

DECISIONES EFECTIVAS EN MANEJO DE NUTRIENTES... MAS ALLA DE LA PROXIMA COSECHA

Paul E. Fixen¹ y Fernando O. García²

Introducción

Hay mucho en juego al tomar decisiones sobre manejo de nutrientes. Una revisión reciente de estudios conducidos en varias partes del mundo concluye que por lo menos del 30 al 50% del rendimiento de los cultivos es atribuible a los nutrientes aplicados por medio de fertilizantes comerciales (Stewart et al., 2005). La definición de nutrición balanceada requiere de mayor precisión a medida que los rendimientos continúan incrementándose y a medida que aumenta la preocupación sobre el impacto ambiental del uso intensivo de nutrientes. Los recientes incrementos en el precio de los fertilizantes han creado un incentivo adicional para el uso óptimo económico de los nutrientes. La importancia, complejidad e incertidumbre inherentes a los sistemas de manejo suelo-planta-nutriente, hacen que el manejo de nutrientes sea un desafío digno del uso de lo mejor que la ciencia y la tecnología pueden ofrecer. Resulta afortunado que la ciencia disponga al momento de abundante conocimiento sobre el sistema suelo-planta y que exista también un impresionante conjunto de tecnologías de uso inmediato en la producción agrícola. Quizá el mayor reto sea entregar la ciencia y tecnología disponibles a los productores en un paquete integrado que apoye efectivamente las decisiones críticas en manejo de nutrientes.

Decisiones de manejo de nutrientes

El proceso de toma de decisiones de manejo de nutrientes se presenta en la **Figura 1** (Fixen, 2005). En esta conceptualización, los factores que potencialmente pueden influenciar las decisiones de manejo de nutrientes sirven como entrada a una herramienta de soporte para la toma de decisiones. La herramienta de soporte produce una recomendación (salida) que se considera en la fase de toma de decisiones. Las decisiones tomadas conducen a acciones en manejo de nutrientes que generan un resultado. El resultado se evalúa y genera retroalimentación, influenciando de esta forma las decisiones futuras.

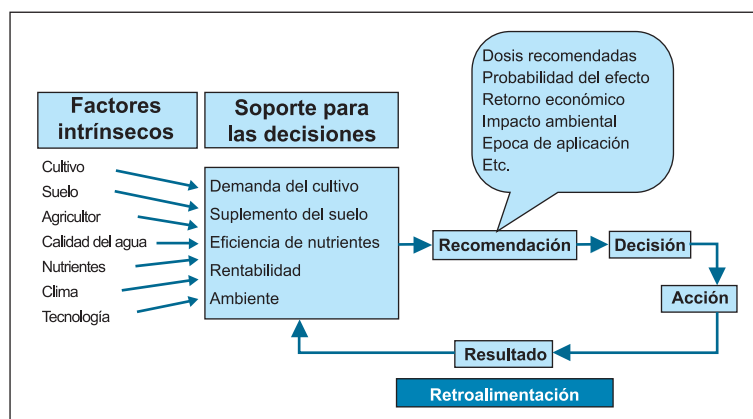


Figura 1. Proceso de decisiones en el manejo de nutrientes.

Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos que potencialmente pueden afectar el comportamiento del cultivo en un sitio específico son: material de siembra, suelo, agricultor, calidad de agua, nutrientes, clima y tecnología. Los factores inherentes al material sembrado incluyen rendimiento potencial, valor del cultivo, en algunos casos concentración de nutrientes en los tejidos o color de hojas, y prácticas culturales que puedan influenciar el manejo de nutrientes. Los factores de suelo a menudo involucran índices de disponibilidad de nutrientes del suelo u otras propiedades físicas, químicas o biológicas que influyen el ciclo de nutrientes y el crecimiento del cultivo. Los factores del productor pueden incluir la tenencia de la tierra, suministro de capital, costos de oportunidad, o filosofía en el manejo de los nutrientes. Los 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 aplicación.

