotipo e interacción sobre la variación en rendimientos de soja, bajo siembra directa en el Sur de Santa Fe.

Campaña	Ambiente	Genotipo	Genotipo x Ambiente
2001/02	63	19	18
2002/03	65	16	18
2003/04	83	0	17

Tabla 2. Variables climáticas y de suelo en la región de cultivo de soja en el Sur de Santa Fe.

Variable Climáticas	Abreviatura	Unidad	Media	Mínimo	Máximo
Radiación incidente acumulada en el subperiodo 1	Ra1	Mjoule/m²	929	560	1390
Radiación incidente acumulada en el subperiodo 2	Ra2	Mjoule/m²	658	431	1033
Radiación incidente acumulada en el subperiodo 3	Ra3	Mjoule/m²	528	332	706
Temperatura media diaria, promedio del subperiodo 1	Tm1	°C	23.3	21.7	25.2
Temperatura media diaria, promedio del subperiodo 2	Tm2	°C	24.5	22.9	26.3
Temperatura media diaria, promedio del subperiodo 3	Tm3	°C	23.4	20.2	25.9
Fotoperíodo diario, promedio del subperiodo 1	Fot1	Hs de luz	15.08	14.54	15.20
Fotoperíodo diario, promedio del subperiodo 2	Fot2	Hs de luz	14.63	13.98	15.17
Fotoperíodo diario, promedio del subperiodo 3	Fot3	Hs de luz	13.47	12.76	14.42
Precipitaciones acumuladas en el subperiodo 1	Pr1	mm	207	57	421
Precipitaciones acumuladas en los subperiodos 2 y 3	Pr_{2+3}	mm	286	66	532

Variables de Suelo	Abreviatura	Unidad	Media	Mínimo	Máximo
Humedad inicial del suelo hasta 2 m de profundidad	AUI	mm	263	200	380
Contenido de materia orgánica en el horizonte A	MO	%	3.02	2.23	3.65
Profundidad hasta el horizonte B textural	PrB2t	cm	25.9	14.7	33.3
% de estados masivos delta en el perfil del suelo	%Mdel	%	20.2	0.0	54.0
Presencia de pisos subsuperficiales compactos.	%pisos	%	48.6	19.0	93.0
Conductividad hidráulica saturada	Chid	cm/seg	0.00070	0.00030	0.00150

- **Modelo 3:**

*Rendimiento = -669,82+ 34,77*MO + 101625,87*Chid + 2,82*Ra3 - 0,0023*Ra3²*

El Modelo 3, sugiere que ambientes con mayor Ra3, mayor % MO y alta velocidad de infiltración de agua (conductividad hidráulica saturada) producirán mayores rindes cuando las precipitaciones en el periodo reproductivo sean de moderadas a abundantes. Ambos modelos indican que cuando los ambientes son más favorables en relación a la disponibilidad hídrica, algunas propiedades físicas del suelo (que implicarían mayor disponibilidad de agua a través de mejor infiltración), junto con la oferta de radiación (que puede traducirse en mayor producción de materia seca), son suficientes para explicar la variabilidad en los rendimientos.

En las Tablas 3 y 4, se muestran valores promedio de rendimientos para grupos de ambientes clasificados según la "aptitud" sugerida por las variables identificadas como de mayor peso. Los ambientes fueron agrupados según los siguientes valores umbrales para cada variable: 23% para %Mdel, 3.09% para MO, 540 MJoule/m² para Ra3 y 150 mm para Pr_{2+3} (valores obtenidos a partir de gráficos de residuos parciales). Las variables fueron clasificadas como "Mayor" o "Menor" según el caso estudiado mostrase valores superiores o inferiores al umbral determinado para cada una.

Conclusiones

Las variaciones en el rendimiento de los diferentes ambientes para el cultivo de soja bajo siembra directa en el Sur de Santa Fe, pueden ser caracterizadas mediante pocas variables de clima y suelo. El valor de 180 mm de precipitaciones acumuladas durante el período reproductivo, separó situaciones de diferente comportamiento. Para precipitaciones menores a 180 mm, la cantidad acumulada de éstas conjuntamente con la presencia de estados masivos delta en el suelo, determinan las variaciones del rendimiento. Los ambientes de menor aptitud (Menor Pr_{2+3} y Mayor % Mdel) sufrieron una merma de rendimiento del 33% respecto a los de mejor aptitud productiva. Para precipitaciones mayores a 180 mm, las variaciones en rendimiento, se explican por diferencias en la radiación acumulada en el llenado de granos, y por factores de suelo, como el contenido de materia orgánica combinado con la presencia de estados masivos delta o la conductividad hidráulica saturada. Los ambientes de menor aptitud (Menor Ra3, Menor MO y Mayor %Mdel) sufrieron mermas del rendimiento de hasta el 35% respecto a los de mejor aptitud productiva.

Si bien el contenido de agua útil inicial (AUI) del perfil de suelo, es una importante variable agronómica a tener en cuenta, no quedó incluida en ninguno de los modelos obtenidos. Esto probablemente se deba a que, para todos los casos observados en estos ensayos, los valores de AUI fueron moderadamente altos y de baja variación entre ellos.

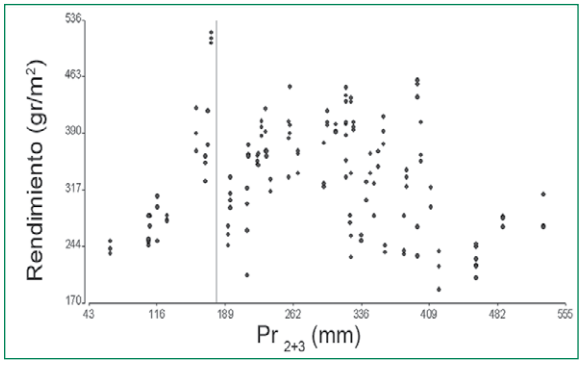


Figura 1. Relación entre rendimiento y precipitaciones en el período reproductivo.

Tabla 3. Rendimiento promedio para ambientes con Pr_{2+3} menores a 180 mm.

Pr_{2+3}	%Mdel	Rendimiento (kg/ha)	% de rinde máximo
Mayor	Menor	3925	100
Mayor	Mayor	3662	93
Menor	Mayor	2646	67

Tabla 4. Rendimiento promedio para ambientes con Pr2+3 mayores a 180 mm.

Ra3	MO	%Mdel	Rendimiento (kg/ha)	% de rinde máximo
Mayor	Mayor	Menor	3961	100
		Mayor	3879	98
Menor	Mayor	Menor	3651	92
		Mayor	2538	64
Mayor	Menor	Menor	3238	82
		Mayor	3235	82
Menor	Menor	Menor	2725	69
		Mayor	2573	65

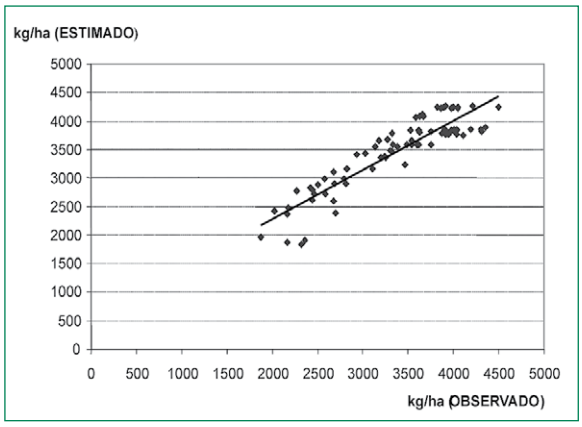


Figura 2. Rendimiento real vs. rendimiento predicho por el Modelo 2.

Bibliografía consultada

Bodrero M, J. Andriani, S. Bacigaluppo, G. Gerster, A. Quijano, J. Enrico, R. Martignone, 2004. Caracterización de ambientes para la producción de soja en sistemas de siembra directa en el Sur de Santa Fe. Para Mejorar la Producción N° 27, pág. 8-16. EEA INTA Oliveros.

Bodrero M., S. Bacigaluppo, J. Andriani, J. Capurro, D. Damen, J. Enrico, J. Felizia, O. Gentili, C. González, A. Manlla, A. Malmantile, J. Méndez, G. Prieto, J. Rossi, N. Trentino, 2004. Evaluación de cultivares de soja de los GM III al VI en siembras de primera en disitintos ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2003/04. Para Mejorar la Producción N° 27, INTA EEA Oliveros, 2004.

