

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

IAH 9 - Marzo 2013

La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Como estamos?	2
Mejores prácticas de manejo de la fertilización de trigo: Dos experiencias de INTA 9 de Julio - Buenos Aires, Argentina	8
Estudio de la contribución de nitrógeno por parte de los cultivos de cobertura al cultivo de maíz	12
Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes	17
Descubriendo la herramienta CNRT (Crop Nutrient Response Tool)	21
Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los frutos de café	26
Reporte de Investigación Reciente.....	33
Cursos y Simposios	34
Publicaciones Disponibles	35



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE



Editores :
Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

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

<http://www.ipni.net>

En este número

- Nutrición de suelos y cultivos
- MPM de la fertilización de trigo
- N en secuencias de cultivos de cobertura y maíz
- Fertilización en distintos grupos de madurez de soja
- Descubriendo la herramienta CNRT
- Acumulación de N, P y K en los frutos de café

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • <http://Lacs.ipni.net>

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

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Como estamos?

Fernando O. García¹ y María Fernanda González Sanjuan²

La nutrición de cultivos, y la fertilización en particular, han mostrado una evolución creciente en los sistemas de producción de cultivos extensivos en los últimos 20 años. La siembra directa, las variedades e híbridos de alto potencial y el avance en las tecnologías de manejo de los cultivos y su protección, entre otros factores, han dado el marco apropiado para la inclusión de la nutrición en los sistemas de producción. Este crecimiento se evidencia al considerar la evolución del consumo aparente de nutrientes (**Figura 1**), el cual acompañó la expansión agrícola, contribuyó al incremento de la producción y permitió mejorar los balances nutricionales, lográndose incrementos en la relación aplicación/remoción de 0.14 a 0.43, 0.14 a 0.70, 0.01 a 0.02 y 0.03 a 0.50 entre 1993 y 2011, para nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S), respectivamente (**Figura 2**).

Numerosos otros aspectos reflejan el rol significativo de la nutrición y fertilidad en la producción agrícola argentina de los últimos 20 años, algunos de los cuales son: la aparición continua de nuevas metodologías de diagnóstico de la fertilidad a partir de los trabajos de grupos de investigación y experimentación (INTA, universidades, organizaciones profesionales y de productores, empresas), la introducción y el desarrollo de nuevos productos fertilizantes y tratamientos biológicos, el incremento de servicios de laboratorios de análisis de

Tabla 1. Incremento anual promedio del rendimiento y el área sembrada de los principales cultivos de grano de Argentina en el periodo 1991-2011. Elaborado a partir de información de SIIA <http://www.sii.gov.ar>

Cultivo	Rendimiento (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Área (ha año ⁻¹)
Maíz	78	58
Soja	28	797
Trigo	38	-
Girasol	-	-62

suelos, plantas y aguas, la expansión de los servicios de aplicación a nivel local, y la incorporación de tecnologías de aplicación variable y/o por ambiente, entre otros.

Todos estos avances nos han llevado a ampliar nuestra frontera desde una agricultura donde eventualmente se evaluaba la decisión de aplicar N y P en trigos del sur de Buenos Aires, hacia sistemas de producción donde evaluamos necesidades de N, P y S, la inclusión de otros nutrientes potencialmente deficientes (boro, zinc, otros) y el uso de microorganismos en los tratamientos de semilla.

Producción de granos y uso de nutrientes

El aumento de la producción de granos registrado en los últimos 20 años, se ha basado en: i) una fuerte expansión del área sembrada, principalmente del cultivo de soja, a partir de la incorporación de nuevas tierras y del cambio del uso de las mismas con una drástica reducción de períodos bajo pasturas, y ii) el incremento en los rendimientos generado a partir de la incorporación de materiales genéticos de mayor potencial y estabilidad, la implementación de técnicas de manejo como la siembra directa y la fertilización, y el manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas. Sin embargo, los incrementos en producción son principalmente explicados por la expansión del área agrícola más que por los incrementos en rendimiento, los cuales han sido moderados (**Tabla 1**).

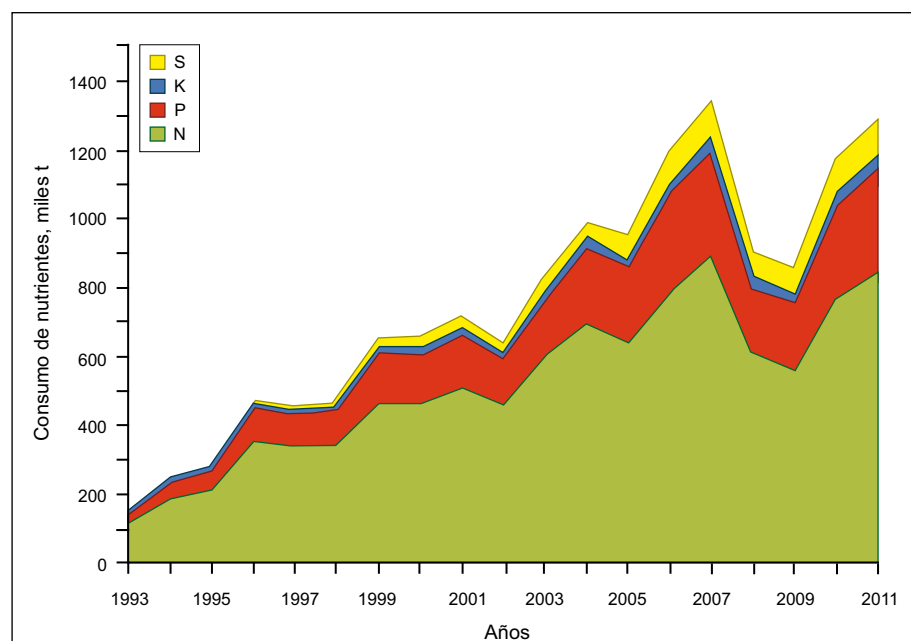


Figura 1. Evolución del consumo aparente de nutrientes como fertilizantes en Argentina en el periodo 1993-2011. Elaborado a partir de datos de MinAgri y Fertilizar AC.

¹ IPNI Cono Sur – Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

² Fertilizar Asociación Civil. Correo electrónico: mfgonzalez@fertilizar.org.ar

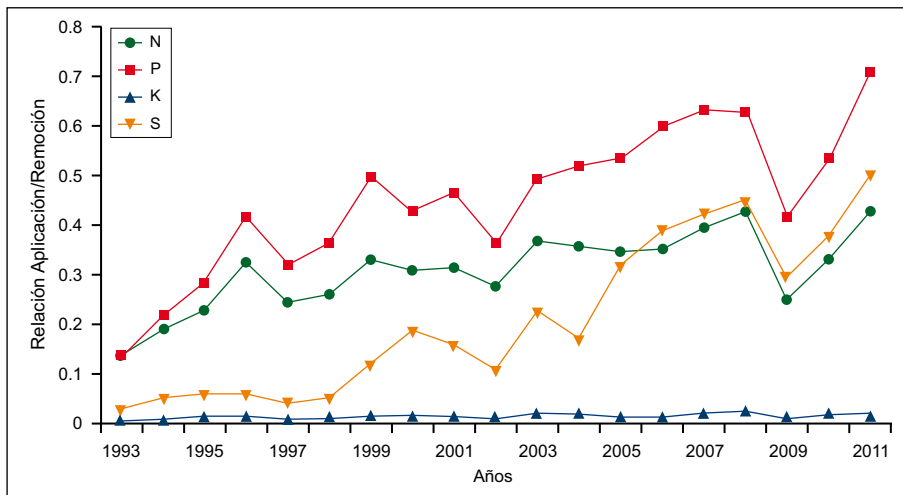


Figura 2. Relaciones Aplicación/Remoción de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) para los cuatro principales cultivos de grano de Argentina (soja, maíz, trigo y girasol) en el periodo 1993-2011. Elaborado a partir de datos de MinAgri y Fertilizar AC.

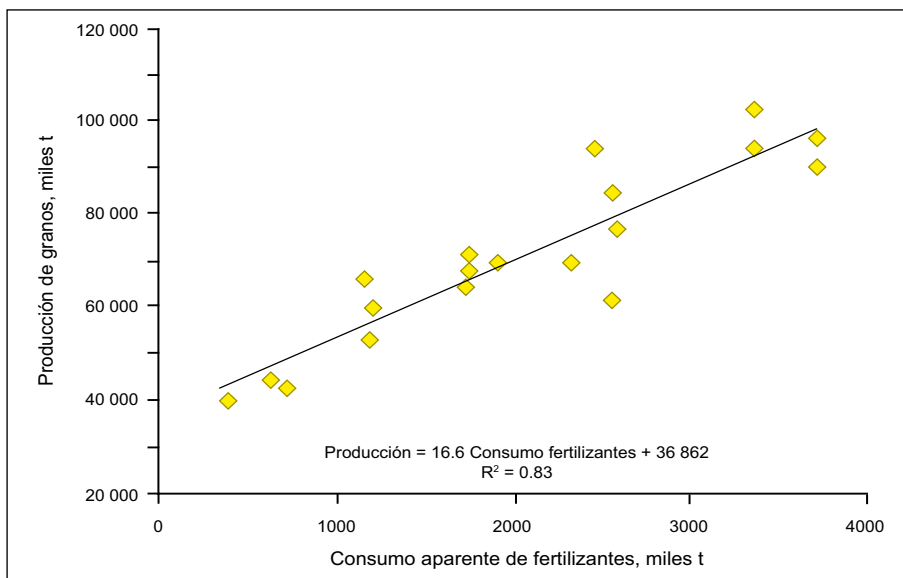


Figura 3. Relación entre la producción de granos y el consumo de fertilizantes en Argentina entre 1993 y 2011.

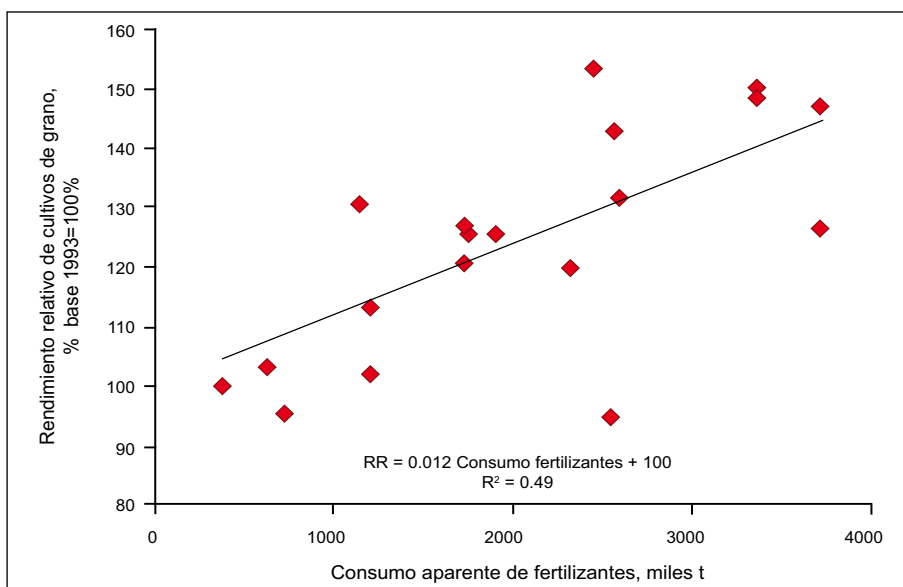


Figura 4. Relación entre el rendimiento relativo de los cultivos de grano (% base 1993 = 100%) y el consumo de fertilizantes en Argentina entre 1993 y 2011.

La expansión del área agrícola ha introducido la agricultura en ecosistemas más frágiles y presenta límites físicos concretos. El incremento de la productividad es la alternativa más clara para poder aumentar los niveles de producción preservando la calidad de los ambientes de manera de satisfacer la creciente demanda global de alimentos, fibras, biocombustibles y biomateriales.

La utilización de fertilizantes se relaciona con los incrementos en producción y en rendimiento de los cultivos. La **Figura 3** muestra que la producción de granos aumentó 16.6 millones de toneladas por cada millón de toneladas de incremento en el consumo de fertilizantes entre 1993 y 2011. La **Figura 4** muestra que los rendimientos relativos de los principales cultivos de grano se incrementaron en un 12% por cada millón de toneladas de incremento en el consumo de fertilizantes en el mismo periodo. Obviamente, otros factores han participado en el incremento de la producción y el rendimiento de los cultivos en este período (mayor área de siembra, la genética, otras tecnologías e insumos, el mejor manejo de suelos y cultivos, entre otros).

Si bien el aporte de la adecuada nutrición de cultivos a la productividad de los cultivos es altamente variable según la condición de sitio (suelo, cultivo, clima), a nivel mundial se reporta una contribución promedio del 40% al 70%. A nivel nacional, Álvarez et al. (2012) estimaron que entre 1967/68 y 2007/08, la fertilización contribuyó en un 16% al incremento de los rendimientos. Los autores indican que esta contribución es menor que en otras regiones del mundo probablemente por las menores dosis aplicadas en el país, la predominancia de soja que fija el N atmosférico y la alta fertilidad de los suelos agrícolas. Experiencias realizadas en lotes de producción en la región pampeana central entre

2000 y 2009 (Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe -IPNI-ASP, García et al., 2010), muestran incrementos promedio de 7% a 90% en soja de primera, de 6% a 89% en soja de segunda, de 21% a 294% en trigo y de 19% a 87% en maíz, con fertilizaciones que incluyeron N, P y S. Las respuestas varían marcadamente entre sitios según la fertilidad de los suelos y el nivel de rendimiento alcanzable. Estos incrementos han resultado en beneficios económicos variables según sitios y rotación de U\$S 140 a U\$S 400 por ha año⁻¹.

Más allá de los efectos directos de la correcta nutrición de los cultivos sobre los rendimientos y la rentabilidad, hay efectos indirectos a través de interacciones con otros recursos e insumos de producción que conducen hacia mayores eficiencias de uso de los mismos y hacia una mayor efectividad del sistema de producción. Por ejemplo, la eficiencia de uso del agua, el principal recurso limitante de los sistemas de producción de secano, se incrementó 52-63%, 24%, 46%-103% y 22%-37% en maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda, respectivamente, en la misma red de ensayos mencionada en párrafos precedentes.

Los sistemas actuales de producción extensiva, agrícolas y ganaderos disponen de datos e información que se actualizan anualmente contribuyendo a una mejor toma de decisiones en el manejo de nutrientes. La aplicación de mejores prácticas de manejo (MPM) de la nutrición y fertilización permitirá incrementar los rendimientos y mejorar las eficiencias de uso de recursos e insumos maximizando el beneficio económico y minimizando impactos ambientales negativos. Las MPM son desarrolladas y actualizadas por distintos grupos de investigación y experimentación con el objetivo de aplicar los conceptos de los cuatro requisitos o 4R: aplicar la **fuerza** de nutriente correcta, en la **dosis**, el **momento** y el **lugar** correctos (Bruulsema et al., 2008).

Uso y balance de nutrientes en los principales cultivos de grano

Un aspecto que ha merecido especial atención en los últimos años, es el balance de nutrientes (García y González Sanjuan, 2010; Cruzate y Casas, 2012). Básicamente, el balance de nutrientes es la diferencia entre las cantidades de nutrientes aplicadas y removidas de un sistema de producción. Se puede estimar en distintas escalas espaciales (lote, establecimiento, región, país) y temporales (cultivo anual, toda una secuencia de rotación, etc.). En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de "caja negra", es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo. En sistemas agrícolas sin inclusión de animales (**Figura 5**), las principales salidas o pérdidas de nutrientes del suelo son la cosecha de granos y la cosecha de biomasa, por ejemplo, forraje. Entre las entradas o ganancias, se puede incluir a los fertilizantes, las enmiendas y los abonos orgánicos. Los balances afectan las reservas y, en consecuencia, la oferta de nutrientes de los suelos, la cual determina los rendimientos y la biomasa no cosechada (residuos) y afecta la calidad del suelo, del aire y del agua del ecosistema. Los rendimientos se relacionan con diversos indicadores de sustentabilidad económica, ambiental y social. A su vez, la biomasa no cosechada impacta sobre los balances de C orgánico y la protección del suelo contra factores erosivos. Balances fuertemente positivos de nutrientes pueden generar excesos de nutrientes en los suelos que conduzcan a la contaminación del suelo, del aire y/o del agua. Por otra parte, los balances negativos reducen la fertilidad del suelo pudiendo afectar seriamente la producción (rendimientos y biomasa no cosechada).

La **Figura 2** muestra la evolución de los balances de N, P, K y S para los cuatro principales cultivos de grano en Argentina entre 1993 y 2011. En este caso, el balance se expresa como la relación Aplicación/Remoción e indica que, para 2011, se estimó una reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas vía fertilización del 43%, 70%, 2% y 50% de N, P, K y S, respectivamente.

La figura también muestra que, si bien la reposición de nutrientes es aún inferior a la remoción por las cosechas, el balance de N, P, y S ha mejorado en los últimos 20 años. Los bajos niveles de reposición de K, se basan principalmente en la aún alta oferta del nutriente por parte de los suelos de la región.