Los factores de calidad de agua pueden incluir restricciones de aplicación de nutrientes en zonas de riberas o cerca de otros cuerpos de agua o consideraciones debido a aguas subterráneas. Los factores climáticos conducen al uso de sistemas de apoyo basados en modelos de simulación o al uso de información en tiempo real de las condiciones climáticas para una estación de crecimiento específica. Conocer cuales son las tecnologías relevantes que están

¹ Vicepresidente, International Plant Nutrition Institute, Brookings, South Dakota, EE.UU. Correo electrónico: pfixen@ipni.net

² Director Regional, International Plant Nutrition Institute, Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso - Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

disponibles en el sitio en cuestión puede influenciar ciertamente el procedimiento de toma de decisión.

Soporte para la toma de decisiones, recomendación y retroalimentación

El soporte para la toma de decisiones, representado como una caja en la **Figura 1**, puede ser tan simple como un análisis de suelo (con las resultantes recomendaciones de fertilización) o tan complejo como un programa integrado de computación que considere muchos de los factores intrínsecos del sitio, que proporcione recomendaciones detalladas de las prácticas de manejo de nutrientes y un pronóstico de las probabilidades de obtener resultados positivos que pueden ser actualizados a través del ciclo de crecimiento del cultivo. En sistemas de soporte abiertos, el usuario no solamente ve cómo los factores intrínsecos del sitio se integran para influenciar la recomendación, sino que se puede alterar el proceso de integración dentro de la caja de soporte como parte de la retroalimentación. Cuando la retroalimentación incluye la integración del sistema de soporte, la salida es dinámica y llega a ser más específica para el sitio a medida que el tiempo transcurre.

Manejo de nutrientes: Efectividad vs. Eficiencia

Para entender los impactos a largo plazo de las decisiones de manejo de nutrientes es necesario primero comprender la diferencia entre la eficiencia y la efectividad de la aplicación de nutrientes. La eficiencia de uso de los nutrientes se puede expresar de diferentes maneras, pero la mayoría de las definiciones terminan indicando que la mayor eficiencia ocurre cuando se aplica el fertilizante a dosis considerablemente menores a la dosis óptima económica. La **Figura 2** ilustra como esta dosis que da lugar a una alta eficiencia de nutriente probablemente no es efectiva porque no logra satisfacer los principales objetivos de la utilización de los nutrientes. Los objetivos del uso de nutrientes varían con el tiempo involucrado de siguiente forma:

Corto plazo (generalmente un año):

- ♦ Maximizar el retorno de la inversión
- ♦ Eliminar las deficiencias de nutrientes
- ♦ Mejorar la efectividad de otros insumos
- ♦ Conseguir altos rendimientos a corto plazo

Largo plazo (más de un año):

- ♦ Mejorar la productividad del suelo
- ♦ Incrementar el valor de la tierra

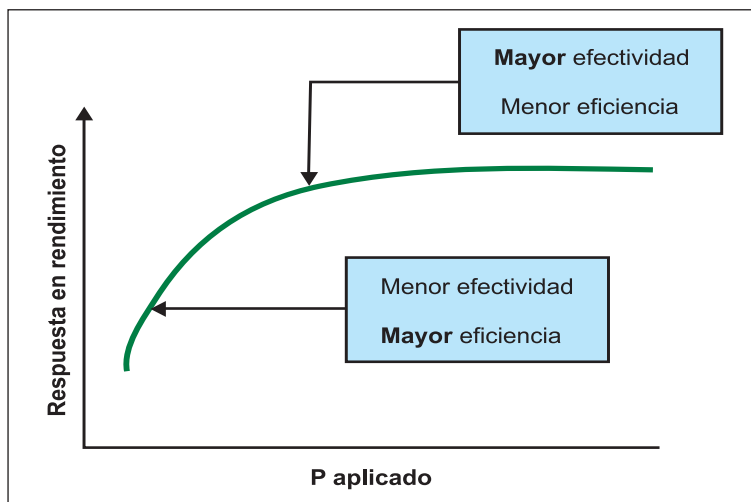


Figura 2. Ejemplo de eficiencia vs. efectividad de un solo ciclo de un cultivo.