Bodrero M., S. Bacigaluppo, J. Andriani, J. Capurro, D. Damen, J. Enrico, J. Felizia, O. Gentili, C. González, S. Leguizamón, R. Massaro, J. Méndez, R. Pagani, G. Prieto, N. Trentino, 2003. Evaluación de cultivares de soja de los GM III al VI en siembras de primera en distintos ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2002/03. Para Mejorar la Producción N° 24, INTA EEA Oliveros, 2003.

Bodrero, M., S. Bacigaluppo; J. Andriani; J. Capurro; D. Damen; J. Felizia; A. Gelín; O. Gentili; C. González; A. Manlla; A. Malmantile; J. Méndez; G. Prieto; J. Rossi; N. Trentino. 2002. Evaluación de cultivares de soja de los GM III al VI en siembras de primera en distintos ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2001/02. Para Mejorar la Producción N° 21, INTA EEA Oliveros, 2002.

Dardanelli J.; M. Balzarini; M.J. Martínez; M. Cuniberti; S. Resnik; S.F. Ramunda; R. Herrero; H. Baigorri. 2006. Soybean Maturity Groups, Environments and their Interaction define Mega-environments for Seed Composition in Argentina. Crop Science, in press.

Fehr W.R y C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development, Ames, IA. Iowa State University. Special Report 80. 11 p.

Gerster, G.; A. Gargicevich; G. Cordone; C. González. 2002. Factores edáficos y prácticas culturales asociadas al rendimiento de soja. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, 2002.

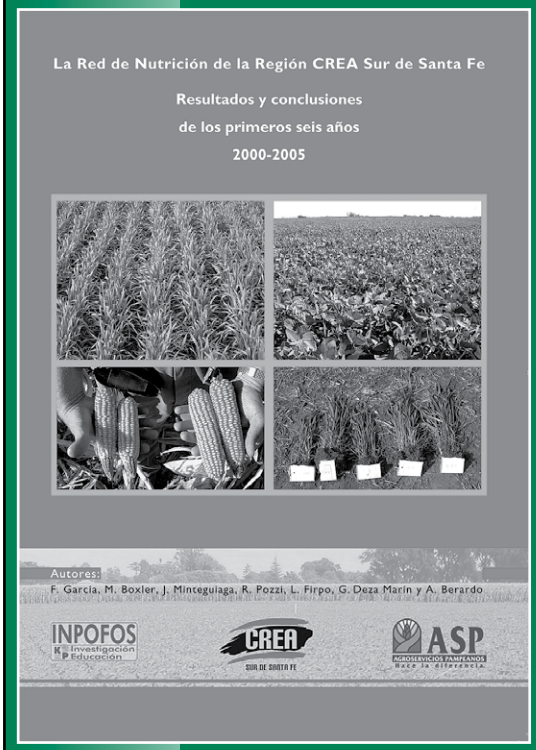
Gerster Guillermo. 2001. Incidencia del estado estructural del suelo sobre el rendimiento del cultivo de soja. Para Mejorar la Producción N° 18, pág 39-42. EEA INTA Oliveros.

InfoStat 2004. Universidad Nacional de Córdoba. Estadística y Diseño FCA www.infostat.com.ar.

RIAP. Red de Información Agroeconómica para la Región Pampeana, INTA. 2006. http//riap.inta.gov.ar

Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng y Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40: 597-605.

Nueva publicación



La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe
Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005

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

Los objetivos generales de la Red son:

- Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región
- Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada
- Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn)

- Costo de la publicación: $10 (diez pesos argentinos)
- Costo de envío: $4 (cuatro pesos argentinos)
- La publicación puede ser adquirida contactando a:
  IPNI-INPOFOS Cono Sur At. Sra. Laura Pisauri.
  Tel/Fax (54) 011 4798 9939 lpisauri@ipni.net

Comportamiento de la formulación líquida de fertilizantes en dos manejos de cultivo de tabaco

Marta Suarez y Adriana Ortega
EEA Salta-INTA. RN 68 km 172, Cerrillos-Salta. CC 228 (4400) Salta.
aortega@correo.inta.gov.ar

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

Introducción

El tabaco tipo Virginia es uno de los cultivos más importantes en la economía regional de las provincias de Salta y Jujuy. En el período 1994-2004, las exportaciones aumentaron un 259%, comercializando en 75 países el 74% del total. Este cultivo tiene una implicancia social muy grande; requiere unos 130 jornales ha^{-1}, que involucra 672 mil trabajadores rurales (Píccolo, 2004; Toncovich, 2005).

El tabaco en su estructura productiva tradicional es un monocultivo intensivo en insumos y mano de obra, con gran número de labores de suelo. La fertilización es anual con la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), distribuida en dos momentos: plantación o post plantación (fertilización de base- mezcla física o química de NPK) y a los 30 días (repique- nitrato de potasio) (Ullivarri, 1990).

Con el fin de promover la sustentabilidad de los sistemas productivos se ha propuesto la plantación directa de tabaco (PDT) (Arzeno, 2000). Ésta hace necesario replantear la tecnología de la aplicación de fertilizantes, entre los numerosos cambios a concretar en el sistema de producción conservacionista.

Los fertilizantes sólidos resultan ser de difícil aplicación para la PDT, por no poder remover la cama de plantación. Una de las propuestas tecnológicas a considerar es la utilización de fertilizantes líquidos (Ortega, 2004). El empleo de fertilizantes ha crecido sostenidamente en Argentina, con un mercado de 2.6 millones de toneladas (año 2005). En el noroeste (Catamarca, Santiago del Estero, Tucumán, Salta y Jujuy) se aplicó el 15% (20 mil toneladas) de los fertilizantes en formulaciones líquidas para la campaña considerada (Pérez Farhat, 2006).

El fertilizante líquido nitrogenado más difundido es el UAN (44% de N ureico, 33% amoniacal, 23% de N nítrico) (Melgar y Camozzi, 2002). El uso de urea como fuente nitrogenada en tabaco no es recomendado debido a su impredecible disponibilidad durante el ciclo del cultivo (Chateau y Fauconier, 1993). Según Pérez Farhat, Ballari (2005), y Amador y Díaz (2005) por entrevistas vertidas por productores y técnicos del valle, el uso de urea afectaría el grado de madurez, y provocaría una competencia del ion amonio en la absorción del K, quitándole calidad al tabaco, sin registrarse ningún trabajo que avale ésta afirmación.

En la Argentina se han realizado experiencias en trigo, ajo y tabaco que comparan formulaciones líquidas y sólidas, sin encontrar respuesta diferencial en la fertilización (Baumer, Devito y González, 1998; Lipinski, Gaviola y Nijensohn, 2000; y Amador y Díaz, 2005).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de fertilizantes líquidos y sólidos en plantación directa de tabaco y convencional, considerando cantidad y calidad de la producción.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en la EEA Salta de INTA (Lat. 24°54´ S- Long. 65°29´W- 1250 m) en el departamento de Cerrillos durante las campañas 2004-05 y 2005-06. Los suelos del sitio experimental son de la serie Cerrillos (Ustocrepts údico), de textura franca arenosa (56% arena, 34% limo, 9% arcilla), con pH 6.8, contenido de MO de 10 g kg^{-1}, CE 0,96 dS m^{-1} a 25°C, N total 0.6 g kg^{-1}, P extractable 13 ppm y K intercambiable 0.38 $cmol_c$. kg^{-1} en el horizonte Ap.

Se realizaron 4 ensayos en dos campañas consecutivas. Dos correspondieron a un sistema de plantación convencional (PC) y dos a uno de plantación directa (PDT) con cobertura vegetal seca de gramíneas, que llevaban cuatro años bajo este sistema.

El diseño experimental fue en bloques totalmente aleatorizados con 3- 4 repeticiones. Se evaluó el comportamiento de formulados líquidos versus sólidos con la dosis 124- 60- 121 unidades de N- P_2O_5- K_2O dentro de un ensayo de dosis de fertilización. Las parcelas fueron de 4 surcos de 10-15 m de longitud separados a 1.20 m donde se transplantó tabaco tipo virginia cultivar PVH 09 a 0.40 m entre plantas. La unidad experimental se constituyó por los 2 surcos centrales.