Si se estiman estos balances desagregados por cultivo, se observan diferencias importantes

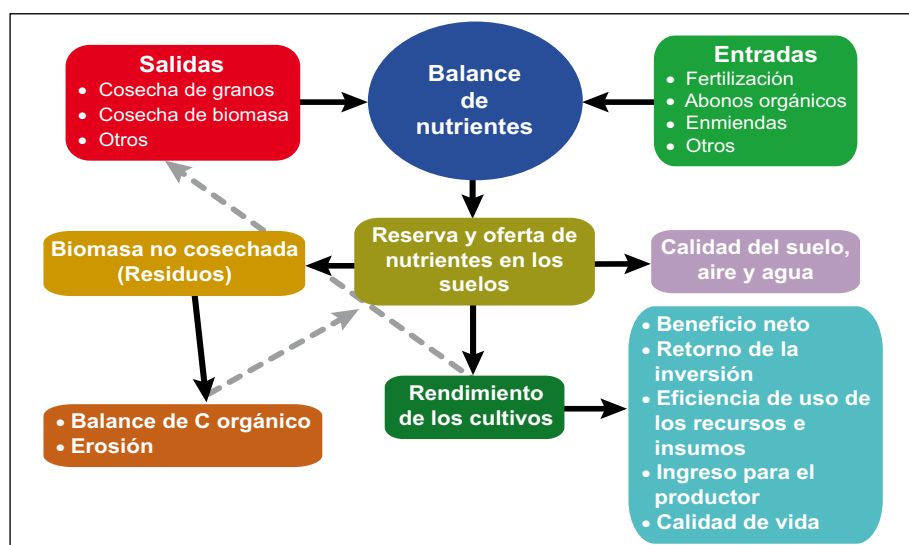


Figura 5. El balance de nutrientes en sistemas agrícolas sin inclusión de animales.

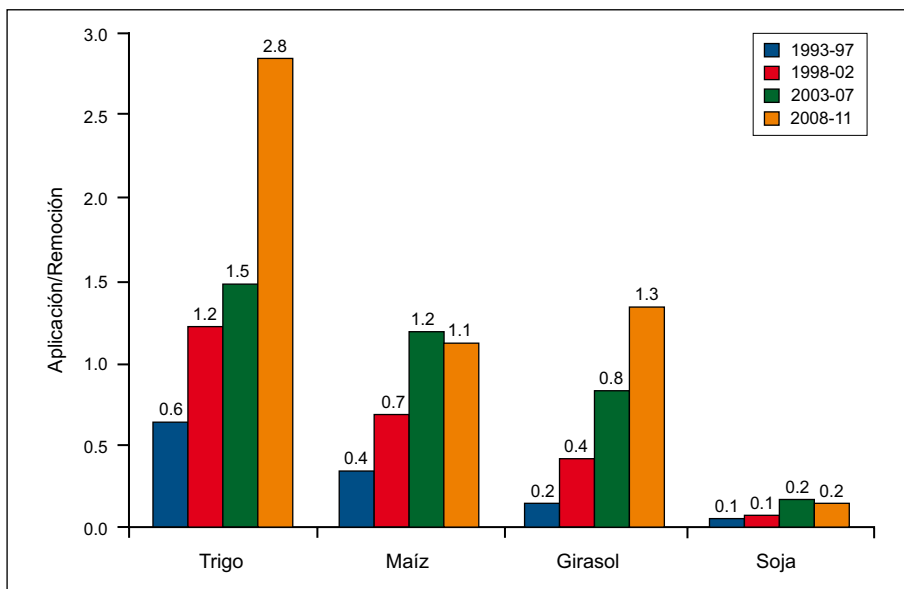


Figura 6. Balances de P, expresados como relación Aplicación/Remoción, estimados para trigo, maíz, girasol y soja en cuatro periodos entre 1993 y 2011.

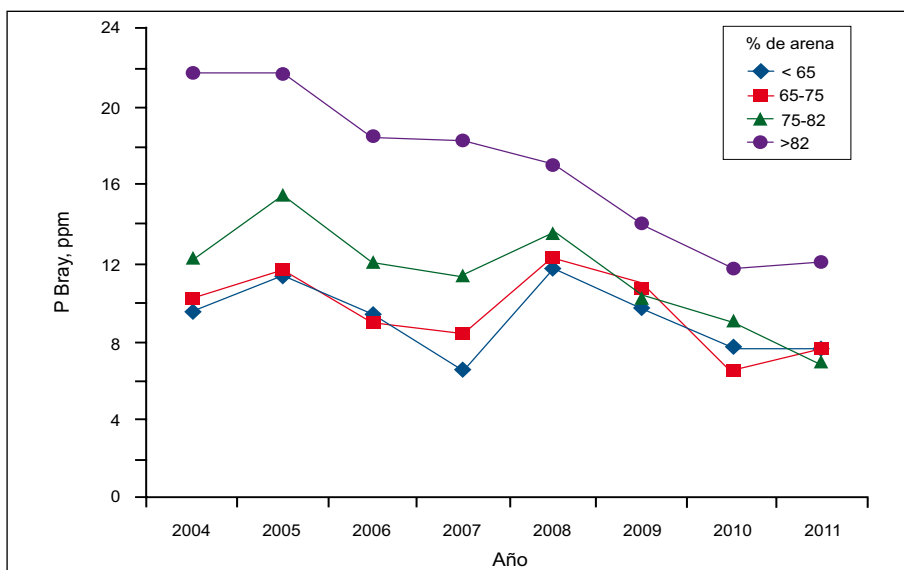


Figura 7. Evolución promedio de los niveles de P Bray de suelos con contenidos variables de arena (en porcentaje) de la Zona Oeste de grupos CREA. Fuente: Martin Miguez y Nicolás Bosch, CREA Zona Oeste.

entre trigo, maíz, soja y girasol. La **Figura 6** muestra los balances promedios de P estimados para los cuatro cultivos en cuatro periodos de 1993 a 2011. Valores inferiores a 1 indican balances negativos y valores superiores a 1 indican balances positivos. En los cuatro cultivos se observa que los valores Aplicación/Remoción de P aumentaron marcadamente del periodo 1993-97 al periodo 1998-02 y esta tendencia decreciente se continuó en los dos periodos siguientes aunque con menores diferencias. Entre los cultivos, las relaciones Aplicación/Remoción para trigo y maíz aumentaron por arriba de 1 indicando balances positivos a partir de 2003-07, mientras que para girasol se acercaron a 1 a partir de 2008-11. Si bien la soja siguió una evolución similar a los otros tres cultivos, los valores Aplicación/Remoción son mucho más bajos en los cuatro periodos

considerados y aun para el ultimo periodo 2008-11 se mantienen muy bajos indicando que se remueven 6.2 kg de P por cada kg de P que se aplica. Obviamente, estos balances negativos de P en soja se pueden explicar a partir de la expansión del cultivo a áreas de mayor nivel de P en suelos del noreste y noroeste de Argentina, o se pueden disminuir considerando que parte del P, que en estas estimaciones se indica como aplicado al trigo, probablemente haya sido destinado a la soja de segunda. Más allá de estas consideraciones, estos balances de P fuertemente negativos en soja son un llamado de atención si pretendemos desarrollar una agricultura sustentable. Las reservas mundiales de P son limitadas, por lo tanto, se espera que su oferta pueda disminuir en el futuro y/o que su precio se incremente. Siendo el P un insumo limitante de nuestros agro-ecosistemas, el desarrollo de la agroindustria debería procurar el uso eficiente del mismo y evaluar las potenciales ventajas de mantener niveles adecuados de P en el suelo para los cultivos. Asimismo, deberían procurarse y evaluarse fuentes de abastecimiento nacionales de P para disminuir la dependencia del abastecimiento externo, así como el reciclado de materiales con alta concentración de P como, por ejemplo, el estiércol de feed-lots, tambos, y la producción avícola.

Balances de nutrientes: Efectos sobre los nutrientes del suelo y los rendimientos de los cultivos

Frecuentemente, los cambios en los balances de nutrientes suelen asociarse con variaciones en una fracción específica del nutriente en suelo o con un indicador de su disponibilidad porque es más difícil estimar los impactos de balances negativos y positivos sobre la cantidad total de nutrientes de un suelo. Por otra parte, los contenidos totales de los nutrientes en los suelos (por ejemplo, N o P total) se relacionan muy débilmente o no se relacionan con la producción de los cultivos. Así, para el caso de P, el efecto de los balances suele relacionarse con la variación del P Bray que es solamente un índice de la disponibilidad de este nutriente. De la misma manera, los efectos de los

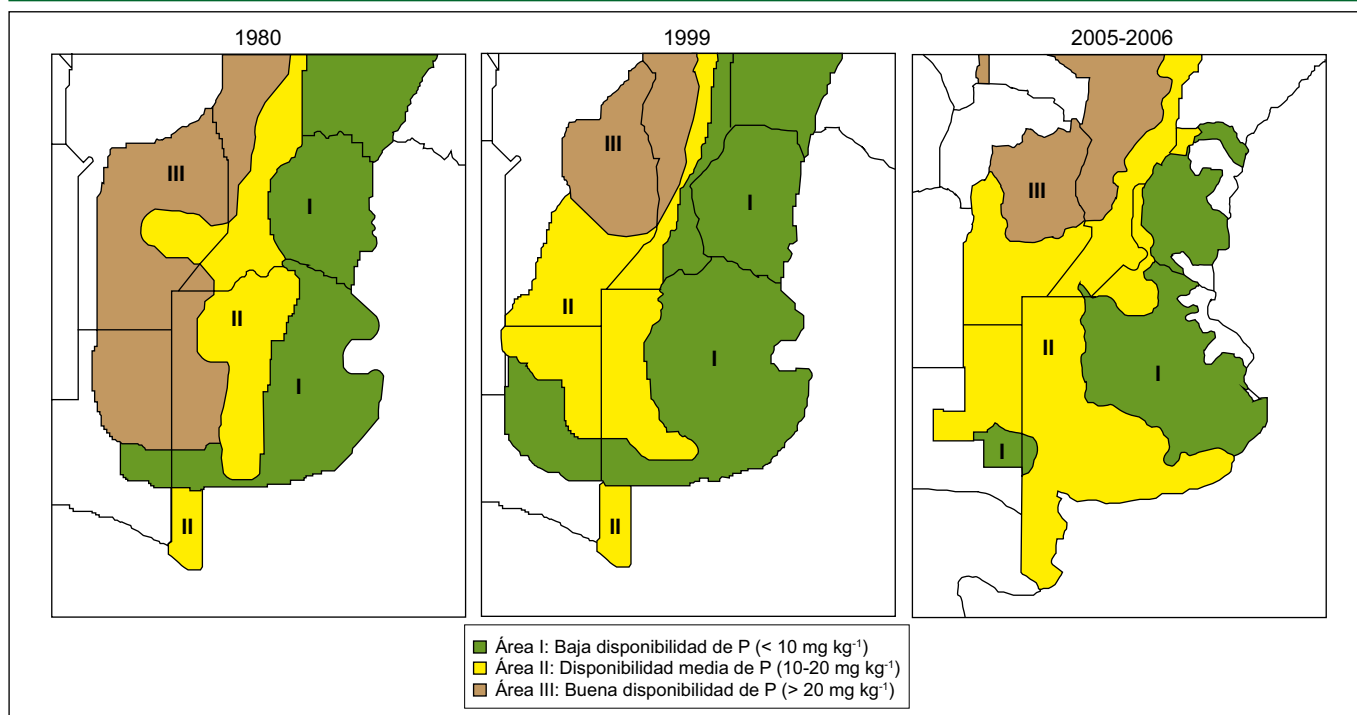


Figura 8. Rangos de concentración de P-Bray en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana en 1980 (Darwich, 1983) y en 1999 (Darwich, 1999; citado por García et al., 2010) y rangos de concentración de P-Bray en el muestreo realizado en 2005-06 (Adaptado de Sainz Rozas et al., 2011).

balances de K suelen relacionarse con los cambios de la fracción intercambiable (K intercambiable).

Los balances negativos de P a lo largo de los años han reducido los niveles de P Bray en suelos del oeste de la región pampeana según datos proporcionados por la Zona Oeste de CREA (Figura 7). Las caídas de niveles de P Bray en los suelos se verifican en numerosas regiones tal como muestra la Figura 8 (Sainz Rozas et al., 2011). En el caso de N y S, sus dinámicas en el suelo están fuertemente ligadas a la dinámica de carbono (C), es decir a la materia orgánica (MO), de hecho la MO ha sido principal fuente de N, de S y también de P en la agricultura pampeana y extrapampeana. De tal forma, los contenidos de MO han disminuido a partir de la introducción de la agricultura en la segunda mitad del siglo XIX. En una evaluación reciente, Sainz Rozas et al. (2010) determinaron reducciones de la MO del orden del 36% al 53% comparando suelos bajo condición agrícola con suelos bajo condición prístina.

Las caídas en las fracciones disponibles y de reserva de nutrientes del suelo impactan en los rendimientos de los cultivos y en la productividad del sistema en general. La información generada en los últimos años muestra que mantener niveles de fertilidad adecuados según el sistema de producción permite alcanzar rendimientos mayores y más estables, hacer un uso más eficiente de recursos e insumos y maximizar los beneficios económicos (García et al., 2010; Ferraris et al., 2012). Como ejemplo a nivel nacional, considerando el relevamiento de P Bray realizado por Sainz Rozas et al. (2011), aproximadamente un 50% del área bajo

producción de soja se encuentra en suelos con niveles de P Bray debajo del nivel crítico determinado para el cultivo, requiriendo de fertilización fosfatada. Sin la adecuada provisión de fertilizante fosfatado que permita mejorar la oferta de P de estos suelos, se puede estimar una pérdida de producción de soja de aproximadamente 3 millones de toneladas.

Los análisis de eficiencia de uso de los nutrientes generalmente incluyen indicadores tales como el beneficio neto de la práctica, el retorno a la inversión o la eficiencia agronómica de uso del nutriente aplicado (EA). Este análisis puede ser incompleto si no se incluye el balance de nutrientes e incluso otros indicadores (Bruulsema et al., 2008). Por ejemplo, la Tabla 2 muestra los resultados promedio de 15 ensayos realizados por INTA Paraná, Rafaela y Pergamino en la campaña 2003/04 evaluando la respuesta de soja a distintas dosis de P (Ferrari et al., 2005). La menor dosis de P (P10, equivalente a 50 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico), comúnmente aplicada por los productores, resulta en las mayores EA del nutriente y en balances de P más negativos. Esta situación es muy común en sistemas de producción basados en soja en Argentina y da lugar a un saldo negativo de P del suelo, como se discutió anteriormente. Los productores basan sus decisiones en el retorno inmediato de la inversión (alta EA), sin considerar la eficacia del sistema en el mediano y largo plazo la cual es afectada por el comportamiento de los nutrientes poco móviles en el suelo como el P. Estas decisiones reducen la fertilidad fosforada del suelo y podrían reducir la sustentabilidad del sistema en el largo plazo. Por otro lado, dosis mayores de P

Tabla 2. Rendimiento, eficiencia agronómica (EA), balance de fósforo (P) y margen bruto de la fertilización para cuatro dosis aplicadas. Datos promedio de 15 ensayos realizados en la campaña 2003/04 en Buenos Aires, Entre Ríos y Santa Fe (Adaptado de Ferrari et al., 2005).

Dosis	Rendimiento en grano	Eficiencia agronómica (EA)	Balance de P	Margen bruto de la fertilización
kg P ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg grano kg ⁻¹ P aplicado	kg P aplicado kg ⁻¹ P extraído	\$ ha ⁻¹
0	3135	-	-	-
10	3372	24	0.55	139
20	3557	21	1.04	245
30	3695	19	1.49	284

pueden mejorar el balance de P, ya sea con balance neutro (P20) o positivo (P30), manteniendo adecuadas EA y rentabilidad.

Al pensar en mejorar los balances de nutrientes de nuestros suelos, debemos recordar que los nutrientes aplicados que no son absorbidos en una campaña por el cultivo, no son necesariamente perdidos del sistema, sino que pueden ser utilizados por los cultivos siguientes en la rotación. Esto ocurre especialmente con nutrientes poco móviles en el suelo como P y K pero, en algunas situaciones, también se han observado residualidades de N y S, que inmovilizados en la MO o la biomasa microbiana, posteriormente son liberados de forma gradual. La residualidad de los nutrientes depende fuertemente de la dinámica de los mismos en el sistema suelo-planta y de las condiciones edafo-climáticas, por lo que estos factores deben ser evaluados cuidadosamente al considerar posibles efectos residuales de las aplicaciones de fertilizantes. Los efectos de acumulación de fertilidad promoverían cambios en el ambiente edáfico en cuanto a sus condiciones químicas, físicas y biológicas, que se pueden observar parcialmente en incrementos de MO del suelo.

Consideraciones finales

La producción agrícola argentina ha crecido notablemente en los últimos 20 años e incorporado numerosas innovaciones tecnológicas. Sin embargo, las demandas globales de alimentos, fibras, biocombustibles y biomateriales enfatizan la necesidad de mejorar los rendimientos actuales de los principales cultivos de grano. Las MPM de los nutrientes (aplicar la **fuentes** de nutriente correcta, en la **dosis**, el **momento** y el **lugar** correctos) contribuyen significativamente al incremento de la productividad y la sustentabilidad de estos sistemas.

El balance de nutrientes es un indicador de importancia para definir sistemas de producción sustentables complementando el grupo de indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes. Los balances de nutrientes negativos de nuestros sistemas de producción de granos requieren de la atención de todos los sectores para

poder definir estrategias, involucrando directamente al sector productivo, pero también al estado nacional y provinciales, a los consumidores y, por supuesto, al sector científico-tecnológico.