- ♦ Maximizar la efectividad de otros insumos
- ♦ Conseguir altos rendimientos a largo plazo

Siempre existe la oportunidad para mejorar la eficiencia, pero existe mayor oportunidad de mejorar la efectividad de los nutrientes a largo plazo. Esto es esencialmente lo que se espera como resultado de emplear prácticas adecuadas de manejo (PAM) ... como uso del producto correcto, en el lugar correcto y en la dosis correcta ... en sistemas de cultivo manejados intensivamente que apuntan a altos rendimientos y alta eficiencia en el manejo de nutrientes. Esta “**intensificación ecológica**” de la producción parece ser una aproximación novedosa y eficaz para la agricultura (Cassman, 1999).

Parte del desafío en el manejo de los nutrientes es evitar que se confundan verdaderas mejoras en eficiencia o efectividad a nivel de sistema, con supuestas mejoras logradas con prácticas que simplemente “toman prestado” de la productividad futura porque agotan los nutrientes del suelo o que no valoran efectos residuales positivos en la futura productividad. Dobermann y colegas (2005) resumieron recientemente cuatro estudios de caso que ilustran este desafío en algodón en California, soya en Hawaii, arroz en las Filipinas, y maíz en Nebraska. Los resultados del estudio de maíz que se presentan en la **Tabla 1** ilustran el hecho de que si no se hubiese considerado el impacto de las prácticas de manejo en la acumulación de N en la materia orgánica del suelo, en un periodo de cuatro años, se hubiese llegado a conclusiones incorrectas con relación a la eficiencia a largo plazo del uso de N en los sistemas de producción evaluados.

Materia orgánica del suelo

Calidad del suelo es un término utilizado por los científicos para indicar que tan bien el suelo realiza funciones críticas tales como ciclado de nutrientes,

Tabla 1. Eficiencia de uso de N en maíz irrigado en Nebraska (EE.UU.) con manejo siguiendo la recomendación estándar y con manejo intensivo (Dobermann et al., 2005).

Parámetros estudiados (promedio de 4 años)	Recomendación	Intensivo
Rendimiento de maíz, t/ha	14.0	15.8
Dosis de N promedio, kg/ha	195	305
N removido en el grano, kg/ha	167	198
Factor parcial de productividad, kg grano/kg N aplicado	72	52
Eficiencia de remoción, %	86	65
Cambios medidos en el N orgánico del suelo, kg/ha/año	-58	+55
(Remoción de N + cambio en N del suelo)/N aplicado, %	56	83
Recomendación: 75000 plantas/ha, dosis basadas en análisis del suelo, N en dos aplicaciones.		
Intensivo: 105000 plantas/ha, mayores dosis, 4 aplicaciones de N + N en el residuo en otoño.		

distribución y almacenamiento de agua y crecimiento de las raíces de la planta. Se ha determinado que el contenido de carbono orgánico total (materia orgánica del suelo, MOS) es un indicador sensible de la calidad del suelo (Karlen et al., 2006). Por lo tanto, parece lógico considerar este parámetro al evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre la productividad futura del suelo.

Se han conducido estudios para evaluar el comportamiento de la MOS en varios países del mundo. Por ejemplo, las tendencias en el comportamiento de los niveles de la MOS en la Región Pampeana de Argentina han sido similares a los del Cinturón Maicero de Estados Unidos (**Figuras 3 y 4**). En ambos países, la agricultura ha disminuido la MOS a niveles que están alrededor de la mitad de los niveles originales (Andriulo y Cordone, 1998; Lal et al., 1998; Echeverría y Ferrari, 1993; Urricarriet y Lavado, 1999; Alvarez, 2001). Los datos de simulación presentados en la **Figura 4** indican que los niveles de MOS pueden ahora mantenerse, y en algunos casos incrementarse,

debido a la implementación de labranza reducida o sistemas de siembra directa.