Para la formulación sólida se utilizaron fertilizantes mixtos tabacaleros (NPK), nitrato de amonio y nitrato de potasio. Para la formulación líquida se utilizaron UAN, polifosfato de amonio (11-37-0), tiosulfato de potasio (0-0-25-12 S) y nitrato de potasio (en solución).

El momento de aplicación en PC fue en post-stress de transplante (NPK) y repique (NK), y en PDT al transplante (N), post-stress de transplante (NPK) y repique (NK). La aplicación de la mezcla sólida en PDT se concretó con la utilización de un hoyador de tres puntas (diseñado para los ensayos). Cada planta recibió su dosis repartida en dos bocas al costado del

plantín. La mezcla líquida se aplicó en banda lateral. La aplicación de la mezcla sólida y líquida en PC fue a chorrillo, con localización en banda lateral tapada.

Las variables que se evaluaron en los dos manejos de cultivo (PC y PDT) y en las dos campañas (C1=2004/05 y C2=2005/06), fueron: peso seco (PSTPL) y húmedo (PHTPL) total de plantas en floración, contenidos de nitrógeno (NHOJ), fósforo (PHOJ) y potasio (KHON) en hojas del muestreo foliar (hoja recientemente desarrollada en prefloración-predesflore), contenidos de azúcar y nicotina en hoja estufada, rendimiento económico ($ ha) y físico (kg/ha), grade index (GRAIND=[$ ha/KG/HA/precio de la mejor clase]*100).

El análisis estadístico se centró en el examen exploratorio de datos y residuales, varianza de las variables estudiadas y contrastes ortogonales de formulaciones sólidas versus líquidas (sol vs liq) mediante el uso del software Infostat (2004). Se realizó el estudio de los supuestos con el análisis de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks para todas las variables consideradas y para realizar las transformaciones de las variables que las necesitaban por ser no normales, se les aplicó la prueba de Friedman-Fr. Para evaluar la respuesta a la fertilización en ambos sistemas de plantación se realizó una prueba de T.

Resultados y discusión

Se realizó el análisis estadístico de las variables estudiadas y se observó que en las dos campañas y en los dos manejos de cultivo no hubo diferencias significativas (*P*>0.10) entre la formulación líquida y sólida (Tablas 1 y 2), salvo el contenido de PHOJ en PC (*P*=0.048) de la C2 que tuvo un comportamiento diferencial (Fig 1).

La respuesta a la fertilización entre PDT y PC tuvo diferencias significativas en las variables analizadas (Tabla 3). En PDT, en general, se observaron mayores coeficientes de variación (CV) y menores valores de medias que se deberían a una mayor heterogeneidad entre plantas y una menor población de las mismas que en PC. PHOJ, en general, mostró menor consistencia que las otras variables y en la C1 en PC se la excluyó del análisis estadístico.

Los contenidos de nicotina y azúcares reductores, para PDT y PC, fueron normales y el N en exceso (Hawks y Collins, 1986). En el ensayo existió un factor

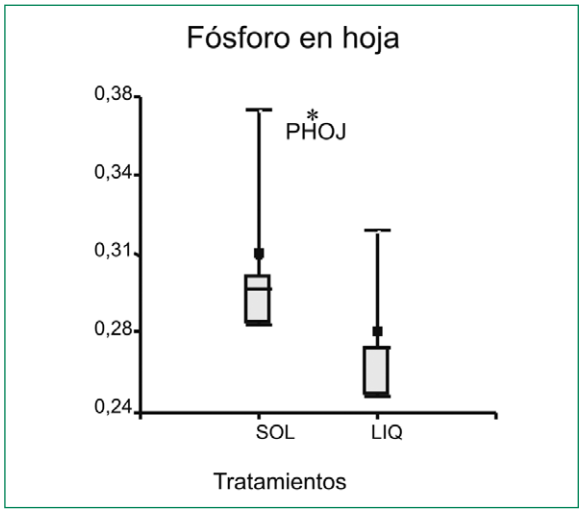


Figura 1. Variable estadística PHOJ en preparación convencional de la cosecha 2005/06.

Tabla 1. Variables observadas, resultados del análisis de varianza y contrastes en PC.

Variable	Campaña	Unidades	Media	Desvío Estándar	C.V. (%)	Pr>F	Contraste sol vs. liq
kg/ha	C1	kg ha^{-1}	1781	372	23.2	0.15	0.730
	C2		2325	492	23.1	0.42	0.286
$ ha	C1	$ ha^{-1}	6342	1289	23.2	0.11	0.760
	C2		6226	1218	26.3	0.90	0.579
GRAIND	C1	%	62.97	1.45	3.21	0.21	0.096
	C2		49.49	3.72	8.26	0.39	0.755
PSTPL	C1	g pl^{-1}	-	-	-	-	-
	C2		235	41	14.2	0.53	0.705
PHTPL	C1	g pl^{-1}	-	-	-	-	-
	C2		1664	258	15.1	0.85	0.615
Azúcar	C1	%	-	-	-	-	-
	C2		14.42	3.72	26.9	0.35	0.147
Nicotina	C1	%	-	-	-	-	-
	C2		3.58	0.49	13.5	0.46	0.220
NHOJ	C1	%	4.80	0.58	12.5	0.74	0.742
	C2		4.07	0.36	5.7	0.03	0.560
PHOJ	C1	%	0.26	0.07	30.6	0.89	>0.999
	C2		0.28	0.03	7.6	0.02	0.048*
KHOJ	C1	%	3.25	0.22	7.4	0.92	0.587
	C2		2.84	0.15	5.2	<0.01	0.113

confundido (aplicación de urea) con la aplicación de los tratamientos (formulación líquida) que implicaría la no influencia de la fuente nitrogenada aplicada, en coincidencia con Amador y Díaz (2005). En cuanto a la interacción ambiente-dosis-fuente nitrogenada no podemos hacer ningún juicio de valor para la predecibilidad de N para las plantas, aunque en estas campañas no hayan tenido influencia (Chateau y Facounier, 1993). Se observa en los diferentes manejos de cultivo la relación planteada por Ballari (2005) y Chateu y Facounier (1993) de que a mayor contenido nitrogenado, mayor contenido de nicotina y menor contenido de azúcares y su relación inversa.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración en la realización de los ensayos y el manejo de datos a Ing. Agr. Carolina Sánchez, Agr. Gregorio Viñabal y a los alumnos de agronomía de la FCN-UNSa: Fernando Ledesma, Elbio Nicolás Aguirre Cabrera, Lilia Mercedes Torfe y Verónica Castillo; y a la COPROTAB Salta y Fertinorte y Ing. Agr. Walter C. Perez Farhat (Asesor Técnico Petrobras Pasa Fertilizantes-Zona NOA).

Bibliografía

Amador, C. y J. Díaz. 2005. Uso de fertilizante líquido Pasa en tabaco. Informe de Finca experimental la Posta, Cámara del Tabaco de Jujuy. Perico, Jujuy. 4 pp.

Arzeno 2000. Plantación directa de tabaco. Informe de Experiencias en EEA Salta.

Baumer, C.; C. Devito y N. González. 1998. fertilizantes fluidos: Siembra de trigo en directa. EEA Pergamino INTA. R. Fertilizar. N° 10: 22-23.

Ballari, M.H. 2005. Tabaco Virginia: Aspectos ecofisiológicos de la nutrición en condiciones de cultivo. Ed Alejandro Graziani S.A. Córdoba. Argentina. 223 pp.

Chouteau, J. y D. Fauconier. 1993. Fertilizando para alta calidad y Rendimiento: Tabaco. Instituto Internacional de la Potasa. CH- 4001 Basilea/ Suiza. 58 pp.

Hawks, S.N. y W.K. Collins. 1986. Tabaco flue- cured. Principios básicos de su cultivo y curado. Ed Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Madrid. España.

Lipinski, V.M., S. Gaviola y L. Nijensohn. 2000. Método de diagnóstico rápido de nitratos en ajo para el manejo de la fertigación. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.

Melgar, R. y M.E. Camozzi. 2002. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. 2da. Ed. INTA. 260 pp.

Ortega, A. 2006. Propuestas de fertilización en tabaco en diferentes manejos de cultivo en EEA Salta. Proyecto Regional Salta y Jujuy de Valles Templados.

Pérez Farhat, W.C. 2006. Comunicación personal.

Píccolo, M.A. 2004. Producción y Comercialización Mundial y Nacional de Tabaco. Trabajo de Divulgación en la Página Web del INTA EEA Salta, visita a la página Mayo 2006.