Bibliografía

- Álvarez, C., H. Steinbach, y R. Álvarez. 2012. El rol de los fertilizantes en la agricultura. En Álvarez, R., Prystupa, P., Rodríguez, M.B. y Álvarez C. (ed.). Fertilización de Cultivos y Pasturas: Diagnóstico y recomendación en la región pampeana. Editorial Facultad de Agronomía. Cap 3:51-64.
- Bruulsema, T., C. Witt, F.O. Garcia, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. Better Crops 92(2):13-15. IPNI. Norcross, GA. EE.UU.
- Cruzate, G., y R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 6:7-14. IPNI.
- Darwich, N. 1983. Niveles de P disponible en suelos pampeanos. IDIA 409-412: 1-5. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Ferrari, M., R. Melchiori, y H. Fontanetto. 2005. Fósforo en soja, el aporte de la fracción orgánica. Actas XIII Congreso Nacional de AAPRESID. Rosario, Santa Fe.
- Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot. 2012. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos y el balance de nutrientes. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 6:2-6. IPNI.
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región Crea Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 200-2009. 2^{da} ed. AACREA. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-1513-07-9. 64 p.
- García, F., y M.F. González Sanjuan. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 48:1-5. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, y H. Angelini. 2010. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y extrapampeana de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 2:1-7. IPNI.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, y H. Angelini. 2011. Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones Pampeana y extrapampeana de Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 4:14-18. IPNI. *

Mejores prácticas de manejo de la fertilización de trigo: Dos experiencias de INTA 9 de Julio - Buenos Aires, Argentina

Luis Ventimiglia y Lisandro Torrens Baudrix*

Las mejores prácticas de manejo (MPM) de uso de fertilizantes involucran aplicar la **fuerza** de nutriente correcta, en la **dosis**, el **momento** y el **lugar** correctos. Estas decisiones son críticas para alcanzar una óptima eficiencia de uso de los nutrientes en el sistema de producción, incrementando la productividad de los cultivos y reduciendo el impacto ambiental. En este artículo se resumen dos experiencias llevadas a cabo por la UEEA INTA 9 de Julio (Buenos Aires, Argentina) en la campaña de trigo 2011/12 con la finalidad de evaluar fuentes alternativas de nitrógeno (N) y localizaciones alternativas para fertilizantes fosfatados.

1. Uso de inhibidores de ureasa en aplicaciones superficiales de urea en trigo

El N es uno de los nutrientes que se agregan en mayor cantidad en la agricultura extensiva de la región pampeana argentina. En general, la mayoría de los cultivos invernales y estivales, exceptuando la soja, son fertilizados con cantidades variables de fertilizantes nitrogenados. Si bien existe una amplia gama de productos que proveen N, el más ampliamente difundido es la urea (46-0-0). En cuanto a la forma de aplicación, en general, los fertilizantes nitrogenados sólidos son aplicados en cobertura total o en bandas, con o sin incorporación; mientras que los líquidos son aplicados en forma de chorreado o inyectados.

Una pérdida de significancia del N aplicado como urea se puede dar a través de la volatilización de amoníaco (NH_3). El N de la urea se encuentra bajo la forma de amida, no pudiendo ser aprovechado directamente por las plantas. Para ello, la urea debe hidrolizarse por la acción de la enzima ureasa, que se encuentra en el suelo y, en mayor cantidad, en los rastrojos de cosecha.

La ureasa desdobla la molécula amida produciendo NH_3 y dióxido de carbono, gases que pueden difundir con facilidad hacia la atmósfera. De no hacerlo, el NH_3 , por la acción de diferentes microorganismos es oxidado hasta llegar al estado de nitrato (NO_3^-), producto de gran movilidad en el suelo y de fácil absorción por parte de las plantas (Figura 1).

Existen factores que aceleran las pérdidas de N cuando se aplica urea en cobertura total sin incorporación

a un suelo, entre otras podemos mencionar: i) tiempo cálido; ii) suelos alcalinos (pH elevado); iii) alto nivel de residuos en superficie, los cuales incrementan la actividad de la ureasa; iv) vientos de cierta consideración ($> 15 \text{ km h}^{-1}$), que arrastran las capas de aire superficial, favoreciendo la volatilización; v) falta de lluvias o riego por dos o más días posteriores a la aplicación; y vi) suelos de textura liviana (arenosos) (Barreto y Westerman, 1989).

Numerosas investigaciones en los últimos años han desarrollado productos inhibidores de la actividad de la enzima ureasa que demoran la hidrólisis de la urea y, con ello, consiguen reducir las pérdidas por volatilización en aplicaciones de urea superficiales. Los productos más efectivos en la inhibición de la ureasa han sido los análogos de la urea, tales como los fosfordiamidatos y fosfortriamidatos, los mismos han mostrado tener una fuerte acción inhibidora en concentraciones muy bajas, entre los productos de esta familia se encuentra el nBTPT (N-butyl thiophosphoric triamida), (Martens y Bremner, 1984; Buresh et al., 1988; Watson et al., 1994; Cantarella y Marcelino, 2007). El objetivo de esta experiencia fue evaluar el uso de urea estabilizada mediante nBTPT comparado con urea como fuente nitrogenada en un cultivo de trigo en la zona de 9 de Julio, Buenos Aires.

Materiales y métodos

Se instaló un ensayo en un lote que tenía como antecesor soja de primera y con siembra directa por más de 20 años, con una secuencia trigo/soja – maíz – soja sobre un suelo Hapludol éntico. La siembra se efectuó el 26 de junio de 2011 con la variedad Klein Yará. Se realizó una fertilización de base en la línea de siembra con 115 kg ha^{-1} a base de una mezcla de grado

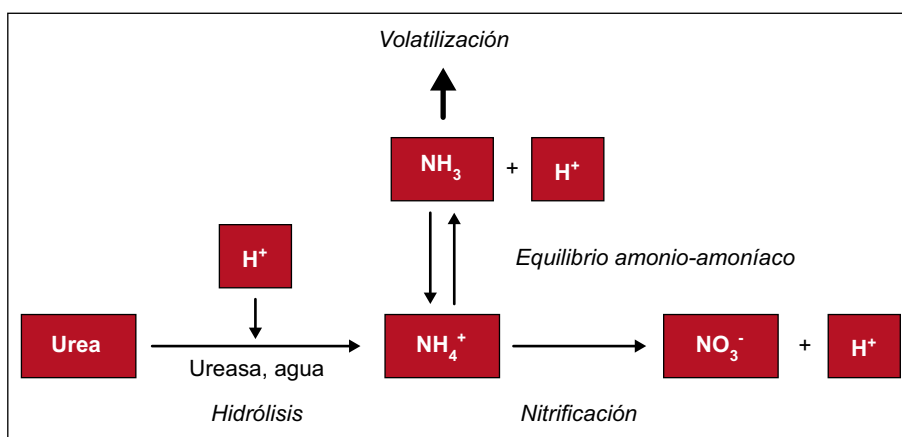


Figura 1. Reacciones de hidrólisis de urea, y posterior nitrificación y/o volatilización de amoníaco.

* UEEA INTA 9 de Julio. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: a9julio@internueve.com.ar

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados en trigo. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. La letra "x" representa el N del suelo al momento de la siembra del cultivo. La dosis de N surge de restar esa cantidad "x" a 60 kg y 120 kg según el tratamiento.

Tratamiento	Descripción	Dosis de N (kg ha ⁻¹)
T1	Sin N	0
T2	Urea	60 - x
T3	Urea + nBTPT	60 - x
T4	Urea	120 - x
T5	Urea + nBTPT	120 - x

5.5 – 11.5 – 0 – 9.3S – 11.8Ca. Previo a la siembra se realizó un análisis de suelo (0-20 cm), con los siguientes resultados: materia orgánica (MO) 2.7 %, pH 5.7, y P Bray-I 3.6 ppm. El contenido de N-NO₃⁻ a la siembra (0-60 cm) se estimó en 29 kg N ha⁻¹.

El ensayo se condujo bajo un diseño en bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados se describen en la **Tabla 1**. Para dos tratamientos, la urea fue tratada con nBTPT (Agrotain ©), previo a la siembra a la dosis de 3 cc kg⁻¹ de producto. En todos los casos, el fertilizante fue aplicado al voleo 13 días posteriores a la siembra del trigo (06/07/11).

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA y los tratamientos fueron comparados mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS) al 5% de probabilidad. El manejo del cultivo fue el convencional para la zona en cuanto a control de malezas, enfermedades e insectos.

Resultados y discusión

Los rendimientos en grano de todos los tratamientos fertilizados con N se diferenciaron estadísticamente del rendimiento del tratamiento testigo sin N (T1) (**Figura 2**). Por otra parte, los rendimientos de los tratamientos de urea con nBTPT superaron a los de urea, aun a igual dosis de N.

Las eficiencias agronómicas de N (EAN, kg respuesta trigo kg⁻¹ N aplicado) logradas con urea sin nBTPT,

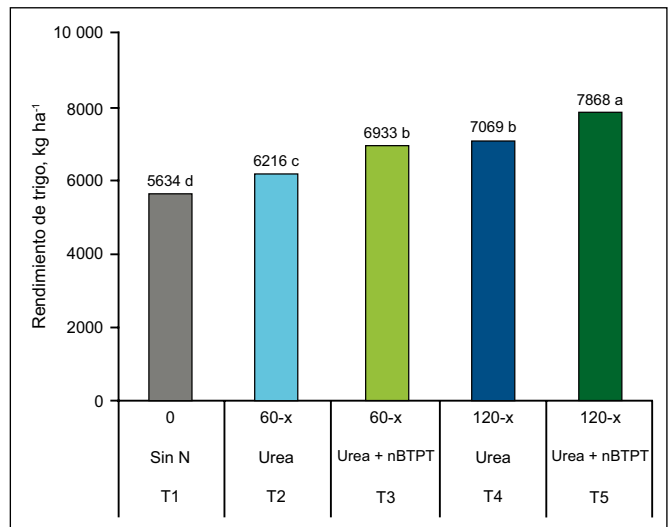


Figura 2. Rendimiento de trigo con diferentes dosis y fuentes de N. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Medias seguidas por letras distintas, indican diferencias significativas (p < 0.05).

fueron de 18.8 y 15.8 kg trigo kg⁻¹ N para T2 y T4, respectivamente. Con las mismas dosis de aplicación de N, los tratamientos de urea con nBTPT alcanzaron EAN de 41.9 y 24.5 kg trigo kg⁻¹ N, para T3 y T5, respectivamente.

Las diferencias entre urea y urea+nBTPT podría deberse a pérdidas por volatilización, que pudieron haber ocurrido a pesar de las bajas temperaturas en la época de aplicación. Cabe destacar que desde el momento de aplicación de la urea hasta producirse la primera lluvia (34 mm) transcurrieron 12 días, por lo que la urea no fue incorporada por efecto de precipitaciones.

Es posible que la mayor eficiencia de la urea con nBTPT sea consecuencia no solo de menores pérdidas por volatilización, sino también por la liberación más gradual del N, lo que posibilita la coincidencia de una mayor disponibilidad de N en momentos de mayor necesidad del cultivo.

Al analizar económicamente los resultados (**Tabla 2**), considerando solamente los costos variables y los beneficios que se pueden obtener por la práctica de fertilización, se encontró que la urea con nBTPT superó ampliamente a la urea común, siendo de esta manera

Tabla 2. Análisis económico parcial de la fertilización nitrogenada en trigo comparando dosis y fuentes de N. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Precios vigentes al momento del análisis: Urea a 650 U\$S t⁻¹; nBTPT + tratamiento: 0.235 U\$S kg urea⁻¹; trigo a 130 U\$S t⁻¹; Cambio dólar a 4.35 A\$ / U\$S. A\$, pesos argentinos; U\$S, dólares americanos.

Tratamiento	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg trigo ha ⁻¹)	Costo tratamiento (A\$ ha ⁻¹)	EAN (kg trigo kg ⁻¹ N)	Beneficio Bruto (A\$ ha ⁻¹)	Beneficio Neto (A\$ ha ⁻¹)
T5	91 (120 - x)	2234	606	24.5	1263	657
T4		1435	560	15.8	812	252
T3	31 (60 - x)	1299	207	41.9	735	528
T2		582	191	18.8	329	138

no solamente beneficioso para el ambiente, al presentar un menor riesgo de contaminación, sino también para la economía del productor y, consecuentemente, del país.

Conclusiones

El uso de urea tratada con nBTPT permitió mejorar la utilización del N por parte del cultivo de trigo, reflejándose esto en una mayor eficiencia de uso del N aplicado (EAN). Adicionalmente las variables económicas involucradas en la práctica, mostraron también un impacto positivo relevante del uso de este tipo de tecnología.

El presente trabajo debería continuarse y profundizarse, a efectos de ratificar o rectificar los resultados aquí obtenidos, contribuyendo, de este modo, al desarrollo de las mejores prácticas de fertilización nitrogenada en cultivos de trigo.

2. Localización de fertilizantes fosfatados para el cultivo de trigo

En general, la fertilización fosfatada en cultivos extensivos en Argentina se realiza en la banda o línea de siembra. Este método de aplicación del fósforo (P) presenta como ventajas, entre otras, la de colocar en un lugar estratégico al nutriente para que las raíces lo puedan tomar y la de realizar todo en una sola operación (siembra y fertilización), y como desventajas, la posible fitotoxicidad cuando se usan dosis altas y el fertilizante queda en contacto con la semilla, las demoras en la carga de la tolva de la máquina, y la desuniformidad en la dotación del nutriente a lo largo y ancho del lote.

Un método alternativo es la aplicación del fertilizante fosforado en cobertura total, sin incorporación, previo a la siembra del cultivo. Los resultados obtenidos en otros países y regiones de Argentina han sido exitosos, encontrándose similares eficiencias de uso entre el P aplicado con aplicaciones en bandas y en cobertura total (Bianchini, 2003; Barbagelata, 2011).

A fin de continuar la evaluación zonal de la aplicación en cobertura de fertilizantes fosfatados, la Agencia INTA 9 de Julio realizó en la campaña 2011/12 una nueva experiencia de fertilización en trigo, como las realizadas en años anteriores, en donde se compararon las fertilizaciones en línea y al voleo, utilizando diferentes dosis de P.

El ensayo se condujo en el mismo sitio que el ensayo de fuentes de N descrito anteriormente, por lo que corresponden los mismos datos de análisis de suelo ya presentados. En esta experiencia la siembra se realizó el 24 de junio de 2011, empleándose la variedad Baguette 9, a razón de 98 kg ha⁻¹, sembrada a 0.23 m entre hileras.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de fertilización fosfatada evaluados en trigo. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio.

Tratamiento	Método de aplicación	Dosis de P (kg ha ⁻¹)
T1	-	0
T2	Cobertura	10
T3	Línea	10
T4	Cobertura	20
T5	Línea	20
T6	Cobertura	30
T7	Línea	30

Los tratamientos evaluados se presentan en la **Tabla 3**, y fueron dispuestos en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones.

La fuente fosforada empleada fue fosfato monoamónico. La aplicación fue al voleo en cobertura total, y en todos los casos se aplicó el mismo día de la siembra o el día previo a la realización de la misma, en tanto que la aplicación en la línea de siembra se realizó con la sembradora en la siembra.

Todos los tratamientos, incluido el testigo, recibieron, posterior a la siembra, la aplicación de 90 kg N ha⁻¹ como urea y 10 kg S ha⁻¹ como sulfato de calcio. Ambos nutrientes fueron aplicados inmediatamente luego de sembrarse el ensayo, en cobertura total sin incorporación. A lo largo del ensayo se realizaron aplicaciones de agroquímicos, para controlar malezas, enfermedades e insectos.

Los datos de rendimiento obtenidos fueron sometidos a un análisis de ANOVA y los tratamientos fueron comparados mediante el test de DMS ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Los rendimientos de todos los tratamientos fertilizados con P fueron superiores al rendimiento del testigo (**Figura 3**). Esta situación parecería tener una cierta lógica en un lote tan carente de este nutriente (P Bray-I = 3.6 ppm).

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las formas de aplicación al voleo o en la línea, aunque se observó una tendencia de mayor rendimiento con aplicaciones en la línea, especialmente a la dosis menor (T3 vs T2, **Figura 3**). Por otra parte, si analizamos todos los datos en conjunto encontramos una respuesta lineal a P, la cual no decae aún en la dosis mayor de P suministrada (**Figura 4**).