Qué significado tiene todo esto? Esta es una importante pregunta para plantearse en este punto de la discusión. En ambos países, los rendimientos de los cultivos aumentaron durante este periodo de reducciones dramáticas en el contenido de MOS gracias a los progresos en genética, tecnología y manejo. Se puede preguntar también si realmente ocurrió algún daño que afecte la productividad del suelo durante este periodo? Un excelente artículo que trata los temas relacionados con esta pregunta fue publicado recientemente por Janzen (2006).

En este trabajo, el autor discute el dilema del carbono del suelo. Los estudios demuestran que la MOS ofrece mayores beneficios biológicos cuando se descompone, sin embargo, normalmente se considera que es bueno incrementar el contenido de MOS, lo cual implica menor descomposición. Janzen utiliza como analogía de la situación una planta hidroeléctrica que produce energía con el agua proveniente de un pequeño reservorio (**Figura 5**). En esta analogía, el ingreso de agua representa los residuos de los cultivos, el agua en el reservorio representa la MOS, la salida del agua representa la descomposición de la MOS y la generación de energía eléctrica representa los beneficios biológicos. La rápida descomposición y reducción de la MOS aumenta los beneficios biológicos, pero esto ocurre a expensas de la MOS almacenada si la tasa de descomposición excede a la tasa adición de residuos de cosecha. Una vez que se agota el reservorio, los beneficios biológicos se reducen y en teoría el suelo se hace menos productivo.

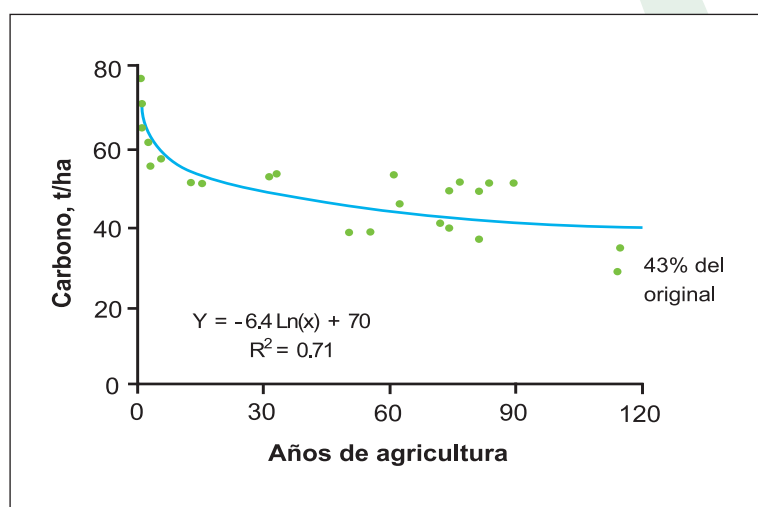


Figura 3. Niveles de carbono orgánico total en suelos argiudoles del norte de la Región Pampeana de Argentina desde la introducción de la agricultura (Alvarez, 2001 a partir de Andriulo y Cordone, 1998).

El manejo sostenido del suelo (planta hidroeléctrica) debe encontrar un equilibrio entre la adición de residuos y la descomposición de la