Toncovich, M.E. 2005. Documento programático estratégico: Tabaco del PE Cultivos industriales. EEA INTA Cerrillos. Salta.

Fernández de Ullivarri, D. 1990. Manual 1: El cultivo de los tabacos claros. EEA INTA Cerrillos. Salta. 78 pp.

Tabla 2. Variables observadas, análisis de varianza y contrastes en PDT.

Variable	Campaña	Unidades	Media	Desvío Estándar	C.V. (%)	Pr>F	Contrastesol vs. liq
kg/ha	C1	kg ha^{-1}	1475	229	15.5	0.56	0.139
	C2		1120	378	33.9	0.27	0.929
$ ha	C1	$ ha^{-1}	5600	894	16.3	0.59	0.150
	C2		2627	909	34.6	0.32	0.840
GRAIND	C1	%	65.8	1.9	3.9	0.56	0.947
	C2		63	2.3	3.6	0.20	0.194
PSTPL	C1	g pl^{-1}	-	-	-	-	-
	C2		83	32	42.7	0.60	0.947
PHTPL	C1	g pl^{-1}	-	-	-	-	-
	C2		645	185	34.2	0.14	0.452
Azúcar	C1	%	-	-	-	-	-
	C2		23.59	3.97	17.5	0.40	(Fr) 0.396
Nicotina	C1	%	-	-	-	-	-
	C2		2.38	0.37	19.8	0.13	0.794
NHOJ	C1	%	2.97	0.56	20.1	0.80	(Fr) 0.267
	C2		2.71	0.33	11.3	0.16	0.745
PHOJ	C1	%	-	-	-	-	-
	C2		0.31	0.02	7.5	0.87	0.498
KHOJ	C1	%	2.78	0.26	11.2	0.82	0.434
	C2		2.95	0.11	4.6	0.16	0.602

Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad de tubérculos en papa para industria

Lucas Suárez [1]; Claudia Giletto[1]; Jorge Rattín[1]; Hernán Echeverría[1] y Daniel Caldiz [2]
[1]Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. UNMdP.
[2]División Agronomía, McCain Argentina SA. Ruta 226 km 73,5. CC 276 (B7620EMA)
Balcarce, Buenos Aires. Argentina.
fisicabalc@balcarce.inta.gov.ar

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

Introducción

El cultivo de papa requiere cantidades significativas de nutrientes para obtener elevados rendimientos. Sin embargo, es necesario realizar un manejo racional de la fertilización para maximizar el rendimiento, obtener tubérculos de calidad y no producir efectos adversos en el ambiente (Echeverría, 2005). El nitrógeno (N) es el nutriente que más afecta el rendimiento y la calidad de los tubérculos. Elevadas dosis de N, retrasan el inicio de la tuberización y promueven el crecimiento del follaje, pero reducen el rendimiento afectando la calidad al disminuir el porcentaje de materia seca de los tubérculos (MS) (Millard y Marshall, 1986; Porter, y Sisson, 1991; Saluzzo *et al*, 1999; Giletto, et al, 2003; Love et al, 2005). La MS es un factor determinante a la hora de comercializar los tubérculos con destino industrial y es una variable que depende del cultivar, de los factores ambientales y del manejo del cultivo. En líneas generales, los cultivares de ciclo corto poseen menos MS que los de ciclo largo (Caldiz, 2001). Ojala y col. (1990) y Giletto y col. (2003) establecieron que la MS disminuyó con el aumento del nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) en los tubérculos. Cieslik (1997) determinó que elevadas concentraciones de $N\text{-}NO_3^-$ en los tubérculos afectaron negativamente a las propiedades organolépticas. A fin de mejorar el manejo del cultivo, en este trabajo se evalúa el efecto del N sobre el rendimiento y la calidad de los tubérculos en dos cultivares de papa para industria (Innovator y Russet Burbank) muy empleados en el sudeste bonaerense.

Materiales y Métodos

Los ensayos se realizaron en el campo experimental de Mc Cain Argentina, ubicado en Balcarce (37° 45´ S; 58° 18´ W, 130 msnm), provincia de Buenos Aires, durante el 2003-2004. Se evaluaron los cultivares Innovator (INN) (130 días) y Russet Burbank (RB) (140 días). El diseño experimental para cada cultivar fue en bloques completamente aleatorizado (BCA) con tres repeticiones y cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada (N): T1: 31 kg ha^{-1}; T2: 106 kg ha^{-1}; T3: 180 kg ha^{-1} y T4: 200 kg ha^{-1}. A la madurez del cultivo (139 DDP) se realizaron estimaciones del rendimiento. Se determinó la MS (%) por el método gravimétrico, la concentración de $N\text{-}NO_3^-$ (g L^{-1}) medido en jugo con el colorímetro Nitracheck, N reducido por el método de Kjeldhal (N) (%) (Nelson y Sommers, 1973) y se calculó la cantidad de N acumulado en los tubérculos (Ntub). Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa Statiscal Analysis Systems (SAS) (SAS, Institute, 1985) y las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de comparación de medias LSD ($p<0,05$). Se asoció la dosis de N con el rendimiento de tubérculos, el Ntub, la MS y la concentración de $N\text{-}NO_3^-$. Se relacionó la MS en los tubérculos con la concentración de $N\text{-}NO_3^-$ y de N.

Resultados y Discusión

El mayor rendimiento en INN se determinó en T3 y T4 (59,4 y 61 Mg ha^{-1}; respectivamente) y en RB en T2 y T3 (59,4 Mg ha^{-1} y 57,0 Mg ha^{-1}; respectivamente) (Fig 1). Al relacionar la dosis de N con el Ntub, se determinó en cada cultivar similar tendencia a la descripta para rendimiento. En INN, el mayor Ntub se estableció con las dosis más elevadas de N (146 kg ha^{-1} como promedio de T3 y T4), y en RB con la intermedia (138 kg ha^{-1} en T2). Estos resultados indican que los cultivares respondieron de manera diferente a la fertilización, siendo INN el de mayor requerimiento y respuesta al agregado de N.

La MS en los tubérculos disminuyó con la dosis de N, siendo en RB más marcada esta disminución (Fig 2). INN de ciclo más corto, presentó valores de MS ligeramente inferiores de los de RB, coincidiendo con lo señalado por Caldiz (2001). Pero en ambos cultivares, los valores de MS fueron superiores al umbral de recibo de 18% establecido por la industria (Caldíz y Gaspari, 1997). La concentración de $N\text{-}NO_3^-$ en los tubérculos aumentó con la dosis de N, siendo más evidente el incremento en INN (Fig 2).

La MS en ambos cultivares disminuyó con el au-

mento de la concentración de N-NO_3^- y de N en los tubérculos (Fig 3). En RB, la MS fue más susceptible a disminuir su valor al aumentar la concentración de N-NO_3^-, resultados que coinciden con los determinados al relacionar la MS con la dosis de N (Figura 2). Esto resultados confirman que RB sería más sensible que INN a la aplicación de dosis de N superiores a la requerida para determinar el mayor rendimiento de tubérculos.

La información obtenida demuestra que los cultivares tuvieron diferente respuesta a la fertilización en rendimiento y calidad. INN tendría mayor requerimiento de N que RB para obtener elevados rendimientos. La MS fue superior en RB, pero la calidad de los tubérculos de este cultivar estuvo más comprometida que en INN ante elevadas dosis de N. Esto es debido a que en RB, la MS disminuyó más pronunciadamente que en INN al aumentar la dosis de N y la concentración de N-NO_3^- y de N.

Bibliografía consultada

Caldiz, D. O. & Gaspari, F. J. 1997. Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*) con especial referencia a la situación Argentina. Rev. Fac. Agr. La Plata. 102: 203-229.

Caldiz, D. O. 2001. Producción de papa en la Argentina. Estrategias para aumentar el rendimiento y la calidad. Editor Daniel Caldiz. Gráfica Lifra S. A. La Plata, Argentina. 109 p.

Cieslik, E. 1997. Effect of the levels of nitrates and nitrites on the nutritional and sensory quality of potato tubers. Hygiene and Nutrition in Foodservice and Catering. 1: 225-230.

Echeverría, H. E. 2005. Papa. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Pp: 365-378.