Las eficiencias agronómicas de P (EAP, kg respuesta trigo kg⁻¹ P aplicado) logradas fueron muy altas, variando desde 82 kg trigo kg⁻¹ P para la menor dosis de P aplicado

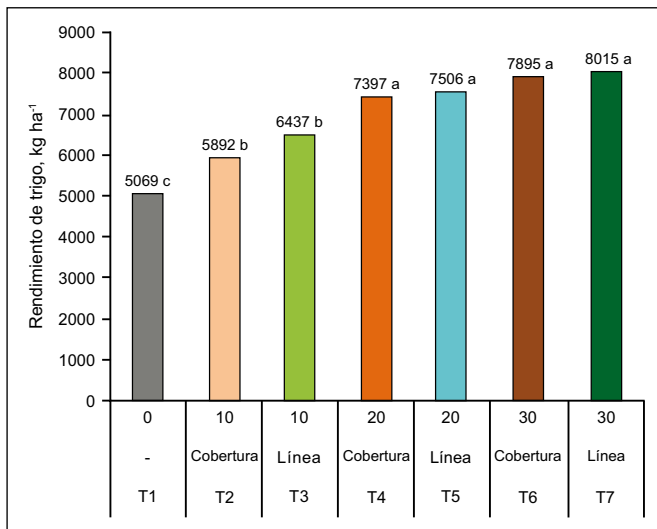


Figura 3. Rendimiento en grano de trigo para los distintos tratamientos de localización del fertilizante fosfatado. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Medias seguidas por letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

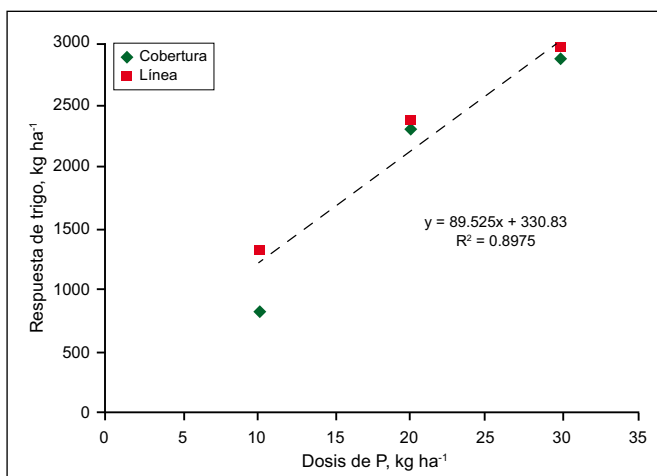


Figura 4. Respuesta en rendimiento de trigo en función de la dosis de P aplicada al voleo o en línea de siembra. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio.

al voleo (T2), hasta 137 kg trigo kg^{-1} P para la dosis menor aplicada en la línea (T3). Las aplicaciones con 20 kg P ha^{-1} , alcanzaron EAP de 116 y 122 kg trigo kg P aplicado al voleo (T4) y en la línea (T5), respectivamente; mientras que con dosis de 30 kg P ha^{-1} , las aplicaciones al voleo (T6) y en la línea (T7) alcanzaron valores de 94 y 98 kg trigo kg^{-1} P, respectivamente.

Conclusiones

La experiencia realizada en esta campaña concuerda con los resultados obtenidos por esta misma unidad en los años anteriores. En lotes bajo siembra directa bien estructurados, con una buena física de suelo, sin densificaciones, con buena cantidad de macro y meso poros, el P puede ser aplicado tanto en cobertura total como al voleo previo a la siembra del cultivo de trigo. La aplicación anticipada sería adecuada, dado que de esa manera habría mayores posibilidades de recibir precipitaciones. De todos modos, esta no sería una

condición indispensable, dado que como se aprecia en este ensayo, aún con muy bajo contenido de P Bray (<5 ppm), las aplicaciones en el mismo momento de la siembra pueden generar resultados satisfactorios, tanto al voleo como en la línea. Una posible mejora de la práctica podría ser aplicar una pequeña cantidad en la línea de siembra, no más del 20% del fertilizante fosforado que se piensa aplicar, esparciendo con anterioridad en cobertura total el grueso del mismo. Esta alternativa podría darnos la posibilidad de lograr excelentes uniformidades de implantación, mejorando la situación principalmente en lotes con muy bajo cantidad de P y tiempo muy frío.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los Sres. Bueno y Scalice del establecimiento "Dos Amigos", lugar donde se condujeron las experiencias, por el apoyo recibido, como así también a los Sres. Gustavo Bueno, Diego Giansiracusa, Jorge Primiani, por la colaboración recibida, al Sr. Sergio Meroni y equipo, por la cosecha, y a los Ings. Juan Vanina y Juan Tamborenea de la empresa ASP, filial French, por la provisión de la urea tratada.

Bibliografía

Barbagelata, P. 2011. Fertilización fosfatada para trigo y maíz en siembra directa: Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización. Actas Simposio Fertilidad 2011. IPNI-Fertilizar AC. pp. 90-97.

Barreto, H.J., y R.L. Westerman. 1989. Soil urease activity wheat residue management systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1455-1458.

Bianchini, A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". IPNI Cono Sur. pp. 79-82.

Buresh, R.J., S.K. De Datta, J.L. Padilla, y M.I. Samson. 1988. Field evaluation of two urease inhibitors with transplanted lowland rice. Agron. J. 80:763-768.

Cantarella, H., y R.O. Marcelino. 2007. Uso de inhibidor de urease para aumentar la eficiencia de la urea. In: Yamada, T. and Castro, P.R.C. Simpósio sobre informacoes recentes para otimizacao da producao agrícola. Piracicaba, international plant nutrition institute. 19 p.

Martens, D.A., y J.M. Bremner, J.M. 1984. Effectiveness of phosphoroamides for retardation of urea hydrolysis in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:302-305.

Watson, C.J., H. Millar, P. Poland, D.J. Kilpatrick, M.B.D. Allen, M.K. Garret, y C.B. Christianson. 1994. Soil properties and the applications of the urease inhibitor (N(n-butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) for improved the efficiency of urea fertilizer utilization on temperate grassland. Grass and forage science, 53:137-145. *

Estudio de la contribución de nitrógeno por parte de los cultivos de cobertura al cultivo de maíz

Romina Fernández^{1,2}, Matías Saks³, Mauricio Uhaldegaray², Alberto Quiroga^{1,2} y Elke Noellemeier²

Introducción

La utilización de cultivos de cobertura (CC) persigue varios objetivos como, por ejemplo, el control de malezas (Abdin et al., 2000; Gerowitt, 2003), el aumento de las reservas de carbono (C) de los sistemas de producción agrícolas (Follett, 2001; Dinesh, 2004; Ding et al., 2006), y el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Franzluebbers y Stuedemann, 2008). En muchos casos, los CC son fertilizados para lograr una mayor producción de biomasa y, de esta manera, aumentar el secuestro de C (Follett, 2001) y mejorar la cobertura del suelo. Los CC fertilizados pueden afectar las emisiones de óxido nitroso (N₂O) del suelo (Petersen et al., 2011) pero también mejorar la disponibilidad de nitrógeno (N) para los cultivos posteriores (Ranells y Waggoner, 1997; Mohammadi, 2010).

En ambientes semiáridos o sub-húmedos, uno de los principales problemas para incluir los CC es su efecto potencialmente negativo sobre la disponibilidad de agua para los cultivos de cosecha (Restovich et al., 2012), lo que podría reducir el rendimiento potencial. Sin embargo, resultados preliminares indican que, en la pampa semiárida, el impacto negativo de los CC en el agua almacenada podría ser insignificante y no se esperarían disminuciones significativas del rendimiento de cultivos de cosecha (Fernández et al., 2010), coincidiendo con experiencias en otros ambientes semiáridos (Fengrui et al., 2000).

En estas condiciones, el manejo eficiente de los nutrientes en la secuencia de cultivos comerciales y CC será crucial para compensar costos adicionales de CC. En este sentido, el N es especialmente importante debido a las múltiples pérdidas que pueden ocurrir durante los periodos de barbecho y de cultivo (Tonitto et al., 2006). Los CC contribuyen con la disponibilidad de N para los cultivos de cosecha (Sainju et al., 2006; Mohammadi, 2010; Restovich et al., 2012) pero aún existe incertidumbre acerca de la eficiencia de uso del N que se entrega a través de la mineralización de los residuos de los CC, y la sincronización entre la mineralización y la absorción del N por parte de la planta.

El principal objetivo de este trabajo fue determinar los efectos del centeno como CC y del manejo de la fertilización nitrogenada del mismo, sobre la producción de grano y absorción de N de un cultivo posterior de maíz en la región semiárida pampeana de Argentina.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un experimento a campo en la Estación Experimental del INTA Anguil, La Pampa, Argentina (latitud: 36° 31' 00" S y longitud: 64° 01' 00" W). Los tratamientos consistieron en barbecho sin CC y sin aplicación de N, y uso de CC con distintas combinaciones de N aplicado al CC y/o al maíz (**Tabla 1**). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 5 repeticiones, con parcelas de 10 x 5 m.

El 12 de abril de 2010 se sembró centeno (*Secale cereale* var. Quehué) como CC, con una densidad de 200 plantas m⁻². El N para el CC se aplicó como una solución de urea y nitrato de amonio (UAN, 32% N) en la etapa de Zadoks 21 del cultivo. Posteriormente al secado químico del centeno en octubre, se sembró maíz el 2 de diciembre de 2010 sobre las mismas parcelas. El N para el maíz se aplicó el 3 de enero de 2011 al estado de V6, también en forma de UAN (32% N).

El agua útil (AU) y el contenido de N como nitratos (N-NO₃⁻) fueron determinados en 6 momentos durante los ciclos de los cultivos: i) siembra del CC, ii) encañazón del CC, iii) secado del CC, iv) estadio de 6 hojas del maíz, v) floración del maíz, y vi) madurez fisiológica del maíz. La humedad del suelo se determinó por peso en intervalos de 0.2 m de profundidad a una profundidad de suelo total de 1.4 m en el CC y 2.0 m en maíz. Se determinó la densidad aparente (Dap) para cada intervalo de profundidad utilizando cilindros de acero de volumen

Tabla 1. Esquema de los tratamientos de fertilización nitrogenada aplicados en el cultivo de cobertura (CC) y maíz. Campaña 2010/11. EEA INTA Anguil.

Tratamiento	CC	Maíz	Total
	----- N (kg ha ⁻¹) -----		
Sin CC	0	0	0
N0	0	0	0
N40	40	0	40
N80	80	0	80
N100	40	60	100
N200	80	120	200

¹ INTA Anguil. Ruta 5 km 580. Anguil, La Pampa, Argentina.

² Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

³ Departamento de Desarrollo- Bunge Argentina S.A.

conocido. Los contenidos de humedad de suelo fueron convertidos en AU en mm, teniendo en cuenta la profundidad, la Dap y sumando todas las capas. El contenido de $N-NO_3^-$ se determinó en intervalos de 0.2 m hasta 1.0 m, mediante la técnica colorimétrica de ácido crómico y considerando la Dap de cada intervalo de profundidad.

Se determinó la materia seca aérea del CC (MS) en tres momentos (julio, agosto y octubre), cortando el material vegetal en un área de 0.25 m² a nivel del suelo y determinando su peso seco. Por otro lado, se evaluó la materia seca de residuo del CC recogiendo la cantidad total de residuos en un área de 0.25 m² en la siembra y la cosecha del maíz. Se determinó el contenido de C por combustión seca (LECO analizador, modelo CR-12), el contenido de N (método de Kjeldahl semi-micro) y el contenido de P total (mediante emisión atómica espectrometría acoplados por plasma inductivo) en la MS del CC y en los residuos.

Para los distintos tratamientos, se determinaron la eficiencia agronómica (EA) de uso del N, estimada como el cociente entre la respuesta a N en producción de MS del CC o de rendimiento de maíz y la dosis de N aplicada, y la productividad parcial del N (PPN), estimada como el cociente entre el rendimiento en grano de maíz y la dosis de N aplicada (Dobermann, 2007).

Los resultados fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza y prueba de LSD a $\alpha < 0.01$ con el software Infostat.

Resultados y discusión

El contenido de agua útil durante el ciclo de ambos cultivos se mantuvo por encima del 40% en los primeros 140 cm del perfil de suelo. Se registró el máximo contenido de agua útil a la siembra de maíz y el menor en floración del mismo (**Tabla 2**).

Durante la temporada de crecimiento del CC, el $N-NO_3^-$ en el suelo no mostró diferencias entre CC N0 y CC N80 (**Tabla 3**), indicando que el N del fertilizante aplicado fue absorbido por el cultivo y/o inmovilizado en fracciones orgánicas. El contenido de $N-NO_3^-$ aumentó de 34 hasta 112 kg N ha⁻¹ en el tratamiento sin fertilizar, lo cual indica que durante el periodo de crecimiento del CC ocurrió una importante mineralización de N del suelo.

La respuesta en producción de MS aérea del CC a la fertilización con N fue significativa para el tratamiento de N80 en los muestreos de agosto y octubre, con una diferencia final de 1592 kg MS ha⁻¹ respecto de N0 (**Tabla 4**). Las diferencias entre N0 y N40 no fueron significativas, al igual que entre las dosis de 40 y 80 kg de N ha⁻¹. La respuesta en rendimiento que se observó en el tratamiento N80 representó una EA del N de 19.9 kg MS por kg N ha⁻¹.

Tabla 2. Contenido de agua útil del suelo en cultivos de cobertura (CC) sin fertilizar (N0) y fertilizados (N80).

Tratamiento	Agua útil (mm) 0-140 cm				
	Siembra CC	Encañazón del CC	Siembra maíz	Floración maíz	Madurez fisiológica maíz
N0		65	114	59	73
N80	85	55	115	43	62

Tabla 3. Contenido total de $N-NO_3^-$ del suelo en cultivos de cobertura (CC) sin fertilizar (N0) y fertilizados (N80).

Tratamiento	$N-NO_3^-$ (kg ha ⁻¹) 0-100 cm				
	Siembra CC	Encañazón del CC	Siembra maíz	Δ Siembra CC - Encañazón CC	Δ Encañazón CC - siembra maíz
N0		53 a	112 a	19 a	59 a
N80	34	44 a	123 a	12 a	78 a

Tabla 4. Materia seca aérea (MS) del cultivo de cobertura (CC) durante el ciclo de crecimiento (julio y agosto) y secado (octubre) en tratamientos con 0, 40 y 80 kg N ha⁻¹ aplicado como fertilizante.

Tratamiento	Materia seca aérea (kg MS ha ⁻¹)		
	Julio	Agosto	Octubre
N0	2830 a	3866 b	5464 b
N40	3081 a	4736 ab	5868 ab
N80	3526 a	4956 a	7056 a

Las concentraciones de C, N y P en la MS no fueron diferentes entre tratamientos (datos no mostrados), por lo que las diferencias encontradas en la producción de biomasa entre los tratamientos se reflejaron en los contenidos totales de C, N y P en la MS del CC. Los contenidos de C, N y P fueron significativamente mayores en N80 comparado con N0, no observándose diferencias entre N0 y N40 y entre N40 y N80 (**Tabla 5**).

Si se asume que el N contenido en la biomasa del CC en el tratamiento N0 fue aportado por la cantidad de N disponible a la siembra del CC y la mineralización de N de la materia orgánica del suelo durante su crecimiento,

el suelo proporcionaría alrededor de 60 kg N ha⁻¹ para el centeno.

Las recuperaciones de N del fertilizante por el CC al momento del secado, se estiman en 45% y 43% para N40 y N80, respectivamente, considerando las diferencias de N acumulado entre estos tratamientos y el N0, y las dosis de N aplicadas.

En V6 del cultivo de maíz se encontró que la MS del residuo del centeno había disminuido con respecto a la cantidad al momento de secado (**Tabla 6**). También se encontraron importantes pérdidas de MS del residuo, C,

N y P desde el estado V6 a cosecha del maíz. Las diferencias observadas entre el secado del CC y la cosecha de maíz fueron de 1076, 1442 y 1620 kg C ha⁻¹; 38, 44 y 50 kg N ha⁻¹; 8.5, 9.5 y 11,2 kg P ha⁻¹ para N0, N40 y N80, respectivamente. Esto implicaría que los residuos del centeno habrían proporcionado al maíz entre 38 y 50 kg N ha⁻¹ y entre 8 y 11 kg P ha⁻¹.

La inclusión del CC (comparación Sin CC vs. N0) mostró una tendencia positiva aunque no significativa en el rendimiento del maíz (**Figura 1**). El N aplicado en el CC (comparación entre tratamientos N0, N40 y N80) incrementó significativamente el rendimiento de maíz. La aplicación de N en el cultivo de maíz resultó en diferencias significativas en rendimiento del cultivo (comparaciones N40 vs. N100 y N80 vs. N200). Sin embargo, no se observaron diferencias en rendimiento del maíz comparando la aplicación de 80 kg N ha⁻¹ en el CC con la aplicación de 40 kg N ha⁻¹ en el CC más 60 kg N ha⁻¹ en el maíz (comparación N80 vs. N100).

El N aplicado al CC (**Tabla 7**) fue muy eficiente en términos de mejora de la producción de grano de maíz con

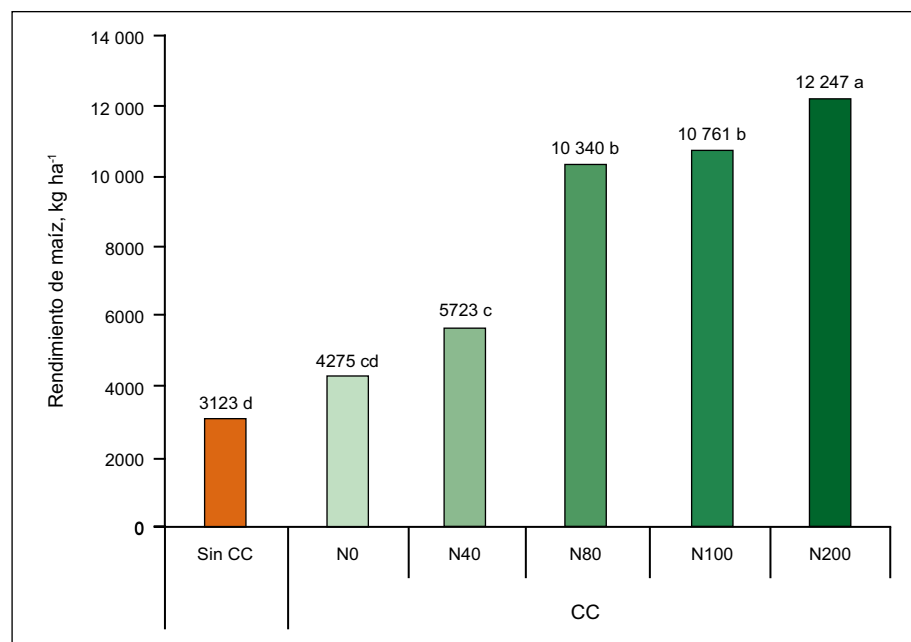


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz en respuesta a diferentes dosis de N aplicado al cultivo de cobertura (CC) y al maíz.