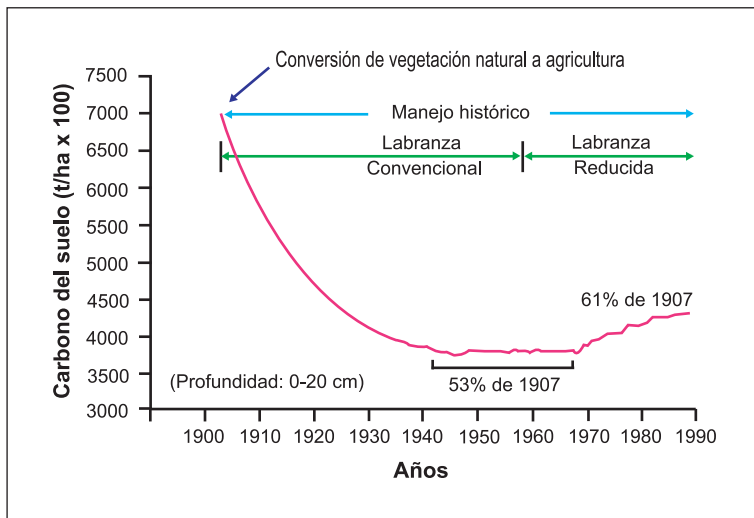
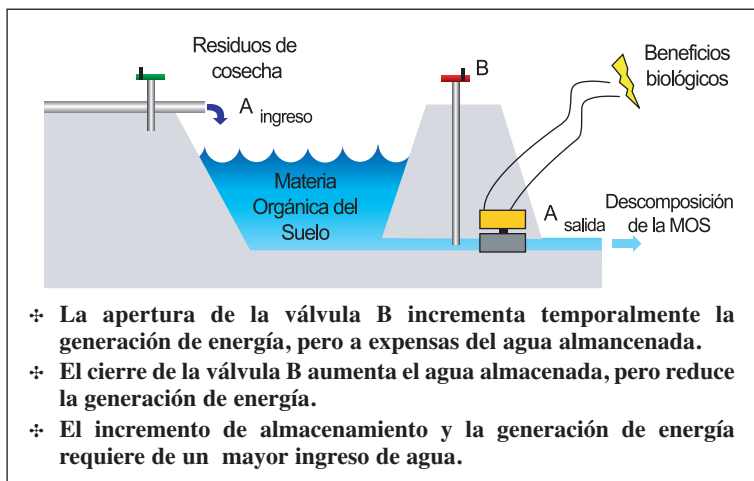


Figura 4. Simulación de cambios en carbono total del suelo para la Región Central del Cinturón Maicero de EE.UU. (Lal et al., 1998).



- ✦ La apertura de la válvula B incrementa temporalmente la generación de energía, pero a expensas del agua almacenada.
- ✦ El cierre de la válvula B aumenta el agua almacenada, pero reduce la generación de energía.
- ✦ El incremento de almacenamiento y la generación de energía requiere de un mayor ingreso de agua.

Figura 5. Hipotética planta hidroeléctrica en analogía con el carbono del suelo (Janzen, 2006).

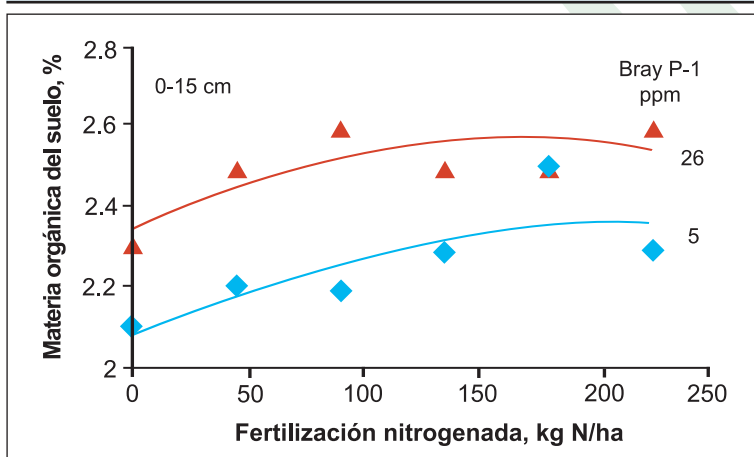


Figura 6. Influencia de la fertilización de maíz irrigado durante 45 años con N y P en el contenido de MOS, Tribune, Kansas, EE.UU. (Schlegel, 2006).

MOS que genera beneficios biológicos. Janzen, 2006 ofrece dos formas de manejo para maximizar estos beneficios de manera sostenible: 1) optimizar la época de descomposición de la MOS de modo que los cultivos puedan beneficiarse de éste proceso y, 2) incrementar la

entrada de carbono al suelo. Podría existir alguna oportunidad en el primer método para que con manejo de nutrientes, especialmente con N, se logre aprovechar los beneficios de la MOS, sin embargo, existe significativa oportunidad para lograrlo con manejo de nutrientes usando el segundo método.