Giletto, C. M. 2002. Comparación de métodos para evaluar la nutrición nitrogenada en papa. Tesis presentada como requisito para optar por el grado de Magister Scientiae en el programa de Postgrado en Producción Vegetal. Fac. Ciencias Agrairas. UNMP. 74 pp.

Love, S. L.; Stark, J. C. & Saliz, T. 2005. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. Am J of Potato Research. (www.findarticles.com)

Millard, P. & Marshall, B. 1986. Growth, nitrogen uptake and partitioning within the potato (*Solanum tuberosum* L.) crop, in relation to nitrogen application. J. Agric. Sci. Camb. 107:421-429.

Ojala, J. C.; Stark, J. C. & Kleinkopf, G. E. 1990. Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. Am. Potato J. 67:29-43.

Porter, G. A. & Sisson, J. A. 1991. Petiole nitrate content of main grown Russet Burbank and Shepody potatoes in response to varying nitrogen rate. Am. Potato J. 68: 493-505.

Saluzzo, A.; Echeverría, H.; Andrade, F. H. & Huarte, M. 1999. Nitrogen nutrition of potato cultivars differing in maturity. J. Agronomy & Crop Science. 183: 157 – 165.

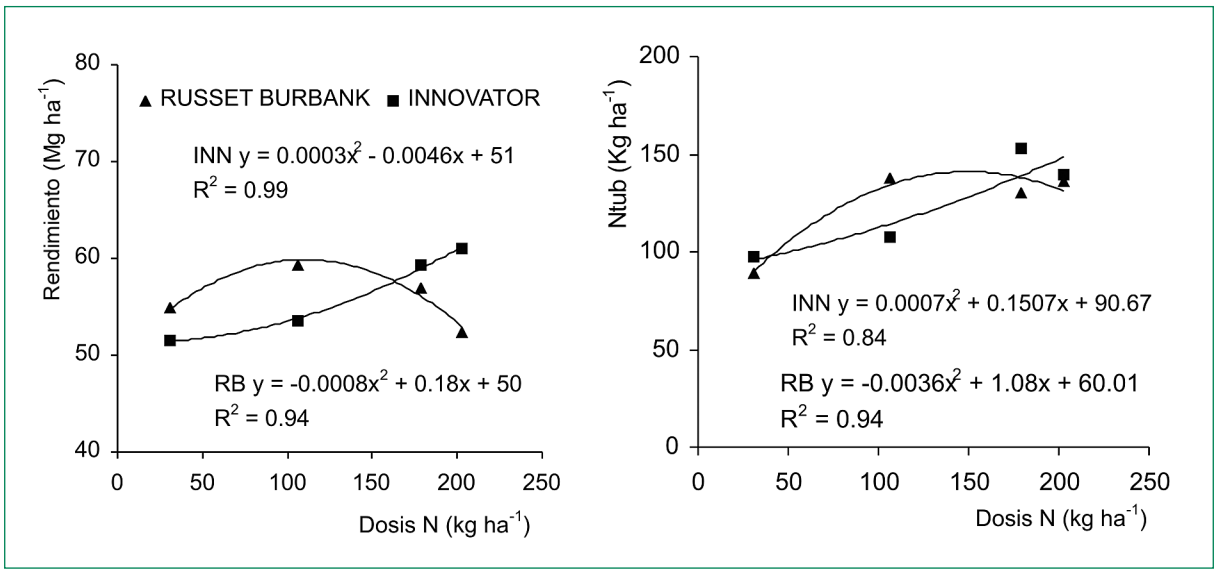


Figura 1. Rendimiento (Mg ha^{-1}) y N acumulado en los tubérculos (Ntub) (kg ha^{-1}) en función a la dosis de N (kg ha^{-1}) en Russet Burbank (RB) e Innovator (INN).

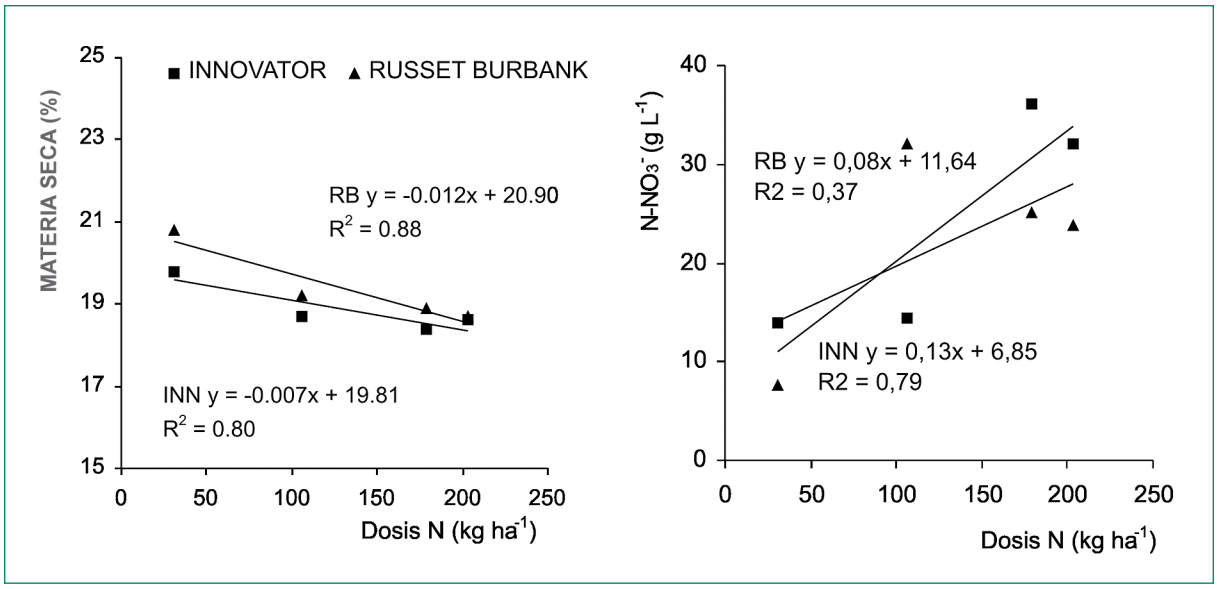


Figura 2. Materia seca en los tubérculos (MS) (%) y concentración de nitratos ($N\text{-}NO_3^-$) ($g\ L^{-1}$) en función a la dosis de N ($kg\ ha^{-1}$) en Russet Burbank (RB) e Innovator (INN).

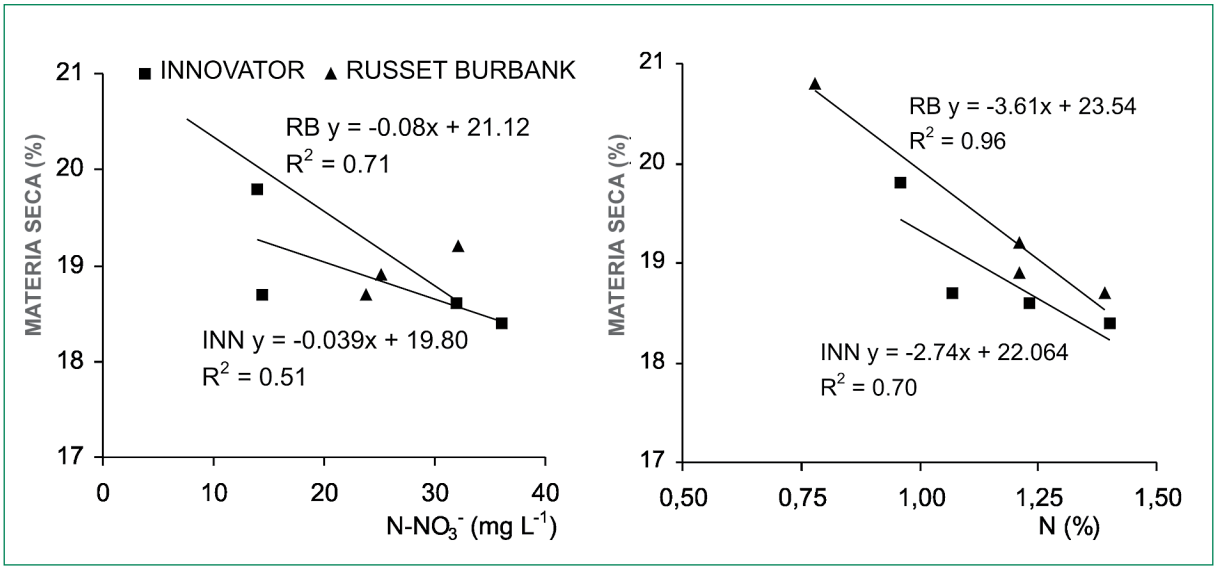


Figura 3. Materia seca en los tubérculos (MS) (%) en función de la concentración de nitratos ($N\text{-}NO_3^-$) ($g\ L^{-1}$) y de N (%) en Russet Burbank (RB) e Innovator (INN).