Tabla 5. Contenido total de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) en la materia seca del cultivo de cobertura al momento de secado, en los tratamientos 0, 40 y 80 kg N ha⁻¹ aplicado como fertilizante.

Tratamiento	kg ha ⁻¹		
	C	N	P
N0	2358 b	60.4 b	10.0 b
N40	2521 ab	78.4 ab	12.0 ab
N80	3085 a	94.8 a	13.8 a

Tabla 6. Materia seca (MS) y contenido de nutrientes en el residuo de CC, al estado de 6 hojas de maíz (V6) y a la cosecha del cultivo de maíz.

Tratamiento	MS		C		N		P	
	V6	Cosecha	V6	Cosecha	V6	Cosecha	V6	Cosecha
	kg ha ⁻¹							
N0	3018 b	2372 b	1215 b	916 b	25.2 b	22.3 b	3.65 b	1.50 b
N40	4642 a	3579 a	1911 a	1445 a	47.5 a	34.8 a	6.28 a	2.50 a
N80	4649 a	3755 a	1911 a	1465 a	48.8 a	44.6 a	6.08 a	2.60 a

Tabla 7. Eficiencia agronómica (EA) del N del fertilizante aplicado en el cultivo de cobertura (CC) o en el maíz, para los distintos tratamientos evaluados con CC.

Tratamiento	N total aplicado (kg N ha ⁻¹)	EA del N total aplicado (kg grano kg ⁻¹ N aplicado)	Productividad parcial de N (kg grano kg ⁻¹ N)	Respuesta en rendimiento a la fertilización con N del maíz (kg grano ha ⁻¹)	EA del N aplicado en maíz (kg grano Kg ⁻¹ N aplicado)
N40	40	36 b	143	-	-
N80	80	76 a	129	-	-
N100	100	64 a	108	5038 a	84 a
N200	200	40 b	61	1907 b	16 b

Tabla 8. Balance aparente de N en maíz para los diferentes tratamientos.

	Sin CC	N0	N40	N80	N40+60	N80+120
	----- kg N ha ⁻¹ -----					
Contribución del CC	0	38	44	50	44	50
Fertilización	0	0	0	0	60	120
Oferta N suelo	69	69	69	69	69	69
Suministro total de N	69	107	113	119	173	239
Absorción total	69	94	126	228	237	269
Diferencia entre suministro y absorción	0	13	-13	-109	-64	-30

una EA de 76 kg grano kg⁻¹ N para el tratamiento N80, y muy efectivo en producción del cultivo con una PPN de 129 kg grano kg⁻¹ N para el mismo tratamiento N80. El tratamiento N100, 40 kg N ha⁻¹ al CC más 60 kg ha⁻¹ al maíz, también alcanzo niveles semejantes de EA y aceptables de PPN (García y Salvagioti, 2009). Esto indicaría que las dosis óptimas de N para el maíz en rotación en este suelo podrían estar entre 80 y 100 kg ha⁻¹.

El N suministrado por la mineralización de los residuos del CC estuvo aparentemente disponible para el cultivo de maíz, como se muestra en las respuestas de rendimiento. Experiencias similares se encontraron en maíz de regadío (Mohammadi, 2010) sorgo y algodón en las grandes llanuras de los Estados Unidos (Sainju et al., 2006), donde el efecto del CC se encontró principalmente relacionado con la retención de nitratos reduciendo o evitando las pérdidas de lixiviación.

Con el fin de comparar el balance aparente de N en maíz de los diferentes tratamientos, se determinó la absorción de N total del cultivo estimando un requerimiento promedio de 22 kg N Mg⁻¹ rendimiento de maíz. El suministro total de N aparente se calculó con la cantidad de N mineralizado de la materia seca del CC (Tabla 6), el N aplicado como fertilizante para el cultivo de maíz y la oferta de N del suelo (N disponible a la siembra más mineralización durante el ciclo del cultivo) (Tabla 8). Un importante supuesto en la estimación

de estos balances aparentes de N es que la oferta de N del suelo se estimó a partir del rendimiento del maíz en el tratamiento sin CC y sin N. Las diferencias positivas entre el suministro total de N y la absorción de N del maíz, indicarían un exceso de oferta de N que se puede traducir en la acumulación de N-NO₃⁻ en el suelo a cosecha o en pérdidas durante el ciclo del cultivo (lavado, desnitrificación). Diferencias negativas entre el suministro y la absorción indicarían una mayor oferta de N del suelo no determinada a través de las mediciones efectuadas durante el experimento, quedando incluidas en el error experimental.

Los resultados del balance aparente indican que el N derivado del residuo fue una importante fuente para maíz en los tratamientos de CC, contribuyendo en un 36% al suministro total de N para el maíz (comparación tratamientos Sin CC vs. N0) (Tabla 8).

La diferencia marcadamente negativa entre el suministro de N estimado y la absorción de N del cultivo en el tratamiento N80, y de menor nivel en los tratamientos N40+60 y N80+120, indica que el planteo experimental no fue adecuado como para determinar todas las fuentes de N disponibles para el maíz. Estas fuentes adicionales de N para el maíz pudieron provenir del N del fertilizante no absorbido por el CC y/o de una mayor mineralización de N orgánico del suelo debido a la aplicación de N.

Conclusiones

Los resultados de este experimento mostraron que la inclusión del centeno como CC resultó una práctica positiva en el reciclaje de N para el cultivo de maíz posterior. La mayor proporción del N del centeno sirvió como suministro del nutriente para el cultivo de maíz. La respuesta en rendimiento de maíz para el N aplicado al CC fue significativa para la dosis de 80 kg N ha⁻¹, y las mayores EA de N se lograron con esta dosis aplicada al CC y en la aplicación dividida de 40 y 60 kg N ha⁻¹ al CC y al maíz, respectivamente. El N proveniente del residuo representó una importante contribución a la absorción de N para maíz, concluyendo que la fertilización nitrogenada del centeno como CC podría ser una práctica de utilidad para mejorar la disponibilidad de N en maíz.

Bibliografía

- Abdin, O.A., X.M. Zhou, D. Cloutier, D.C. Coulman, M.A. Faris, y D.L. Smith. 2000. Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). *European Journal of Agronomy*, 12:93-102.
- Dinesh, R. 2004. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil and Tillage Research*, 77(1):69-77. doi:10.1016/j.still.2003.11.001
- Ding, G., X. Liu, S. Herbert, J. Novak, D. Amarasiriwardena, y B. & Xing. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130(3-4):229-239. doi:10.1016/j.geoderma.2005.01.019
- Dobermann, A. 2007. Nutrient Use Efficiency – Measurement and management. IFA International Workshop on fertilizer best management practices. 7-9 March, Brussels, Belgium.
- Fengrui, L., Z. Songling, y G.T. Geballe. 2000. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Environment*, 79:129-142.
- Fernández, R., M. Saks, J. Arguello, A. Quiroga, y E. Noellemeyer. 2010. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? Reunión Técnica SUCS -ISTRO, Colonia, Uruguay, 11:1-6.
- Follett, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research*, 61:77-92.
- Franzluebbers, A., y J. Stuedemann. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*, 100(1-2):141-153. doi:10.1016/j.still.2008.05.011
- García, F., y F. Salvagiotti. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. In J. Espinosa y F. García (ed.). *Memorias del Simposio “Uso eficiente de nutrientes”*. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pp. 37-48.
- Gerowitt, B. 2003. Development and control of weeds in arable farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3):247-254. doi:10.1016/S0167-8809(03)00084-7
- Mohammadi, G. R. 2010. The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. *Agricultural Sciences*, 01(03):148-153. doi:10.4236/as.2010.13018
- Petersen, S.O., J.K. Mutegi, E.M. Hansen, y L.J. Munkholm. 2011. Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7):1509-1517. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.soilbio.2011.03.028
- Ranells, N.N., y M.G. Waggener. 1997. Winter annual grass-legume bicultures for efficient nitrogen management in no-till corn. *Ecosystems*, 65:23-32.
- Restovich, S. B., A.E. Andriulo, y S.I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128:62-70. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.012
- Sainju, U., W. Whitehead, B. Singh, y S. Wang. 2006. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. *European Journal of Agronomy*, 25(4):372-382. doi:10.1016/j.eja.2006.07.005
- Tonitto, C., M. David, y L. Drinkwater. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(1):58-72. doi:10.1016/j.agee.2005.07.003. *



Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes

Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot*

Introducción

La relación precio fertilizante:precio grano de soja ha mostrado constantes variaciones durante los últimos años (**Figura 1**), modificando en consecuencia los umbrales críticos económicos y afectando las decisiones de fertilización. Por este motivo, es necesario validar y actualizar los criterios de recomendación teniendo en cuenta parámetros de suelo y los adelantos permanentes en la tecnología de producción.

Tradicionalmente, se ha asociado la respuesta a la fertilización en soja con variables de suelo como el nivel de fósforo (P) extractable, o el contenido de materia orgánica (MO) y azufre (S) extractable (Barbagelata, 2001; Ferraris et al., 2004; García et al., 2006; Ferraris, 2010; Echeverría et al., 2011; Gutiérrez Boem et al., 2011). Sin embargo, ha sido menos explorado si existe asociación entre la respuesta a la fertilización y variables que determinan la calidad del ambiente productivo, como el potencial de rendimiento del lote, atributos físicos y biológicos del suelo, o aspectos que tienen que ver con el manejo del cultivo, como el grupo de madurez (GM) del genotipo elegido, el distanciamiento entre hileras o la fecha de siembra. Generar este conocimiento es relevante puesto que, por razones económicas y ambientales, la fertilización debería estar dirigida a aquellos ambientes y situaciones productivas con mayor probabilidad de respuesta.

Este artículo reporta los resultados de dos ensayos realizados con el objetivo de profundizar el estudio de la interacción entre la respuesta a la fertilización en soja y las variables de cultivo, como el genotipo y la variedad utilizada. Los supuestos del trabajo son que el genotipo y la fertilización afectan el rendimiento del cultivo en la región de estudio, siendo la respuesta a la fertilización variable según el genotipo y el ambiente productivo.

Materiales y métodos

Se realizaron dos ensayos de campo durante dos campañas agrícolas (2010/11 y 2011/12) en el Campo

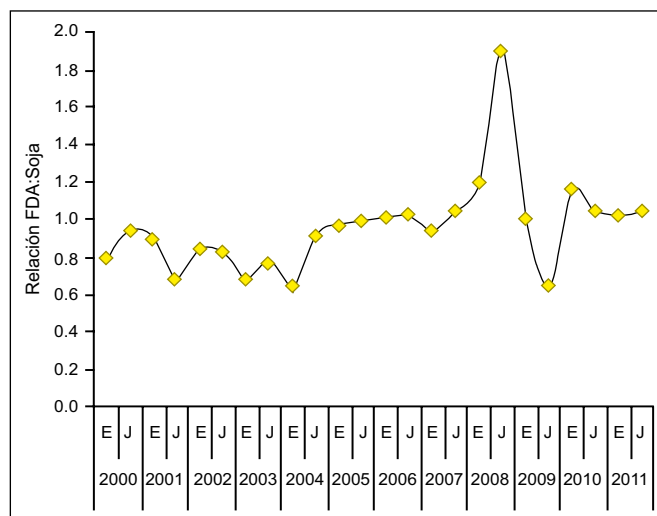


Figura 1. Relación internacional entre el precio del fosfato diamónico (FDA, 18-20-0) y el precio del grano de soja, entre 2000 y 2011 (E=Enero, J=Julio). Adaptado de Campos Carlés et al. (2012), a partir de datos del Banco Mundial.

Experimental de la EEA INTA Pergamino. Algunas características de sitio y manejo de los experimentos se presentan en la **Tabla 1**.

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones, con los tratamientos dispuestos en un factorial con cinco genotipos, representando tres GM (**Tabla 2**), en combinación con cuatro estrategias de fertilización: Testigo absoluto; fósforo ("P", 100 kg ha⁻¹ SFT); P más S ("PS", con SFT más 83 kg ha⁻¹ de yeso), y PS más microelementos ("PS Micros" con SFT, yeso y B y Zn foliares en formas de óxidos, formulaciones floables de alta concentración). Por su parte, en la **Tabla 3** se describen variables de suelo relevantes para la producción del cultivo.

La cosecha se realizó en forma mecánica. Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza, estudiando los efectos de genotipo, estrategias de fertilización y la interacción entre genotipos y estrategias.

Tabla 1. Características de sitio y manejo de los experimentos.

Sitio	Serie de Suelo	Tipo de suelo	Clase de uso	Localización del ensayo	Fecha de siembra	Espaciamiento entre hileras (m)	Densidad de siembra
Pergamino 2010/11	Pergamino	Argiudol típico	I-II	33°57'09" 60°34'12"	22-Nov	0.32	42 pl m ⁻²
Pergamino 2011/12	Pergamino	Argiudol típico	I-II	33°57'29" 60°34'29"	22-Nov	0.40	37.5 pl m ⁻²

* Proyecto Regional Agrícola-CRBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4.5 (2700) Pergamino. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

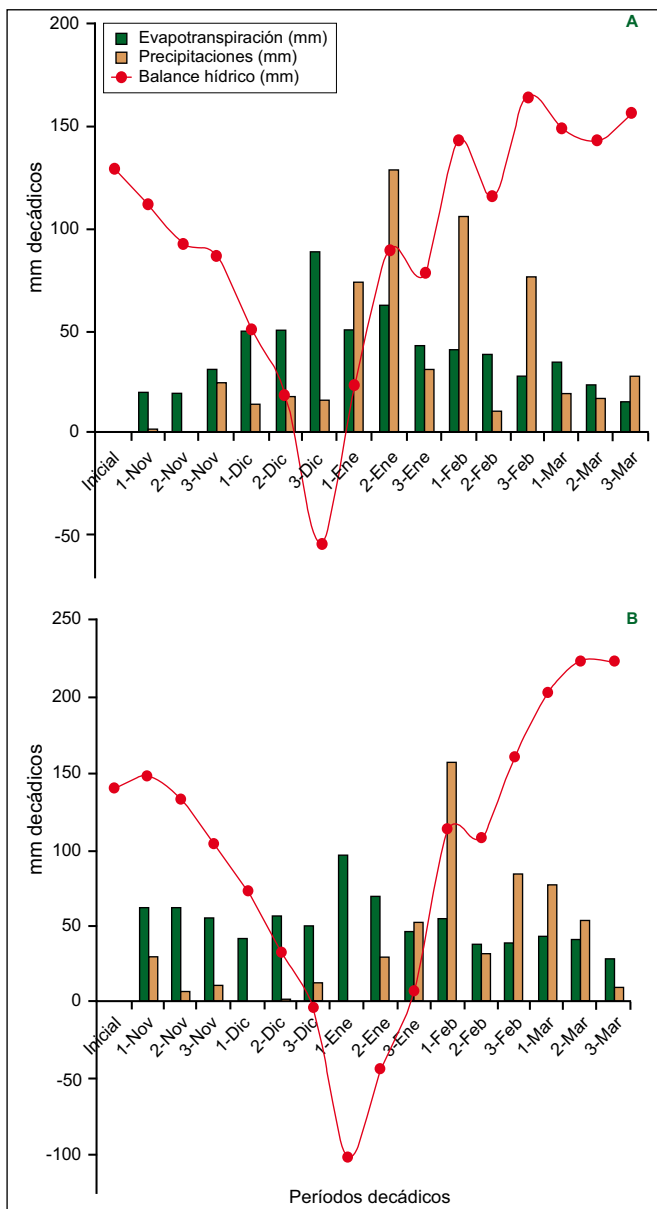


Figura 2. Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos (considerando 2 m de profundidad) en EEA INTA Pergamino, Buenos Aires. A) Campaña 2010/11: Precipitaciones totales 581.6 mm. Déficit acumulado 91 mm. B) Campaña 2011/12: Precipitaciones totales 561.6 mm. Déficit acumulado 157 mm.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas de la campaña

Las condiciones ambientales fueron diferentes entre campañas. Si bien ambas se desarrollaron en un contexto limitado de humedad, en el primer año el periodo de mayor sequía fue menos pronunciado y anticipado a diciembre, permitiendo una mejor recuperación del cultivo; mientras que en 2011/12, la sequía fue de mayor intensidad y ocurrió hacia el mes de enero (Figura 2).

Efecto de tratamientos e interacciones

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de variables cuantificadas durante el ciclo de cultivo. Variables como altura de planta, cobertura y severidad de vuelco se asociaron de manera directa con la longitud de ciclo, caracterizado a través de un GM creciente. En el mismo sentido se reflejó el efecto de la fertilización, mejorando además la intensidad de verde medida por SPAD, aunque sin aumentar el vuelco. Los efectos positivos de la fertilización sobre crecimiento –altura, cobertura e intensidad de verde fueron más acentuados bajo las condiciones especialmente restrictivas de la campaña 2011/12, expresando probablemente la influencia favorable del P en condiciones de recursos limitados. En este sentido, Gutiérrez Boem y Thomas (2002) y Ferraris (2010) informaron respuesta a este nutriente bajo estrés hídrico moderado a severo.