Numerosos estudios han demostrado cómo la fertilización, y el consecuente incremento en la acumulación de residuos producto de la mayor biomasa del cultivo, puede aumentar los niveles de MOS o puede retardar la reducción del contenido de carbono del suelo. Por ejemplo, un estudio conducido en Uruguay por 40 años demostró que la inclusión de pasturas en las rotaciones puede estabilizar los niveles de MOS, pero se encontró también que la fertilización de los cultivos de la rotación retardó significativamente la reducción del contenido de MOS (Morón, 2003).

Un estudio que ha estado en el campo por 45 años en Kansas, EE.UU. demuestra que el mantener un nivel óptimo de P en el suelo, junto con el uso de dosis óptimas de fertilizante nitrogenado durante muchos años, puede incrementar el contenido de MOS, en comparación con un manejo sub-óptimo de nutrientes (Schlegel, 2006) (Figura 6).

Un estudio conducido por el USDA en Colorado, EE.UU. encontró un incremento medible en contenido de carbono orgánico en los primeros 8 cm del suelo, un año después de la fertilización con P y antes de que cualquier residuo fuese incorporado al suelo (Halvorson y Reule, 1999). Los autores sugieren que la causa del incremento está en la estimulación del crecimiento radicular promo-vida por la fertilización con P. Por otro lado, estudios recientes han demostrado también que las plantas que sufren de deficiencia de P utilizan una mayor cantidad del carbono neto asimilado en la respiración de la raíz.

Ya sea por el incremento directo en la disponibilidad de residuos de cultivos o por la retención más eficiente del CO₂ capturado, las decisiones apropiadas de manejo de nutrientes pueden tener un impacto positivo en la MOS y pueden proporcionar una oportunidad para obtener mayores beneficios del reciclado de la misma. La consideración del impacto de la MOS debe ser parte de la toma efectiva de decisiones en manejo de nutrientes.

Impacto de los balances de P

La remoción de nutrientes por los cultivos sirve como punto de referencia básico para las decisiones efectivas en manejo de los nutrientes. Este parámetro ofrece una estimación cruda de la cantidad de nutrientes que se debe regresar al suelo para mantener los niveles existentes de fertilidad y, por esta razón, es un factor de la sostenibilidad del sistema.

El remover más P del suelo de lo que se aplica produce en el tiempo una declinación de los contenidos del nutriente en el suelo. Numerosos estudios conducidos en parcelas pequeñas han demostrado este hecho en diferentes suelos alrededor del mundo. Sin embargo, se han observado resultados similares en observaciones a escala superior. Por ejemplo, en el Cinturón Maicero de EE.UU., a fines de la década de 1980, después de muchos años de balances con exceso de P, la remoción en las cosechas comenzó a ser mayor que la aplicación de P con fertilizantes minerales y orgánicos. La información consolidada de los contenidos de P reportados por los análisis de suelo de esta región indica que esta situación coincide con un cambio de la tendencia de incremento en los contenidos de P en el suelo a una tendencia de lenta declinación (Fixen y Murrell, 2002).

En el año 2005, los productores de la mayoría de los estados del Cinturón Maicero repusieron del 60 al 90% del P removido en la cosecha con fertilizantes o residuos de corral. Sin embargo, debido a esos años de balances positivos de P, la mediana del contenido de P (Bray-1) en el 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 utilizando las reservas de P del suelo acumuladas hace más de 20 años. En algunos estados, estas reservas siguen siendo significativas, pero en otros han disminuido a niveles muy bajos.