A partir del 1 de Enero de 2007 ...

INPOFOS
KP Investigación
Educación

será

IPNI
International
Plant Nutrition
Institute

Visítenos en: www.ipni.net

Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siempra directa

Pablo Richmond y Sergio Rillo
INTA EEA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina
a9julio@internueve.com.ar

Introducción

Se define a la compactación como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración.

Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo.

Bacigaluppo y Gerster (2003), comparando sectores con y sin huella de maquinarias, trabajando en suelos argiudoles, encontraron diferencias en la densidad aparente hasta una profundidad de 31 cm. Estas diferencias se mantuvieron presentes al segundo año de evaluación.

Este fenómeno tiene implicancias directas e indirectas sobre el desarrollo de los cultivos, afectando principalmente el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta. Altera la capacidad de infiltración de agua, su redistribución en el perfil del suelo, la aireación, la transferencia de calor y el movimiento de nutrientes. La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos (Gil et al., 1993). Bacigaluppo y Gerster (2003), encontraron en el sector densificado por tránsito una marcada disminución en la disponibilidad de nitratos en el horizonte superficial, menores valores de conductividad hidráulica, y menor desarrollo radicular en profundidad.

Los suelos pueden, en mayor o menor medida, y de acuerdo a sus características, recuperar su forma estructural a través de procesos naturales luego de sufrir un disturbio, como puede ser una compactación por un rodado o por pisoteo animal. La presencia de una alta proporción de limo (partículas de 0,002 - 0,05 mm) como poseen muchos suelos del área pampeana, no sólo atenta severamente contra la estabilidad estructural (son suelos frágiles o poco estables), sino que difícilmente logren la restauración natural a partir del momento que se redujeron o eliminaron los disturbios externos.

El principal efecto que ejercen las fuerzas de compresión sobre el suelo es el cambio en la porosidad, especialmente una variación en la distribución del tamaño de poros. A medida que las fuerzas de compresión aumentan, los poros más grandes colapsan. En otras palabras, un incremento en la densidad del suelo implica una reducción del espacio poroso, especialmente de los poros de gran tamaño.

Dada la relación directa que tiene la macro-porosidad con el crecimiento de las raíces, es importante considerar el volumen total ocupado por macro-poros que superan los 0,1 mm. de diámetro. A medida que disminuye el volumen de poros que superan este diámetro, se afecta el desarrollo de las raíces del cultivo. Se asume que una resistencia de 20 kg/cm^2 para suelos a capacidad de campo, luego de 48 – 72 horas de la última lluvia, resulta crítico para el crecimiento de las raíces de los principales cultivos (Gil et al., 1993).

La compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea.

El tamaño de poros también afecta la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en el suelo. La capacidad de almacenamiento de agua disponible para el uso del cultivo, está comprendido en un volumen de poros de diámetros entre 0,2 y 30 micras (poros capilares).

En resumen, la compactación del suelo provoca una reducción del tamaño de poros y ocasiona una gran disminución del volumen de agua que pasa a través de ellos. Este concepto también explica por qué la compactación de un suelo afecta la velocidad de infiltración y el movimiento de agua y nutrientes hacia las raíces. Otro aspecto directamente relacionado con la porosidad y distribución del tamaño de poros es la capacidad de aireación del suelo, que también se ve afectada.

En base a los conceptos enunciados se deduce que los suelos compactados son menos productivos. Sin embargo, la relación entre la compactación del suelo y los rendimientos no siempre es directa, debido a que interactúan una serie de factores, como el tipo de suelo, agua, aire y nutrientes en forma conjunta en los diferentes estadios de crecimiento de la planta. En general se estima que las pérdidas de rendimiento causadas por la compactación pueden superar el 10 - 20%.

En la agricultura moderna se ha difundido el empleo

de tractores, cosechadoras, acoplados con tolva y otras maquinarias de gran peso y tamaño.

Años atrás, cuando se utilizaban maquinarias más livianas, la compactación existía en los niveles superficiales del suelo. Con el uso de equipos grandes fue alcanzando niveles más profundos.

La compactación de los estratos superficiales está causada por la presión específica (que está estrechamente correlacionada con la presión de inflado de las cubiertas), mientras que la compactación de los estratos más profundos (a más de 30-50 cm), está determinada solamente por la acumulación total de la carga, independientemente de la extensión de la superficie en la que se distribuye la misma (Smith H. y Dickson L., 1990, citado por Jorajuria et al., 2000).

El uso de tractores con tracción en las cuatro ruedas también incide en el fenómeno de compactación. La tracción extra de estos tractores les ofrece la posibilidad de trasladarse en terrenos con exceso de humedad, aumentando la densificación del suelo.

En base a estos antecedentes, la AER INTA 9 de Julio decidió iniciar un ensayo para cuantificar el efecto de la compactación del suelo por rodados a lo largo de dos campañas agrícolas. Para el primer año el objetivo fue evaluar el efecto de la compactación producida por rodados sobre algunas propiedades físicas del suelo, el contenido de humedad y el rendimiento del cultivo de trigo en un sistema de siembra directa (SD).

Materiales y Métodos

El ensayo se desarrolló en la Escuela MC y ML Inchausti, localizada en cercanías de Valdez, partido de 25 de Mayo. Los suelos se clasificaron como Hapludoles énticos, serie Norumbega. El análisis de fertilidad del suelo, que viene siendo manejado en SD desde hace 5 años arrojó el resultado que se muestra en la Tabla 1.

Se sembró trigo en siembra directa el día 20 de junio de 2005 utilizando la variedad Klein Sagitario. El cultivo fue fertilizado con 100 kg/ha de fosfato diamónico en la línea de siembra, más una mezcla de 150 kg/ha de urea y 20 kg/ha de sulfato de amonio al voleo en post-emergencia temprana.

Se evaluaron dos tratamientos: suelo con huella (SDCH) y testigo sin huella (SDSH). Para ello se identificaron huellas de rodado producidas durante la cosecha de soja que antecedió al trigo para su evaluación. El testigo fue el suelo sin huella visible en ese momento. Cada tratamiento se evaluó sobre tres repeticiones, cada una compuesta de una hilera de 5 metros de longitud sobre distintas huellas. Luego de la siembra de trigo se realizaron las siguientes mediciones:

- Densidad aparente por el método del cilindro a 0-20 y 20-40 cm de profundidad.
- Resistencia a la penetración del suelo hasta los 50 cm.
- Contenido de humedad en el suelo a 0-20 y 20-40 cm.

Para la evaluación de la resistencia se utilizó un penetrómetro de impacto. Para transformar el número de impactos en resistencia a la penetración se utilizó la siguiente fórmula:

$$R: k \cdot n$$

Donde:

R: resistencia a la penetración cada 5 cm de espesor de suelo.

k: constante del penetrómetro (propia del equipo). En nuestro caso 2,5 kg/cm^2.

n: número de impactos cada 5 cm de penetración.

A la cosecha del trigo se evaluó el rendimiento y componentes del rendimiento para ambas situaciones.

Resultados y Discusión

A- Efectos sobre el suelo

La figura 1 representa los perfiles medidos en profundidad para la resistencia a la penetración.

La Tabla 2 muestra las medias de resistencia a la penetración medidas y el resultado del análisis estadístico dentro de cada tratamiento. En la última columna se expresa la diferencia porcentual para ambas situaciones y para una misma profundidad.

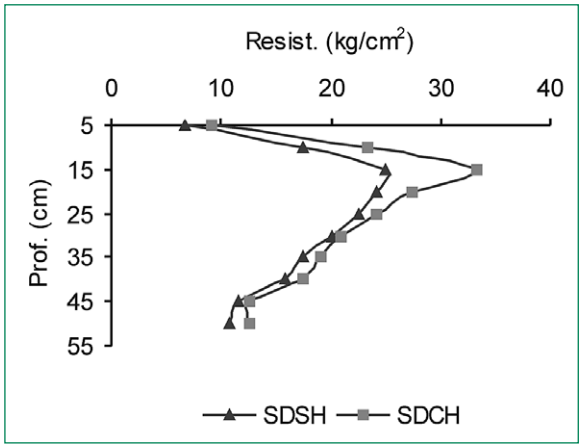


Figura 1. Resistencia a la penetración

Tabla 1. Análisis de fertilidad.