En ambos experimentos se determinó efecto de fertilización ($p < 0.01$) y genotipo ($p < 0.01$) sobre los rendimientos (**Tabla 5**). En el primer ensayo, se verificó interacción Genotipo x Fertilización ($p = 0.02$). Esto significa que la respuesta a la fertilización fue diferencial entre genotipos. Por el contrario, en el segundo año la respuesta fue uniforme, no registrando interacción ($p = 0.42$).

En la **Figura 3** se presentan los resultados de la interacción Genotipo x Fertilización para la campaña 2010/11, y en la **Figura 4** el promedio de los factores Genotipo y Fertilización por separado para 2011/12, puesto que la interacción Genotipo x Fertilización no fue significativa. Los rendimientos, en la campaña 2010/11, variaron entre 3429 kg ha^{-1} (GM V C, Testigo) y 6166 kg ha^{-1} (GM IV C, PS)

(**Figura 3**). La respuesta media a la fertilización (promedio [P, PS, PS+ZnB] – promedio Testigo) fue de 380 kg ha^{-1} (**Figura 3**), pero fue muy contrastante entre GM: los GM III C, GM IV C y GM V C presentaron alta respuesta, intermedia en el GM IV L y prácticamente nula en el GM III L. Ante condiciones favorables de suelo, clima, y fecha de siembra, las variedades de GM corto predominaron sobre las más largas, a lo que se suma que estas últimas registraron un alto grado de vuelco (**Tabla 4**), sometiendo a las plantas a auto-sombreo y enfermedades.

Tabla 2. Genotipos evaluados en los dos ensayos.

Sitio	Grupo de madurez				
	GM III C	GM III L	GM IV C	GM IV L	GM V C
Pergamino 2010/11	SPS 3x1 RR	DM 3810 RR	DM 4210 RR	A 4990 RG	A 5009 RG
Pergamino 2011/12	SPS 3x1 RR	DM 3810 RR	DM 4210 RR	FN 4.5 RR	A 5009 RG

Tabla 3. Análisis de suelo al momento de la siembra para los sitios de ensayo (0-20 cm).

Sitio	P Bray I (0-20 cm) (mg kg^{-1})	MO (0-20 cm) (%)	S-Sulfatos (0-20 cm) (mg kg^{-1})	pH	Zn (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})
Pergamino 2010/11	19.7	3.7	7.7	5.5	0.79	1.53
Pergamino 2010/11	15.7	2.39	12.7	5.3	0.84	0.63

Tabla 4. Variables relacionadas con el crecimiento y estructura de las plantas de soja para el tratamiento testigo y el tratamiento completo (P, S y Micros). EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11. NOTA: Vuelco según escala: 1= todas las plantas erectas – 5 = todas las plantas volcadas.

Grupo de madurez	Fertilización	Campaña 2010/11				Campaña 2011/12			
		Altura (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad R4	Vuelco R6	Altura (cm)	Cobertura R3 (%)	Spad R4	Vuelco R6
GM III C	Testigo	80	88	36.7	1.3	71	85	43.6	1.0
GM III L		85	92	41.4	1.3	76	88	45.3	1.0
GM IV C		82	95	41.7	1.2	80	90	45.5	1.0
GM IV L		90	94	39.9	4.0	89	95	48.6	1.0
GM V C		90	94	41.4	1.5	93	95	44.8	1.2
GM III C	P20S15+ZnB	85	92	43.2	1.0	73	87	41.3	1.0
GM III L		88	95	45.7	1.5	84	94	44.7	1.1
GM IV C		85	95	42.8	1.4	80	90	46.1	1.0
GM IV L		90	90	46.5	4.0	95	95	47.2	1.1
GM V C		90	90	44.5	2.5	82	90	43.3	2.0

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para rendimiento del factorial Genotipo *estrategia de fertilización. Valores seguidos de *, ** y * representan efecto significativo del factor evaluado o interacción (p<0.1; 0.05 y 0.01, respectivamente), n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento.**

Fuente de variabilidad	Campaña 2010/11	Campaña 2011/12
Genotipos	0.000 ***	0.000 *
Fertilización	0.005 ***	0.000 ***
GM*Fertilización	0.02 **	0.415 n.s
C.V	6.2 %	4.6 %

Claramente, la respuesta no está asociada a longitud de ciclo, y una variedad de un GM corto, con mayor índice de cosecha y potencial de rendimiento, y una más ajustada relación fuente:destino y un mayor índice de área foliar, no siempre sería el perfil genético de mayor potencial de respuesta a la fertilización. De este modo, la necesidad de lograr crecimiento y cobertura, tal como es prioritario en un grupo corto no sería el único parámetro crítico a mejorar con la fertilización. Son necesarios estudios fisiológicos y agronómicos más detallados para explicar los mecanismos asociados a la respuesta a la fertilización en soja.

En 2011/12, el rango de rendimientos fue de 3069 kg ha⁻¹ (GM III C, Testigo) hasta 4451 kg ha⁻¹ (GM III L, PS+ZnB). Los GM III L y IV C fueron los de mayor rendimientos superando a los GM IV L y V, mientras que el GM III C mostró el menor rendimiento (Figura 4A). Este GM III C, bajo un ambiente climático desfavorable, nunca alcanzó el nivel de crecimiento necesario para una completa captura de recursos (Tabla 4). Entre los tratamientos de fertilización se destacaron el P y el PS+ZnB, quienes superaron a los tratamientos PS y Testigo (Figura 4B). La interacción Genotipo x Fertilización no significativa indica que la respuesta a la fertilización fue más uniforme entre genotipos (GM) que en la campaña anterior (Tabla 5).

Si consideramos los resultados de ambas campañas, las respuestas a la fertilización no se relacionaron con los niveles de rendimiento alcanzados sin limitaciones nutricionales (tratamiento PS+ZnB) (Figura 5). Esto indicaría que las respuestas son independientes del potencial de rendimiento de las variedades y de la condición climática del año, considerando el contraste en disponibilidad hídrica entre ambas campañas.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en estas experiencias muestran que la respuesta a la fertilización difirió entre genotipos en el año de menor limitación hídrica y, por lo tanto, con mayor potencial de rendimiento, con mejores rendimientos en algunos GM por sobre otros y sin relación con los rendimientos alcanzados. En la campaña de mayor limitación hídrica (2011/12), no se

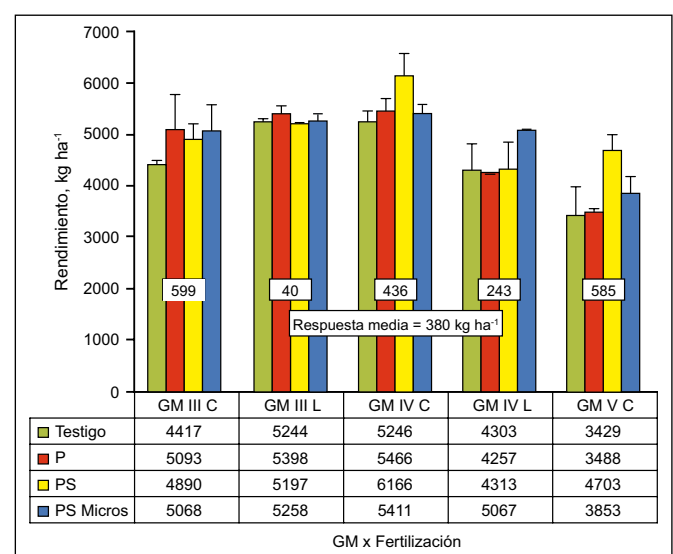


Figura 3. Rendimientos de la interacción entre GM y niveles de fertilización en soja. EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11. El cuadro sobre la figura muestra la respuesta media a la fertilización [Promedio (P, PS y PS Micros) - Testigo] según GM, y debajo, la respuesta media de todas las variedades.

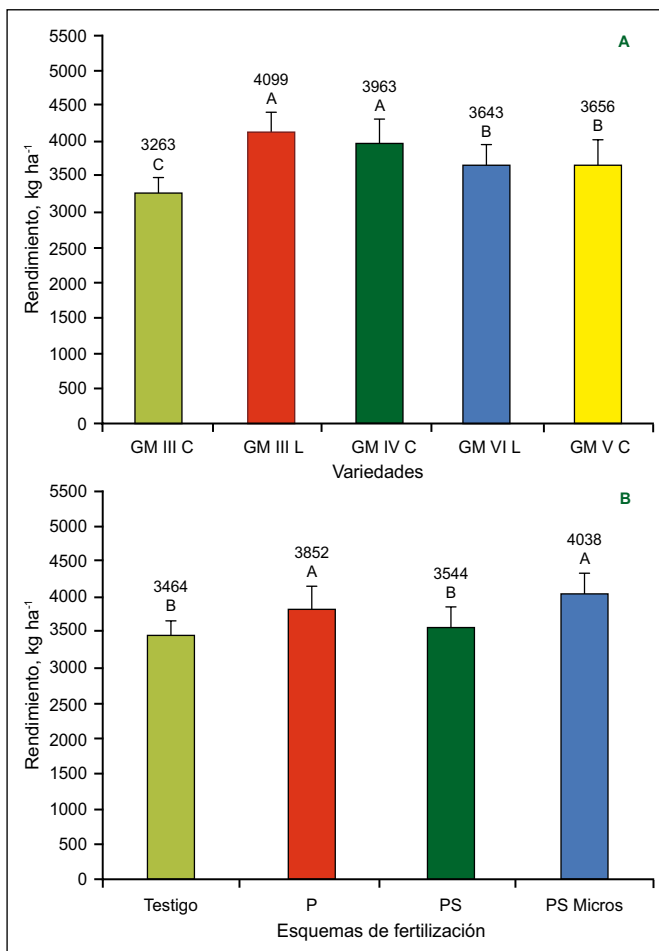


Figura 4. Rendimientos medios de: A) cinco GM y B) cuatro tratamientos de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2011/12. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos. Las barras de error indican la desviación estándar de la media.

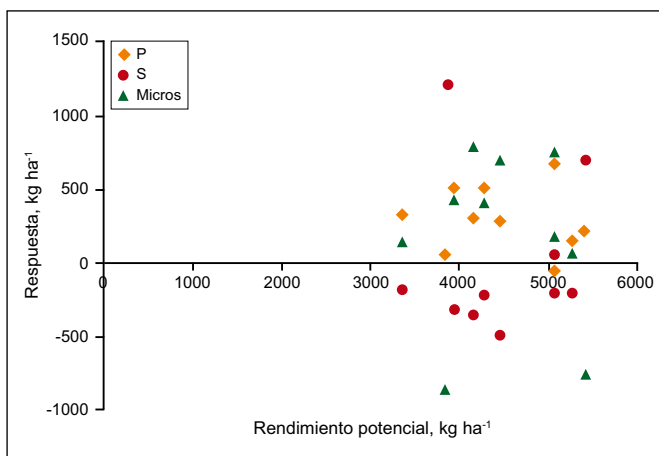


Figura 5. Relación entre la respuesta de soja a la fertilización con fósforo (P), azufre (S), o micronutrientes (Micros) (kg ha⁻¹) y el rendimiento del tratamiento sin agregado de esos nutrientes. EEA INTA Pergamino, campaña 2010/11 y 2011/12.

observaron diferencias en la respuesta a la fertilización entre los genotipos, a pesar de la caída en productividad del GM más corto.

Futuras experiencias permitirán ampliar el conocimiento de los efectos potenciales del GM, su estabilidad y potencial de rendimiento, en la respuesta a la fertilización.

Es muy importante, desde la toma de decisiones, saber si la fertilización sigue la misma tendencia entre genotipos (ausencia de interacción Genotipo x Fertilización), para así diseñar estrategias de recomendación comunes o diferentes para distintos grupos y variedades.

Desde el punto de vista de la fertilización, los resultados de este experimento confirman que P es el elemento más importante para soja en nuestra región, aun con niveles medios en los suelos (**Tabla 3**). Aunque en la región se cuantificaron respuestas a los mismos en investigaciones realizadas en los últimos años (Ferraris et al., 2004; Fontanetto et al., 2006; Echeverría et al., 2011; Ferraris y Couretot, 2011; Prystupa et al., 2012), las respuestas a S, B y Zn, no se pudieron verificar como estadísticamente significativas en estas experiencias.

Bibliografía

- Barbagelata, P.A., G.L. Briondi, R. Melchiori, y O. Papparotti. 2001. Estrategias para la fertilización fosforada de soja en siembra directa en vertisoles. Soja, Actualización Técnica. Serie Extensión No. 21. INTA EEA Paraná. pp. 54-57.
- Campos Carlés, S., P. Garré, y L. Pederiva. 2012. Precios. pp. 41-59. En: Campos Carles S. et al., (eds). Mercado de fertilizantes: La Argentina y el mundo. 1^{ra}. ed. AACREA, Bs As, 96 p.
- Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, y L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencias de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. pp. 98-107. En: Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de producción. IPNI-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Ferraris, G. 2010. Fertilización fosfatada en cultivos extensivos. Criterios de diagnóstico y herramientas tecnológicas para su manejo en el norte-centro-oeste de Buenos Aires y sur de Santa Fe (CD-ROM). Actas del XVIII Congreso Nacional de AAPRESID. "El Cuarto Elemento". Rosario, Santa Fe, Argentina. 9 p.
- Ferraris, G., y L. Couretot. 2011. Fertilización con micronutrientes en soja. Experiencias en la región centro - norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. En: Actas Mercosoja 2011. Un grano, un Universo. Rosario, 14 al 16 de Septiembre de 2011.
- Ferraris, G., F. Salvagiotti, P. Prystupa, y F.H. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de Azufre y respuesta de la Soja de primera a la fertilización. En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos. CD-ROM. AACRS, Paraná, Junio de 2004. 10 p.
- García, F.O., L. Picone, y A. Berardo. 2006. Fósforo. pp 99-121. En: Echeverría H. y F. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto, H., O. Keller, C. Negro, L. Belotti, y D. Giailevra. 2006. Inoculación y fertilización con cobalto y molibdeno sobre la nodulación y la producción de soja. Actas del III Congreso de Soja del Mercosur: 553-556.
- Gutiérrez Boem, F.H., F.O. García, y M. Boxler. 2011. ¿Qué tan distintos son los niveles críticos de fósforo disponible para soja, maíz y trigo? pp. 191-193. En: Simposio Fertilidad 2011. La Nutrición de Cultivos Integrada al Sistema de producción. IPNI-Fertilizar AC. Rosario, Santa Fe.
- Gutiérrez, Boem F.H., y G. Thomas. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Agronomy Journal 90:166-171.
- Prystupa, P., M. Torres Duggan, y G.N. Ferraris. 2012. Tecnología de aplicación de micronutrientes en la Región Pampeana Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS). IPNI Cono Sur. No. 5:2-8. ✱

Descubriendo la herramienta CNRT (Crop Nutrient Response Tool)

María de las Mercedes Ron*

Las distintas funciones utilizadas para describir la relación rendimiento-dosis de nutriente, frecuentemente explican una proporción similar de la variabilidad en la respuesta. Sin embargo, cuando se calcula la dosis óptima económica (DOE) se obtienen resultados que pueden variar ampliamente, según la función empleada. En este artículo se presenta el enfoque de la herramienta CNRT (Crop Nutrient Response Tool) para lograr la mejor estimación de la DOE.

La planilla CNRT es una herramienta para modelar la respuesta de los cultivos a la aplicación de nutrientes, elaborada por el Dr. Tom. Bruulsema (Director Regional de la Región Noreste del Programa Norteamérica del IPNI). Se trata de una hoja de cálculo EXCEL con dos macros ejecutables (AJUSTAR y AGREGAR). La versión original se puede descargar de <http://nane.ipni.net/>. Por su parte, la versión en castellano, se encuentra

disponible en el sitio web del Programa Latinoamérica Cono Sur del IPNI, <http://lacs.ipni.net/>.

Esta herramienta de evaluación fue diseñada para ayudar en la interpretación y registro de datos provenientes de ensayos a campo con aplicación de varias dosis de un nutriente. Su principal objetivo es ofrecer, a partir de datos limitados –por ejemplo, un solo ensayo–, la mejor estimación posible de la DOE basada en la respuesta al nutriente, es decir la dosis económicamente más rentable para aplicar un insumo limitante. También puede calcular varias formas básicas de la eficiencia de uso de nutrientes (EU): productividad parcial del factor (PPF), eficiencia agronómica (EA), balance parcial de nutrientes (BP) y eficiencia de recuperación (ER). Para obtener los mejores resultados, los ensayos deberían tener al menos cuatro dosis, y una de ellas debería ser cero o menor al 25% de la dosis mayor. Las DOE se calculan a partir de curvas ajustadas sin evaluación de su significancia estadística. No se calcula la probabilidad de que no difieran de cero. Puede servir, además, como una herramienta para registrar datos. La hoja de cálculo de resumen provee almacenamiento en una sola fila para más de 1000 años-sitios.

Ajuste de cinco funciones diferentes

La herramienta CNRT cuenta con un macro “AJUSTAR” (en Hoja A) que permite el ajuste simultáneo de cinco curvas de respuesta, cuyas ecuaciones se muestran en la hoja Introducción (**Figura 1**).

¿Por qué se ajustan cinco funciones diferentes?