La relación aplicación/remoción de P se está incrementando en Argentina, sin embargo, el reemplazo del P removido es todavía menor al 45% (Figura 7), resultando en una reducción de los contenidos de P del suelo (Montoya et al., 1999) (Figura 8). Con los contenidos actuales de P de la Pampa Arenosa, la información de los estudios de calibración del análisis de suelo indica que la mayoría de los cultivos depende de la fertilización anual con P, en dosis que se aproximan la remoción de P por el cultivo. Dosis más bajas probablemente resultarían en pérdida de

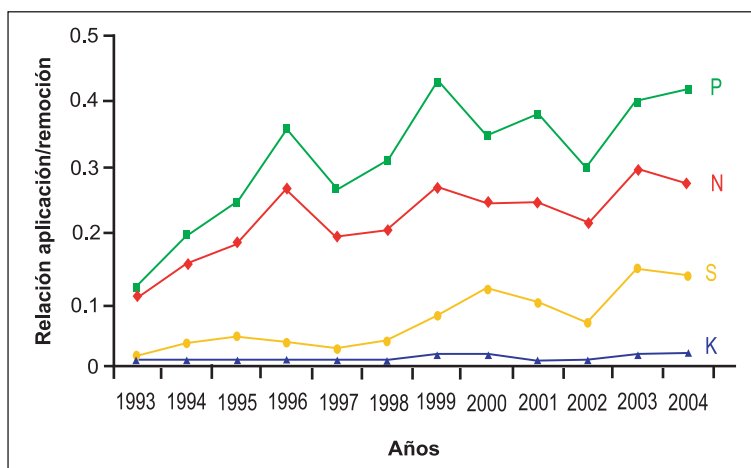


Figura 7. Relación aplicación/remoción de N, P, K y S en cultivos extensivos en Argentina.

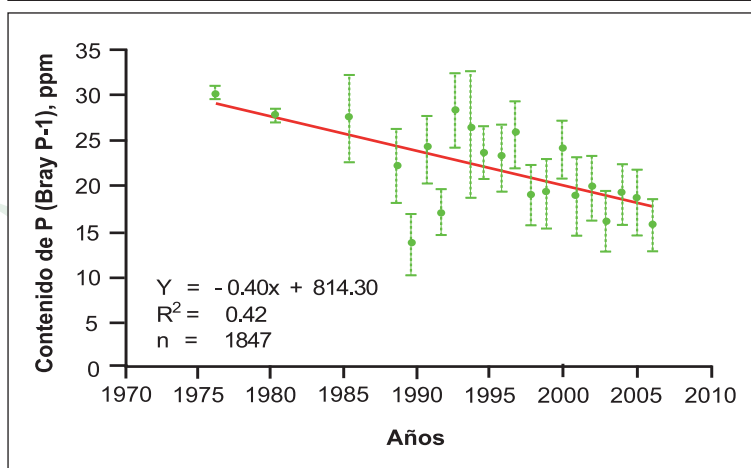


Figura 8. P extractable en suelos del oeste de la Región Pampeana (Díaz Zorita et al., 2005, com. personal).

producción y en una continua declinación en los niveles de P en el suelo que afectaría los cultivos en el futuro.

Un reciente estudio de 6 años que involucra cinco ensayos de rotación maíz-trigo/soya en el sur de Santa Fe, Argentina, evaluó los beneficios de fertilizar el sistema reponiendo todo el P y el S removidos con la cosecha de los granos producidos (maíz, trigo y soya) en conjunto con el uso de dosis óptimas de N para trigo y maíz. Esta filosofía dio lugar a recomendaciones de aplicación promedio anual de 126, 36, y 21 kg/ha de N, P, y S, respectivamente. El ingreso neto, calculado restando el costo del fertilizante del ingreso bruto, fue de \$1293/ha. Los efectos residuales en los cultivos siguientes fueron también substanciales. Cuando se aplicaron dosis de 88, 26 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente, sobre las parcelas a las cuales ya se había aplicado dosis de reposición de los nutrientes removidos, se lograron respuestas residuales en trigo, soya y maíz, con respecto al testigo sin fertilizar, de 2204, 559, y 1031 kg/ha, respectivamente (García, 2006). Los científicos responsables de esta serie de experimentos sugieren que esta respuesta residual se debe más al efecto de la fertilización balanceada en el

ambiente del suelo (más residuos a la cosecha, más raíces, más carbono del suelo y mayor actividad microbiana) que al efecto residual directo del N, P y S en la nutrición de la planta.