M.O (%)	pH	Nt (%)	P	S-SO_4	K	Mg	Ca	N-NO_3 ppm	Zn	Mn	Cu	Fe	B
2,30	5,5	0,115	6,1	9,8	352	100	853	7,7	0,98	13,8	0,53	59,4	0,78

El mayor efecto de la compactación sobre el suelo se da en el estrato superficial. Si consideramos la diferencia de resistencia en porcentaje para cada situación y para cada profundidad, en superficie la misma alcanza el 37% y entre 5 y 15 cm un 33%.

Se observa que se superan los 20 kg/cm², valor citado por la bibliografía para el inicio de dificultades para el correcto desarrollo del sistema radicular hasta una profundidad aproximada de 30 cm.

En la Tabla 3 se observa que la densidad aparente resulta estadísticamente diferente entre las dos situaciones a las dos profundidades, siendo mayor en la huella. El contenido de humedad gravimétrica presentó diferencias entre las dos situaciones. La misma se atribuye a la menor capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua en el suelo compactado. No obstante, si transformamos este contenido de humedad en lámina de agua acumulada, las diferencias desaparecen para ambas situaciones y profundidades.

B- Efectos sobre el cultivo

Las Tablas 4 y 5 muestran para cada tratamiento los valores de biomasa producida, índice de cosecha (IC), rendimiento y sus componentes.

A partir de los datos presentados en las tablas 4 y 5 se observan los componentes de la formación del rendimiento del cultivo que fueron afectados por la compactación del suelo. El tratamiento SDCH tuvo un rendimiento menor en 21,9% en comparación a SDSH y deprimió su producción de biomasa en un 27,9%. El tratamiento SDSH alcanzó un mayor número de granos por metro cuadrado, principal determinante del rendimiento, a través del número de espigas por metro cuadrado, ya que el número de granos por espiga no arrojó diferencias. Una buena producción de biomasa tuvo oportunidad de traslocar a un alto número de destinos.

En la Figura 2 se representa la ecuación de regresión

Tabla 2. Valores de resistencia a la penetración.

Profundidad	SDCH (kg/cm²)	SDSH (kg/cm²)	Dif (%)
0-5	9,16 h	6,67 f	37,3
5-10	23,33 c d	17,50 c d	33,3
10-15	33,33 a	25,00 a	33,3
15-20	27,50 b	24,17 a	13,8
20-25	24,17 c	22,50 a b	7,4
25-30	20,83 d e	20 b c	4,2
30-35	19,17 e f	17,50 c d	9,5
35-40	17,50 f	15,83 d	10,5
40-45	12,50 g	11,67 e	7,1
45-50	12,33 g	10,83 e	13,9

p: 0,000 C.V: 8,76 % DMS: 3,00 kg/cm² *p: 0,000 C.V: 12,97 % DMS: 3,82 kg/cm²*

Letras distintas indican diferencias significativas.

Tabla 3. Densidad aparente y contenido de humedad gravimétrica a dos profundidades (0 -20 y 20-40 cm).

Tratamiento	Profundidad (cm)	Humedad (%)	Densidad Aparente (g/cm³)	Lámina (mm)
SDSH	0-20	23.30 a b	1.12 b	52 a
SDSH	20-40	24.40 a	1.13 b	55 a
SDCH	0-20	20.67 c	1.31 a	54 a
SDCH	20-40	22.20 b c	1.29 a	57 a
	p: 0,013	*p: 0,021*	*p: 0,475*	
	C.V: 4,13%	*C.V: 5,44%*	*C.V: 6,25%*	
	DMS: 1,868 %	*DMS: 0,132 g/cm³*	*DMS: 6,823 mm*	

Tabla 4. Pesos de biomasa, índices de cosecha y rendimientos:

Tratamiento	Peso biomasa(kg/ha)	I.C (%)	Rendimiento(kg/ha)
SDSH	17.183 a	38,2 a	6.564 a
SDCH	13.269 b	38,6 a	5.124 b
	p: 0.032	*p: 0,414*	*p: 0,031*
	CV: 9,55%	*CV: 2,75%*	*CV: 10,07%*
	DMS: 68,64	*DMS: 2,339*	*DMS: 1308*

entre rendimiento del cultivo y resistencia a la penetración del suelo para el sistema evaluado. La resistencia explica en un 48,22% la variación del rendimiento del cultivo, produciéndose por cada kg/cm^2 de aumento de la resistencia una disminución de 241 kg/ha en el rendimiento.

Conclusiones:

- La resistencia a la penetración fue mayor en el tratamiento con huella en los primeros centímetros de suelo.
- La densidad aparente fue mayor en la huella que en el testigo.
- No se encontró diferencia significativa en la lámina de agua acumulada hasta los 40 cm de profundidad entre los dos tratamientos.
- El rendimiento del cultivo de trigo fue mayor en 21,9 % en el tratamiento sin huella. Esta diferencia de rendimiento se basó en una mayor producción de biomasa y número de espigas por unidad de superficie logradas.
- Los resultados presentados corresponden al primer año de trabajo. En la temporada 2006-07 se instalará otro sitio en trigo y se continuará evaluando el sitio experimental en este ensayo, lote que se destinará al cultivo de maíz, para cuantificar el efecto de la compactación por rodado en el tiempo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades y personal de la Escuela MC. y ML. Inchausti su colaboración para la concreción del ensayo.

Bibliografía consultada

Gil R.; M. Bragachini; R. Bongiovanni; L. Bonetto. 1993. Capítulo de compactación del suelo de la obra "Sistemas de Traslado de Equipos de Cosecha para reducir la Compactación". Proyecto PROPECO, p 9-39.

Bacigaluppo S., G. Gerster. 2003. Impacto de densificaciones por tránsito en planteos de siembra directa continua. Publicado en página web INTA Oliveros (www.inta.gov.ar)

Gerster G.; S. Bacigaluppo. 2003. Efecto del tránsito en húmedo sobre el suelo y los cultivos en sistemas de siembra directa. Publicado en página web INTA Oliveros (www.inta.gov.ar)

Jorajuria D.; L. Draghi. 2000. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: Influencia diferencial del peso y del número de pasadas. Revista Brasileira de Engenhería Agrícola e Ambiental. Campinha Grande, Vol. 4 N° 3 pág: 445-452.

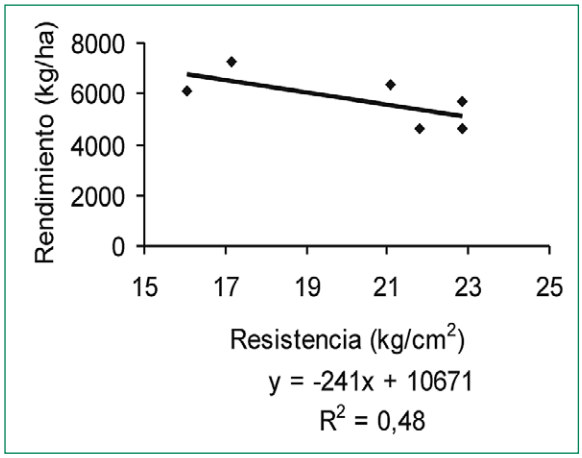


Figura 2. Relación rendimiento – resistencia a la penetración (0 – 35 cm).

Tabla 5. Componentes del rendimiento.

Tratamiento	Espigas/m^2	Espiguillas/esp	Gr/espiguilla	Gr/espiga	Gr/m^2	P1000
SDSH	511a	18,45a	1,78 b	32,93 a	16827a	39,01a
SDCH	385 b	17,85 b	1,93 a	34,48 a	13275 b	38,6 a
	p:0,0100	*p: 0,0372*	*p: 0,0251*	*p: 0,3194*	*p: 0,0268*	*p: 0,5831*
	CV: 6,81	*CV: 1,31*	*CV: 2,65*	*CV: 4,29*	*CV: 8,18*	*CV: 2,45*
	DMS: 68,663	*DMS: 0,5351*	*DMS: 0,1106*	*DMS: 5,0765*	*DMS: 2769,3*	*DMS: 2,1406*

Suscripción

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas para el Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:
INPOFOS Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina
Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: lpisauri@inpofos.org
Nombre y Apellido: .....
Institución o Empresa: .....
Principal Actividad: .....
Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....
Localidad: ..... Provincia: .....
E-mail: ..... Teléfono: .....
¡MUCHAS GRACIAS!