La razón es que no hay ninguna función matemática que refleje perfectamente la respuesta de los cultivos en todas las situaciones. El ajuste simultáneo de cinco curvas diferentes le da al usuario la opción de elegir la más razonable. Una estrecha concordancia entre las cinco curvas indica bajos niveles de ambigüedad en los datos. Las estimaciones más confiables se obtienen tomando la media ponderada de las 5 curvas de acuerdo con su “bondad de ajuste” (R^2).

Para lograr el ajuste, el primer paso consiste en ingresar los datos correspondientes a las dosis de nutriente y los rendimientos en las columnas correspondientes (**Figura 2**). El segundo paso obligatorio consiste en ingresar el precio del cultivo y costo del fertilizante. Los datos de sitio se deben ingresar si se desea usar el macro AGREGAR, que permite crear una base de datos en la hoja Resumen. En la Hoja A se encuentran una serie de

Ecuación utilizada ^{1,2} :
Cuadrática (Q)
$Y = A + BX + CXX$
DOE = $(R-B)/(2C)$; A = intercepto, B = intercepto inicial; C = curvatura
Cuadrática-Plateau (QP)
$Y = A + AX + CXX$ cuando $X < B/2C$; de lo contrario $Y = A + BB/2C + BB/4C$
DOE = $(R-B)/(2C)$; A = intercepto; B = pendiente inicial; C = curvatura
Mitscherlich (M)
$Y = A + B \exp(CX)$
DOE = $(1/B) \cdot \ln(R/(B \cdot C))$; A = máximo rendimiento; B = intercepto menos máximo; C = curvatura
Linear-Plateau (LP)
$Y = A + BX$ cuando $X < (C-A)/B$; de lo contrario $Y = C$
DOE = $(C-A)/B$ si $B > R$; de lo contrario MERN = 0; A = intercepto; B = pendiente; C = máximo rendimiento
Esférica-Plateau (S)
$Y = A + B(3X/(2C) - 0.5(X/C)^3)$ cuando $X < C$; de lo contrario $Y = A + B$
DOE = $\text{RAIZ}(C^2 - 2 \cdot BR \cdot C^3 / (3 \cdot B))$; A = intercepto; B = máximo menos intercepto; C = mínima dosis para máximo rendimiento

¹ R = relación de precios nutriente:grano

² Cuando las respuestas son casi lineales, los modelos cuadrático y Linear-Plateau se acercarán a modelos lineales

Figura 1. Ecuaciones ajustadas y fórmulas para el cálculo de DOE.

* Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur de San Andrés 800. 8000 Bahía Blanca. Argentina. Correo electrónico: mmrom@criba.edu.ar

Herramienta para respuesta de cultivos a los nutrientes (CNRT) v4.1

Paso 1: Ingresar datos de dosis y rendimientos. Paso 2: Ingresar datos del sitio, precios de los cultivos y de los fertilizantes. Paso 3: Clickear el botón "Ajustar". Paso 4: Clickear para agregar información a la hoja resumen.		Dosis de nutriente (kg ha ⁻¹)	Rend. (kg ha ⁻¹)
		0	2428
DATOS DEL SITIO		30	2845
Sitio	INTA Bordenave	60	2989
Año	xxxxxx	90	3089
Localidad	Bornanave	120	3039
Partido o departamento	Puan		
Estado o provincia	Buenos Aires		
Latitud			
Longitud			
Altitud			
Clase textural	Franco arenoso		
Cultivo antecesor	Trigo		
Rendimiento esperado (kg ha ⁻¹)			
Momento y forma de aplicación	Preemergencia al voleo		
Sistema de labranza	Labranza conservacionista		
Grados-día del sitio			
Cultivo	Trigo		
Cultivar			
N-nitratos (mg kg ⁻¹)			
N de estiercol (kg ha ⁻¹)			
Fecha de siembra			
Fecha de cosecha			
Precio cultivo (\$ kg ⁻¹)	120		
Costo nutriente del fertilizante (\$ kg ⁻¹)	1000		
Relación de precios	8		
Contenido de N del cultivo (kg N kg ⁻¹ grano)	0.02		
Índice de cosecha de N	0.67		
Fuente fertilizante	Urea		

Figura 2. Vista general de la hoja A, donde podrá ingresar la información del sitio y resultados del ensayo de fertilización.

menús desplegables con opciones para la clase textural, el cultivo antecesor, el momento y forma de aplicación y el sistema de labranza. Luego de ejecutar el macro AJUSTAR, se presentan los coeficientes A, B y C para las 5 funciones de respuesta al nutriente, con sus respectivos coeficientes de ajuste – R²–. Para ejecutar exitosamente el macro AJUSTAR se debe revisar el centro de seguridad (Ver tutorial en <http://Lacs.ipni.net>).

Las **Figuras 2 y 3** muestran un ejemplo elaborado con datos de archivo adaptados de un ensayo de fertilización

Tabla 1. Significado de los coeficientes A, B y C, y valores orientativos para un ajuste manual.

Ecu.	Coef.	Significado	Valor o rango aconsejado para iniciar el ajuste visual	Datos para el ejemplo (Figura 2)
Q y QP	A [#]	Estimación del testigo	Mínimo rendimiento obtenido	2428 kg grano ha ⁻¹
	B	Valor inicial de la pendiente	Eficiencia fisiológica	33 kg grano kg ⁻¹ N absorbido
	C	Coeficiente de curvatura	Entre 0 y -1	---
M	A	Asíntota para la curva exponencial negativa	Máximo rendimiento obtenido	3089 kg grano ha ⁻¹
	B	Déficit del testigo	Diferencia entre los rendimientos mínimo y máximo	-661 kg grano ha ⁻¹
	C	"Constante" de Mitscherlinch	Entre -0.0000001 y -0.1	Cuando menor es el valor más pronunciada es la pendiente inicial de la curva
LP	A	Estimación del testigo	Mínimo rendimiento obtenido	2428 kg grano ha ⁻¹
	B	Pendiente de la fase lineal	Eficiencia agronómica a alguna de las dosis menores	13.9 kg grano kg ⁻¹ N aplicado (para la dosis de 30 kg N ha ⁻¹)
	C	Rendimiento correspondiente al Plateau	Máximo rendimiento obtenido (o ligeramente menor)	3089 kg grano ha ⁻¹
SP	A	Estimación del testigo	Mínimo rendimiento obtenido	2428 kg grano ha ⁻¹
	B	Incremento para llegar al Plateau	Diferencia entre el rendimiento del Plateau y el testigo	661 kg grano ha ⁻¹
	C	Dosis de nutriente a la cual se inicia el Plateau	Desde 0 a la dosis máxima de nutriente	60 kg N ha ⁻¹

[#] Abreviaturas para las ecuaciones, ver Figura 3; Ecu. = Ecuación y Coef. = Coeficiente

de trigo de la EEA INTA Bordenave. Los precios del trigo y del fertilizante – del orden de los actuales – fueron escogidos para obtener una relación de precios N-Urea: trigo que coincidiera con la histórica de 8 kg de grano kg⁻¹ N (Álvarez, 2008). Se utilizaron valores del contenido de N en grano y de índice de cosecha del nutriente citados por Ciampitti y García (2007).

La herramienta gráfica

Simultáneamente con el ajuste, CNRT grafica las curvas correspondientes, conservando los colores de las columnas e incorporando – con trazo más grueso – una curva promedio de las 5 funciones (**Figura 4**).

AJUSTAR	Media ponderada por R ²	Cuadrática (Q)	Cuadrática-Plateau (QP)	Mitscherlich (M)	Lineal-Plateau (LP)	Esférica-Plateau (SP)
A:		2445	2436	3087	2428	2435
B:		14.20	1584	-651	13.90	611
C:		-0.0776	-0.1011	-0.035	3039	66
R ² :		99%	99%	99%	99%	99%
DOE (kg ha ⁻¹):	38	38	37	29	44	42
Rendimiento @ DOE (kg ha ⁻¹):	2887	2871	2884	2839	3039	2937
Productividad Parcial del Factor (PPF):	76.27	75.96	77.70	98.82	69.14	70.38
Eficiencia Agronómica (EA _N):	11.97	11.27	12.08	14.33	13.90	12.03
Balance Parcial de Nutriente (BPN):	153%	152%	155%	198%	138%	141%
Eficiencia de Recuperación (ER _N):	36%	34%	36%	43%	41%	36%
Δ Rendimiento (kg ha ⁻¹):	453	426	449	412	611	502
Rendimiento Relativo (%):	84%	85%	84%	85%	80%	83%
Ganancia Neta (kg ha ⁻¹):	138	111	139	172	245	154

Figura 3. Coeficientes de las funciones ajustadas (A, B, C), de determinación (R²), dosis óptima económica y otras variables relacionadas.

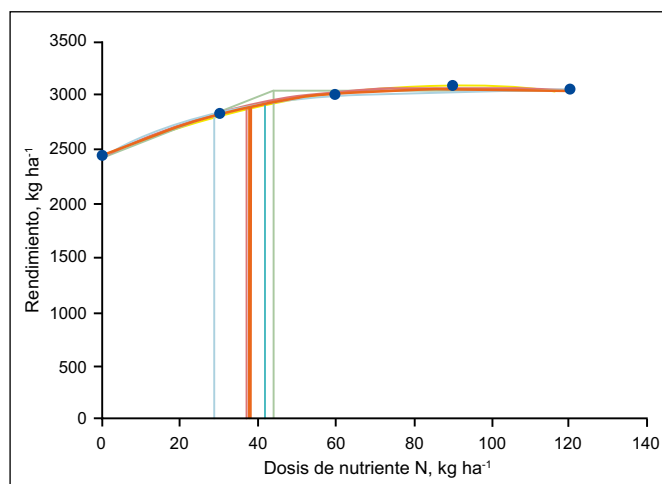


Figura 4. Gráfico de curvas de respuesta correspondiente a los datos experimentales y coeficientes de las Fig. 2 y 3.

Cuando no se dispone del “complemento Solver”, esta herramienta gráfica permite obtener un ajuste “visual” si el usuario asigna valores sucesivos a los coeficientes ABC (en Hoja A), hasta maximizar el R². Para este fin conviene recordar lo que representa cada coeficiente en las distintas funciones. La **Tabla 1** resume el significado de los coeficientes y provee valores orientativos para iniciar el mencionado “ajuste visual o manual”, aplicando un método iterativo en forma análoga a la que opera el macro AJUSTAR.

La dosis óptima económica

Una vez ajustadas las funciones (vía macro o por aproximación manual), las derivaciones para la DOE están incorporadas en las celdas correspondientes, que utilizan la relación de precios fertilizante/grano en la hoja A. Las líneas verticales sobre el eje de abscisas en la **Figura 4** indican las DOE. CNRT considera como mejor estimación de la DOE al promedio de las DOE obtenidas,

ponderadas por el R² de cada función, señalado por un trazo más grueso (**Figura 4**).

Otros términos

Sobre la base de la DOE y el rendimiento estimado a esa dosis, según las distintas funciones, se calculan otros términos de eficiencia del uso de nutrientes seleccionados. Estos son la productividad parcial del factor (PPF), la eficiencia agronómica (EA), el balance parcial de nutrientes (BPN) y la eficiencia de recuperación (ER), todos estimados a la DOE (Snyder, 2009). Para los dos últimos se utiliza el contenido de nutriente en el grano y el índice de cosecha del elemento, ingresados en la hoja A. Estos valores se suponen constantes a pesar de que suelen variar de un tratamiento a otro.

En la versión en castellano se agrega la ganancia neta máxima en kg ha⁻¹ del producto. Para este fin no se tiene en cuenta la variación en el costo de cosecha, sino que se asume que el costo de la fertilización es directamente proporcional a la dosis aplicada. El costo se expresa en la misma unidad que la respuesta, para poder calcular la ganancia neta por diferencia (**Figura 3**).

El macro “AGREGAR”

Si se ha ingresado toda la información del sitio de ensayo, CNRT puede utilizarse como una herramienta para registrar datos, con capacidad para almacenar en la hoja Resumen 1000 o más años-sitio.

Información adicional

En la hoja C no se deben ingresar datos. Las celdas en el sector superior izquierdo permiten evaluar los ajustes de las distintas curvas (**Figura 5**). Se puede construir un gráfico de “valores predichos por la curva” en función de

Obs.	Valores predichos por la curva					(Predicho menos observado) al cuadrado				
	Q	QP	M	LP	S	Q	QP	M	LP	S
1	2445	2436	2427	2428	2435	292	60	1	0	55
2	2801	2820	2849	2845	2823	1913	632	16	0	481
3	3018	3022	2997	3039	3039	825	1095	68	2500	2489
4	3094	3056	3049	3039	3046	30	1080	1575	2500	1822
5	3031	3056	3068	3039	3046	56	294	819	0	54

Figura 5. Valores predichos por las ecuaciones y calidad del ajuste (Abreviaturas para las ecuaciones ver Figura 3).

los observados (Figura 6) para evaluar la calidad del ajuste.

En “(predicho menos observado) al cuadrado”, se cuantifican las desviaciones de las curvas con respecto a los valores observados. Esto ofrece la alternativa de elegir, en vez del promedio de DOE, la curva que mejor ajusta en el rango de dosis de las DOE. En el ejemplo de la Figura 3, este intervalo se sitúa entre 29 y 44 kg N ha⁻¹, lo que señalaría como más adecuada la DOE derivada de la curva de Mitscherlich, que presenta la menor desviación con los datos observados.

En el sector inferior izquierdo de la hoja C, las columnas presentan las estimaciones de las ecuaciones para incrementos sucesivos de 2 kg N ha⁻¹, que pueden ser empleadas para diseñar gráficos propios similares al de la Figura 3.

¿Por qué CNRT ajusta 5 funciones diferentes?

La variedad de curvas obedece a la multiplicidad de formas encontradas cuando se interpolan resultados de ensayos de fertilización con varias dosis de un nutriente. La relación entre la aplicación de un nutriente y el rendimiento de los cultivos ha sido estudiada desde hace unos dos siglos. La función de Liebig (o Blackman) asociada con la ley del mínimo y la ecuación de Mitscherlich (también Mitscherlich–Baule), son las curvas tradicionalmente utilizadas a partir de las cuales se han propuesto funciones que reúnen características de estas dos.

Jáuregui y Sain (1992) adaptaron un esquema de Russel (1973) para describir la relación entre el rendimiento y la disponibilidad de cualquier nutriente en particular, para los casos en que éste es el factor más determinante del rendimiento (Figura 7). Las características de las fases se resumen en la Tabla 2.

Las fases que se visualizan, a partir de datos experimentales, dependen de la fertilidad inicial de los suelos que se utilizan en los ensayos de fertilización y de la variabilidad de dosis empleadas. La deficiencia extrema de la fase I es poco frecuente, y una respuesta a la fertilización con retornos crecientes puede manifestarse en suelos arenosos donde ha habido mucha lixiviación de nutrientes o en suelos deficientes y fijadores de

fósforo en los cuales deba superarse un umbral de disponibilidad para que ocurra una respuesta productiva (Nijland et al., 2008). Del esquema de Russell, la función de Liebig cubriría las fases II y IV, mientras que la de Mitscherlich haría lo propio con la fase III. El modelo cuadrático natural, muy popular por la facilidad de su ajuste con la hoja de cálculo EXCEL, incluye las fases III a V, quedando el Plateau limitado al punto de inflexión. Las funciones como la cuadrática Plateau y la esférica Plateau corresponden a una combinación de las fases III y IV.

¿Son los resultados obtenidos iguales a los realizados con otros programas para ajustar curvas?

Para obtener los mejores resultados, los ensayos deberían tener al menos cuatro dosis, y una de ellas debería ser cero o menos del 25% de la mayor dosis aplicada. Es preferible computar los promedios de rendimiento para cada dosis e ingresar un solo resultado por dosis.

Cuando se utilizan datos, como los del ejemplo, que permiten observar las fases II a V, según la función utilizada, las ecuaciones ajustadas por CNRT son iguales a las obtenidas por otros programas. Esto se verifica siempre y cuando se usen valores adecuados del contenido de nutriente en grano. Esta variable no interviene en el ajuste realizado por programas no específicos. Sin embargo, CNRT impone restricciones a las estimaciones iniciales de las pendientes, basadas en la eficiencia fisiológica de los cultivos, que pueden ser motivo de discrepancias con otros software.

Un caso particular ocurre cuando los datos responden a la fase I o una combinación de las fases I y II. Los programas generales ajustan funciones de repuesta y de ganancia neta

Tabla 2. Características de las fases en Figura 7.

Fase	Respuesta a la fertilización	Suministro del suelo Concentración en planta
I	Respuesta positiva, retornos crecientes	Deficiencia aguda
II	Respuesta positiva, retornos constantes	Deficiencia aguda media
III	Respuesta positiva, retornos decrecientes	Deficiencia media a leve
IV	Respuesta cero	Suministro óptimo - consumo por lujo
V	Respuesta negativa	Toxicidad leve (Desbalance)
VI	Respuesta negativa	Toxicidad aguda

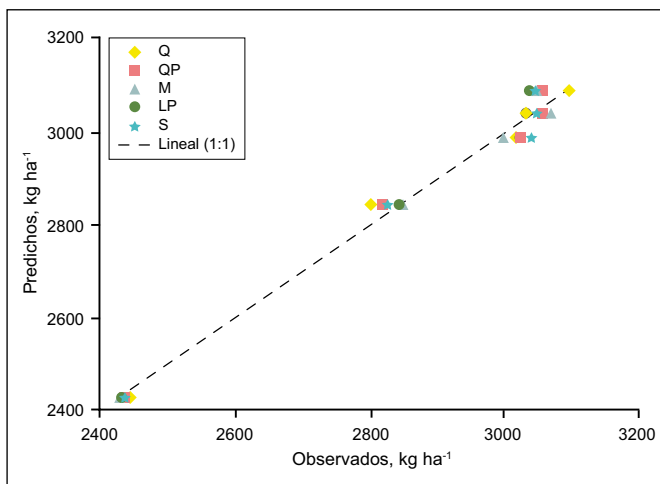


Figura 6. Valores predichos por las curvas en función de los observados (abreviaturas para las ecuaciones ver Figura 3, Linear 1:1 corresponde a la línea de predicciones perfectas).