Un componente crítico de esta discusión sobre manejo de P a largo plazo es la distinción entre la respuesta a la fertilidad de suelo reflejada por el contenido de P detectada por el análisis del suelo y la respuesta a la propia aplicación de P. El grupo con mayor experiencia en este tema es el equipo de investigación en la estación experimental de Rothamsted en Inglaterra. Este grupo maneja los estudios más viejos de fertilidad de suelos del mundo. El Dr. A. E. Johnston, miembro de este grupo de trabajo, al resumir algunos de sus estudios a largo plazo indica: “*en suelos agotados (< 10 ppm P Olsen), aun la fertilización con elevadas cantidades de P al voleo no aumenta los rendimientos a los niveles alcanzados en suelos ricos en P (25 ppm P) aun sin aplicación de P*” (Johnston, 1986). En otras palabras, la investigación demuestra que el fertilizante no puede sustituir totalmente a la fertilidad del suelo. El mensaje práctico de esta afirmación es que el manejo óptimo de P debe definir en primer lugar el nivel óptimo de P en el suelo basándose en estudios de calibración, y luego diseñar programas de manejo que mantengan el nivel de P en suelo alrededor de este nivel óptimo.

Comentarios finales

Las actuales decisiones de manejo de nutrientes necesitan considerar los numerosos factores específicos del sitio donde está localizado el cultivo que van desde las propias características del cultivo y del suelo, pasando por el clima y la tecnología disponible. Generalmente es necesario disponer de una herramienta para la toma de decisiones que ayude a integrar esos factores y que genere una propuesta para ser considerada en la toma de decisiones de manejo de nutrientes. Algunos de los factores específicos de cada sitio relacionados con las decisiones efectivas de manejo de nutrientes tienen que ver con consecuencias a largo plazo de las prácticas de manejo, particularmente con el efecto residual que afectan la productividad y la rentabilidad de los cultivos.

Los cambios en el contenido de MOS pueden ser un buen indicador de la productividad. El manejo sostenible del suelo implica encontrar un equilibrio entre la adición de residuos (acumulación de MOS) y descomposición de la MOS por los beneficios biológicos de este proceso. El aumento de las entradas de carbono al suelo es uno de los medios más importantes de incrementar los beneficios asociados con la MOS. Las decisiones apropiadas en manejo de nutrientes pueden afectar positivamente la materia orgánica y la productividad del suelo, ya sea por medio

del aumento directo del aporte de residuos de cultivos o por la retención más eficiente del carbono fijado por la fotosíntesis.

En muchos sitios, la remoción de P en la cosecha excede a la cantidad de P aplicada al cultivo. Este es el caso concreto de la Región Pampeana de Argentina y el Cinturón Maicero de EE.UU. El análisis de suelo puede predecir el punto en el cual estos balances negativos reducen la productividad y la rentabilidad. Es muy probable que algunas fincas estén experimentando ya estas pérdidas de producción a medida que los contenidos de P en el suelo van cayendo por debajo de los niveles óptimos, sin embargo, en otros casos pueden pasar varios años antes que se observen estas pérdidas.

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 materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. In *Siembra directa*. J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo and R. Gil (eds.). 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.
- Dobermann, A., K.G. Cassman, D.T. Walters y C. Witt. 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*. Tsinghua University Press, Beijing. pp 60-61.
- Echeverría, H. y J. Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de 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 T. S. Murrell. 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 C.A. Reule. 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? *Biology & Biochemistry* 38:419-424.
- Johnston, A.E., P.W. Lane, G.E.G. Mattingly, P.R. Poulton y M.V. Hewitt. 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, D.L., G.H. Eric, S.A. Susan, A.C. Cynthia, W.M. David, D.D. Michael y P.M. Antonio. 2006. Crop Rotation Effects on Soil Quality at Three Northern Corn/Soybean Belt Locations. *Agron. J.* 98:484-495.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett y C.V. Cole. 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 del INIA La Estanzuela 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 P.E. Fixen. 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>
- 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.
- Stewart, W.M., D.W. Dibb, A.E. Johnston 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.*