Publicaciones de INPOFOS

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal

Titulo de la Publicación	Costo U$S	Costo $ argentinos
NUEVO La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3.5	10
Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de INPOFOS, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de la fertilización para numerosos cultivos.	14	40
Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	20	60
Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	4	12
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	10	30
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5	15
Como se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	8	25
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	5	15
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.5	7.5
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.5	7.5
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.5	7.5
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	15	45
Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Recopilación de conferencias presentadas en cursos de la especialidad por el Dr. Larry Nelson, publicada por la oficina de INPOFOS del Norte de Latinoamérica.	6	18
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5	15
Nutrición de la Caña de Azúcar. Guía completa para la identificación y corrección de desordenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar.	8	24
Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	20	60
Balance para el éxito. Trifolios con información de manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón.	0.50 c/u	1.5 c/u
Nutri-Verdades. Trifolios que describen las necesidades de nutrientes y el manejo de la fertilización de cultivos. Disponibles: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Magnesio, Calcio/pH, Boro, Zinc, Manganeso, Cobre, Hierro, Otros micronutrientes.	0.50 c/u	1.5 c/u

Publicaciones de reciente aparición

Esta sección presenta información sobre publicaciones regionales de reciente aparición.

Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos
Coordinador: Roberto Alvarez. 2006.
Información: Editorial Facultad de Agronomía - UBA
Av. San Martín 4453 – (1417) Bs. As. efa@agro.uba.ar

Minerales para la agricultura en Latinoamérica
Editores: Hugo Nelson y Roberto Sarudiansky. 2006.
Información: sarudi@fibertel.com.ar
rmelgar@bbt11.com.ar

Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes
Autores: Ricardo Melgar y Martín Torres Duggan. 2006.
Información: Editorial Hemisferio Sur. Libreria Agropecuaria.
Pasteur 743, Buenos Aires, Argentina.
rmelgar@bbt11.com.ar

El arroz: Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos
Director de obra: René Benavidez. 2006.
Información: Editorial de la UNER - Ediciones UNL.
www.unl.edu.ar/editorial

Congresos, Cursos y Simposios

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

V Reunión de Producción Vegetal y III Reunión de Producción Animal del NOA
Lugar y fecha: Facultad de Agronomía y Zootecnia (UNT).
San Miguel de Tucumán, Argentina. 26 y 27 Abril 2007
Información: www.faz.unt.edu.ar - producvegetal@hotmail.com

Zinc Crops 2007
Lugar y fecha: Natalia, Turquía. Mayo 2007.
Información: mcook@iza.com; cakmak@sabanciuniv.edu

InfoAg 2007: Agricultura de Precisión - Manejo de Información
Sensores Remotos - Tecnologías de Comunicación
Lugar y fecha: Hotel Crowne Plaza, Springfield, Illinois, EE.UU. 10-12 Julio 2007.
Información: www.infoag.org

XVI Simposio Internacional del Centro Científico Internacional de Fertilizantes (CIEC)
Lugar y fecha: Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Coupure 653, Bélgica. 16-19 Septiembre 2007.
Información: Tel.: ++32 (0)92646053; Fax: ++ 32(0)92646247; Patrick.Dossche@UGent.be; www.soilman.ugent.be/ciec

XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo
Lugar y fecha: León, Guanajuato, México. 17-21 Septiembre 2007. Fecha limite de recepción de trabajos: 15 Febrero 2007.
Información: www.slcs.org.mx - slcsorg@slcs.org.mx - cueto.jose@inifap.gob.mx

V Simposio Internacional Interacciones de Minerales de Suelo con Componentes Orgánicos y Microorganismos
Lugar y fecha: Pucón, Chile. 26-30 Noviembre 2008.
Información: www.ismom2008ufro.cl, mariluz@ufro.cl

Formas de pago de publicaciones de Inpofos

Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.
  Los datos para realizar su envío son los siguientes:
  DESTINATARIO: Sra. Laura Nélida Pisauri - DNI:17.278.707
  DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso – Buenos Aires – Argentina
  AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Depósito Bancario en Citibank, Cta. Cte. N° 0-516483-016 Sucursal Olivos a nombre de POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA
- Transferencia Bancaria o por Banelco a POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA, Banco Citibank, Cuenta Corriente 0-516483-016, CBU 0167777-1 0000516483016-0 CUIT 30-70175611-4
  Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago. (No. de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

Otros Países

- Envío de dinero a través de Western Union, ver instrucciones para el envío más arriba.
- Cheque certificado en dólares estadounidenses a nombre de POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA.
- Tarjeta de crédito internacional (Mastercard, Visa, American Express).

Para adquirir las publicaciones de INPOFOS Cono Sur:

1. Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) $ 3.00; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) $ 5.00; y entre 500 - 1000 g $ 10.00.
2. Deberá enviarnos a nuestra oficina de INPOFOS por Fax.: 011-4798-9939 o por mail a lpisauri@ppi-ppic.org, el comprobante de pago.
3. Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

Una nueva organización científica agronómica

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI),
INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

El 1 de Noviembre de 2006 fue establecida una nueva organización científica agronómica de escala global: el *International Plant Nutrition Institute* (IPNI), Instituto Internacional de Nutrición de Plantas, por resolución unánime de los miembros fundadores. La misión de IPNI es desarrollar y promover información científica sobre el manejo responsable de nutrientes para las plantas para el beneficio de la humanidad.

El Consejo de Directores del *Potash & Phosphate Institute* (PPI), Instituto de la Potasa y el Fósforo, ha decidido unirse a la nueva organización IPNI, proveyendo su staff científico. A fines de 2006, PPI estará completamente integrado en IPNI y dejara de existir.

IPNI comenzara oficialmente sus operaciones el 1 de Enero de 2007, con programas científicos ya instalados en Norteamérica, América Central, Sudamérica, China, India y Sudeste de Asia. IPNI prevé el establecimiento, en el corto plazo, de programas similares en Europa Occidental y Oriental, así como en el Medio Oriente.

La nueva organización estará integrada por compañías de la industria de fertilizantes que son productoras básicas de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y/o azufre (S) para uso agrícola. Compañías de distribución de fertilizantes que no califican como productoras básicas podrán integrarse como miembros asociados.

El propósito de la creación de IPNI es proveer una fundación científica coordinada para el uso adecuado de nutrientes de fertilizantes y las temáticas ambientales asociadas. Las compañías productora de fertilizantes acuerdan en que existe una necesidad continua para las ciencias agronómicas y otras relacionadas, de avanzar en los objetivos de producción de cultivos, uso efectivo y eficiente de nutrientes y protección ambiental.

El Dr. Terry L. Roberts, actual Presidente de PPI, será el primer Presidente de IPNI. El Dr. Paul E. Fixen, actual Vicepresidente de PPI, será el Coordinador del Grupo América, y el Dr. Adrian Johnston, Presidente de PPIC, será el Coordinador del Grupo Asia.

Los miembros fundadores de IPNI son: Agrium Inc.; Arab Potash Company; Belarusian Potash Company; Bunge Fertilizantes S.A.; CF Industries Holding, Inc.; Intrepid Mining, LLC; K+S KALI GmbH; Mosaic; Office Chérifien des Phosphates (Groupe OCP); PotashCorp; Saskferco; Simplot; Sinochem Hong Kong Ltd.; Spur Ventures Inc.; SQM; Terra Industries Inc.; y Uralkali.

Para mayor información, por favor visite el sitio web de IPNI, www.ipni.net o contáctese con el Dr. Fernando García, Director IPNI Programa Latinoamérica-Cono Sur, al (54) 11 4798 9939, e-mail: fgarcia@ipni.net

A partir del 1 de Enero de 2007 …

INPOFOS
KP Investigación
Educación

será

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

www.ipni.net

Av. Santa Fe 910 (B 1641) ABO, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Tel/Fax (54) 11 4798 9939

fgarcia@ipni.net - iciampitti@ipni.net - lpisauri@ipni.net