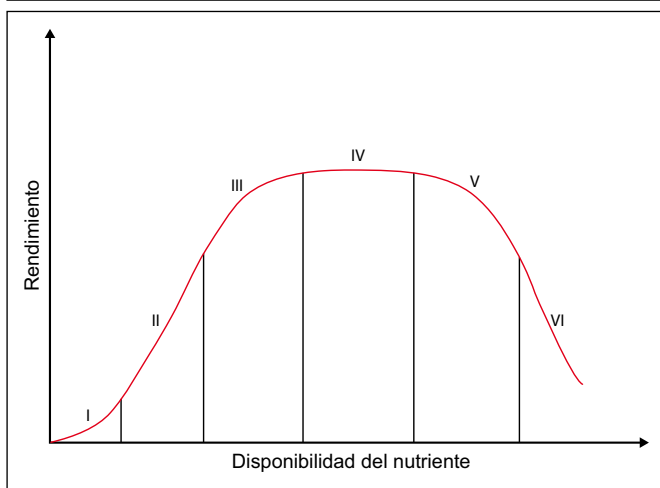


Figura 7. Relación general entre el rendimiento y disponibilidad de un nutriente (Jáuregui y Sain, 1992).

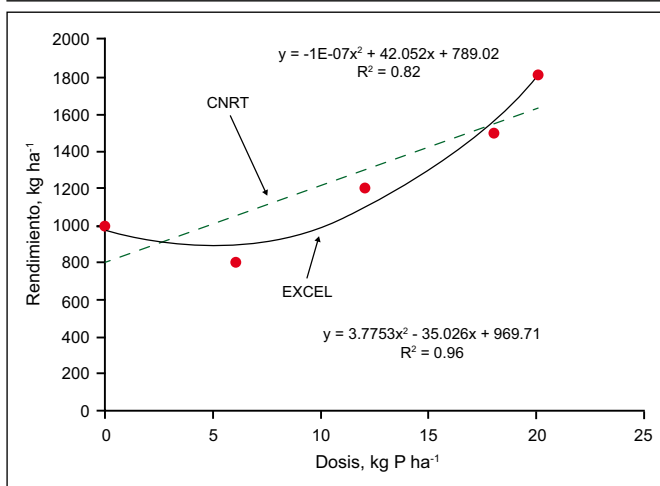


Figura 8. Datos simulados de respuesta de un cultivo a P y ecuaciones cuadráticas ajustadas por EXCEL y CNRT.

“no ideales” que no maximizan, por lo que es imposible derivar las DOE (Colwell, 1994). Aun con esa estructura de datos, CNRT define características de las funciones como el Plateau o retornos decrecientes y se puede derivar la DOE. Esto sucede en virtud de las restricciones impuestas

que pueden apreciarse en la sección de “Información técnica” de la hoja C. Las ecuaciones ajustadas con CNRT tienen R^2 menor que las funciones “no ideales” obtenidas con otros programas (Figura 8).

Consideraciones finales

La utilización de la herramienta CNRT nos permite simplificar el análisis de la respuesta de los cultivos al agregado de nutrientes mediante:

- El ajuste de 5 funciones de respuesta diferente.
- El cálculo de una DOE basada en las funciones alternativas.
- La estimación de variables relacionadas con la eficiencia de uso de los nutrientes.
- El suministro de estimaciones para construir curvas de respuesta.
- La cuantificación del grado de ajuste con respecto a las observaciones.
- La oferta de funciones que maximizan el ajuste, aun con estructuras de datos no ideales.
- El registro y almacenamiento de datos relacionados a los ensayos de fertilización.

Bibliografía

Álvarez, R. 2008. Análisis de la conveniencia económica de utilizar umbrales fijos para recomendar la fertilización nitrogenada y fosforada de trigo. VII Congreso Nacional de Trigo, Santa Rosa, La Pampa, 2-4 julio. Conferencia en CD.

Colwell, J.D. 1994. Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach. C.A.B. International, Wallingford, UK

Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas No. 33. Archivo Agronómico 11:1-4. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.

Jáuregui, M.A., y G.E. Sain. 1992. Continuous Economic Analysis of Crop Response to Fertilizer in On-Farm Research. CIMMYT Economics Paper No. 3. México, D.F.: CIMMYT. <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/882/37542.pdf?sequence=1>

Nijland, G.O., J. Schouls, y J. Goudriaan. 2008 Integrating the production functions of Liebig, Michaelis-Menten, Mitscherlich and Liebscher into one system dynamics model. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 55:199-224

Snyder, C.S. 2009. Nitrogen use efficiency: global challenges, trends and the future. En Proceedings of the Symposium “Nutrient Use Efficiency” presented by the International Plant Nutrition Institute (IPNI) at the XVIII Latin American Congress of Soil Science San José, Costa Rica November 16-20, 2009 (Editors Dr. José Espinosa y Dr. Fernando García) 10-17. [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/d58a3c2deca9d7378525731e006066d5/\\$file/nue_0110_15_hires.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/d58a3c2deca9d7378525731e006066d5/$file/nue_0110_15_hires.pdf) *

Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los frutos de café*

Siavosh Sadeghian¹, Beatriz Mejía¹, y Hernán González¹

Introducción

Uno de los aspectos importantes en los estudios de la nutrición vegetal es la extracción de nutrientes por la planta durante las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. Esta información, junto con los resultados sobre la respuesta a la fertilización, permite ajustar los planes de manejo y reducir los riesgos económicos y ambientales.

La cantidad de nutrientes requeridos por las plantas depende de la interacción de factores como: 1) Las exigencias de la planta (especie y variedad), 2) El nivel de producción, 3) Las propiedades de suelo, 4) Los componentes ambientales y 5) El manejo. En concordancia a lo expuesto, la extracción continuada de nutrientes por la cosecha, acompañada de poco o nulo reemplazo a través del abonamiento, reduce la producción e incrementa la probabilidad de respuesta a la fertilización (Havlin et al., 1999).

De acuerdo con Riaño et al. (2004), en plantas de café variedad Colombia la acumulación de los nutrientes durante la primera etapa de crecimiento vegetativo es lenta, pero luego se incrementa, hasta alcanzar los siguientes valores 2000 días después de la siembra: 547 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 51 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 508 kg ha⁻¹ de potasio (K), 234 kg ha⁻¹ de calcio (Ca) y entre 59 y 117 kg ha⁻¹ de magnesio (Mg).

Parte de las cantidades mencionadas está representada en frutos y, por lo tanto, es la que se remueve del lote; el resto retorna al suelo en forma de hojas, tallos, raíces, flores, etc. Sadeghian et al. (2006) encontraron que la concentración de nutrientes en los frutos de café en madurez de cosecha puede presentar ligeras variaciones entre sitios, como consecuencia de los factores ya mencionados. En promedio, la cantidad de macronutrientes removidos por 1000 kg de café almendra, equivalentes a 1250 kg de café pergamino seco (100 arrobas), representa 30.9 kg de N, 2.3 kg de P, 36.9 kg de K, 4.3 kg de Ca, 2.3 kg de Mg y 1.2 kg de S. La exportación de los micronutrientes corresponde a 107 g de hierro (Fe), 61 g de manganeso (Mn), 50 g de boro (B), 33 g de cobre (Cu) y 18 g de zinc (Zn). La demanda de nutrientes por las plantas de café no varía en virtud de la producción (Correa et al., 1986; Riaño et al., 2004), esto se debe a que ante una baja fructificación el crecimiento de las ramas plagiotrópicas y la formación de nuevas hojas y ramas reemplazan a los frutos como vertedero de carbohidratos y nutrientes (Malavolta et al., 2002).

Una fracción considerable de las anteriores cantidades proviene de las reservas contenidas en las hojas más próximas a los frutos, sin descartar los aportes del suelo y de la re-movilización de los nutrientes desde otras partes de la planta (Valarini et al., 2005). La caída de las hojas durante el proceso de la maduración de la cosecha se debe principalmente a la gran movilización



Figura 1. Aspecto de una rama productiva de café con una adecuada nutrición.



Figura 2. Aspecto de una rama productiva de café con suministro deficiente de nutrientes.



Figura 3. Aspecto de una rama productiva de café con suministro muy deficiente de nutrientes.



Figura 4. Rama de café con necrosamiento apical debido a la falta de aplicación de fertilizante.

¹ Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Manizales, Caldas, Colombia. Correo electrónico: Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com

* Originalmente: Avances Técnicos Cenicafé. 429(Marzo 2013):1-8.

de los nutrientes hacia los frutos, fenómeno que reduce su concentración en el tejido foliar. Por esta razón, en muchas ocasiones durante los años de alta producción ocurre una mayor caída de las hojas, disminuyendo así la cosecha en el siguiente ciclo (Chaves y Sarruge, 1984).

Las plantas que reciben cantidades suficientes y balanceadas de nutrientes pueden conservar en la zona de fructificación parte de las hojas hasta las épocas próximas a la cosecha (**Figura 1**). Si el suministro de nutrientes ha sido deficiente, los nudos con frutos permanecen sin hojas en los últimos dos o tres meses (**Figura 2**). Cuando los planes de fertilización son muy deficientes la caída de las hojas en la zona de producción es acompañada de una clorosis de las hojas más nuevas (**Figura 3**). En casos muy severos se presenta paloteo, con necrosis en la punta de las ramas (**Figura 4**).

Como es de esperarse, a medida que crecen los frutos, éstos extraen y acumulan más nutrientes en su biomasa. Según Salazar et al. (1994), el crecimiento de los frutos de café variedad Colombia presenta una curva de tipo sigmoidal, con tres periodos, una etapa de crecimiento lento que va desde la floración hasta los 60 días, otra de rápido crecimiento hasta los 180 días y, finalmente, una de estabilización, hasta llegar a la madurez completa a los 240 días. De acuerdo con Cannel (1971) y Rena et al. (2001), citados por Laviola et al. (2008), la formación del fruto de café comprende cinco estadios: “garrapata”, expansión rápida, crecimiento suspendido, llenado y maduración.

Acumulación de N, P y K en los frutos de café

Con el fin de determinar la acumulación de N, P y K durante el desarrollo de los frutos de café y las variaciones de sus concentraciones en las hojas, se realizó una investigación entre los meses de abril y noviembre de 2010, en las siguientes Estaciones Experimentales de Cenicafé: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). Se seleccionaron lotes de café Variedad Castillo® en buen estado fitosanitario, sembrados o zoqueados entre los años 2006 y 2007 (segunda o tercera cosecha), con densidades entre 5000 y 10 000 plantas por hectárea. En Pueblo Bello, la plantación se encontraba bajo sombrío regulado, en tanto que las demás estaban a plena exposición solar. El suministro de nutrientes se realizó en dos ocasiones durante los meses de marzo-abril y septiembre-octubre (**Tabla 1**), basado en el análisis de suelos realizados previo a la iniciación del trabajo.

En cada localidad se identificó el día pico de la floración y, a partir de esta fecha, se tomaron mensualmente muestras de frutos y de hojas, en las ramas productivas de 100 plantas que se seleccionaron de manera aleatoria al iniciar la investigación. Tanto en los frutos como en las

Tabla 1. Nutrientes suministrados a través de la fertilización durante el año 2010* en los lotes experimentales.

Estación	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	----- kg ha ⁻¹ año ⁻¹ -----			
Naranjal	280	60	260	0
Líbano	240	40	180	12
Pueblo Bello	120	40	130	15
El Rosario	260	20	180	12

* Meses de marzo y septiembre en El Rosario y Líbano y, abril y septiembre en Naranjal y Pueblo Bello.

hojas (tercero o cuarto par, contadas a partir del ápice) se analizaron las concentraciones de N, P y K.

Crecimiento del fruto. El crecimiento de los frutos, expresado en términos de peso fresco, presentó algunas variaciones entre las localidades (**Figura 5**). En Naranjal y Pueblo Bello fue lento hasta los 60 días después del pico de floración (DDPF), entre esta fecha y los siguientes 30 días tuvo un incremento considerable, de los 90 a los 210 días se mantuvo relativamente constante, para terminar en el último mes con un aumento leve. En El Rosario la fase de crecimiento lento se prolongó hasta los 90 días, en el siguiente mes presentó un crecimiento marcado y, a partir de este momento y hasta el último día exhibió un aumento progresivo. El comportamiento registrado en Líbano fue similar al de El Rosario, con la diferencia que en esta localidad el crecimiento inicial fue más sostenido hasta los 90 DDPF.

En el momento de la cosecha, es decir, a los 240 DDPF, se presentaron los siguientes valores para el peso fresco y seco de los frutos, respectivamente: El Rosario 2.66 y 0.69 g, Líbano 2.28 y 0.67 g, Naranjal 1.91 y 0.61, Pueblo Bello 1.83 y 0.49 g. Las anteriores diferencias pueden asociarse tanto al ambiente (suelo y clima) y manejo (principalmente sombrío y fertilización), como al material genético (las líneas que componen la variedad regional).

Concentración de N, P y K en frutos. Conforme avanzó el crecimiento de los frutos a través de tiempo disminuyeron las concentraciones de N, P y K (**Figura 6**). Este fenómeno, también reportado por Chaves y Sarruge (1984) y Souza et al. (1975) se conoce como efecto de la dilución, y se debe al crecimiento rápido de los frutos.

En promedio, para las cuatro localidades, la concentración de N pasó de 3.28% a 1.41%, el P de 0.36% a 0.12% y K de 2.61% a 1.88%. Para el N y P las mayores reducciones tuvieron lugar durante los primeros 150 DDPF, en tanto que para el K ocurrieron a los 210 DDPF (63%). Las diferencias más marcadas entre las localidades fueron detectadas durante los primeros 90 DDPF, caracterizándose El

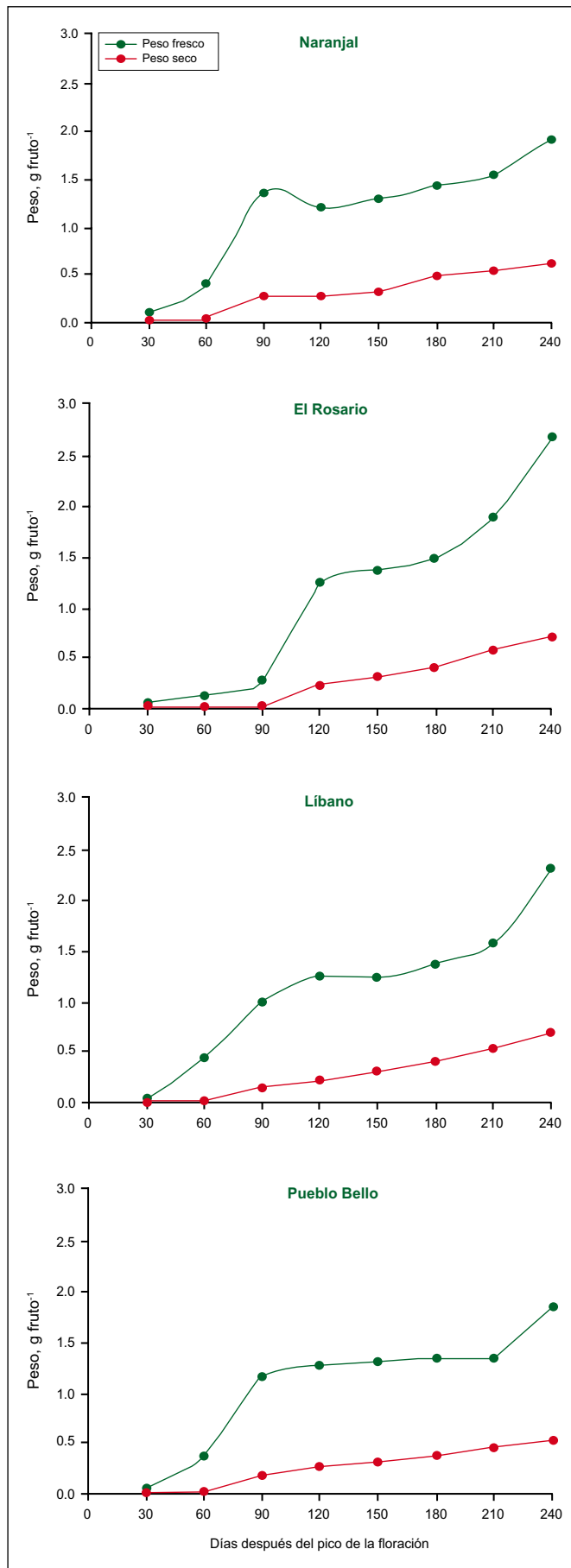


Figura 5. Peso fresco y seco de un fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Tabla 2. Cantidades acumuladas de N, P y K en un fruto de café 240 días después del día pico de la floración, para cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación	mg fruto ⁻¹		
	N	P	K
El Rosario	9.61	0.76	12.78
Líbano	7.78	0.87	12.71
Naranjal	8.63	0.67	11.14
Pueblo Bello	8.12	0.54	9.45

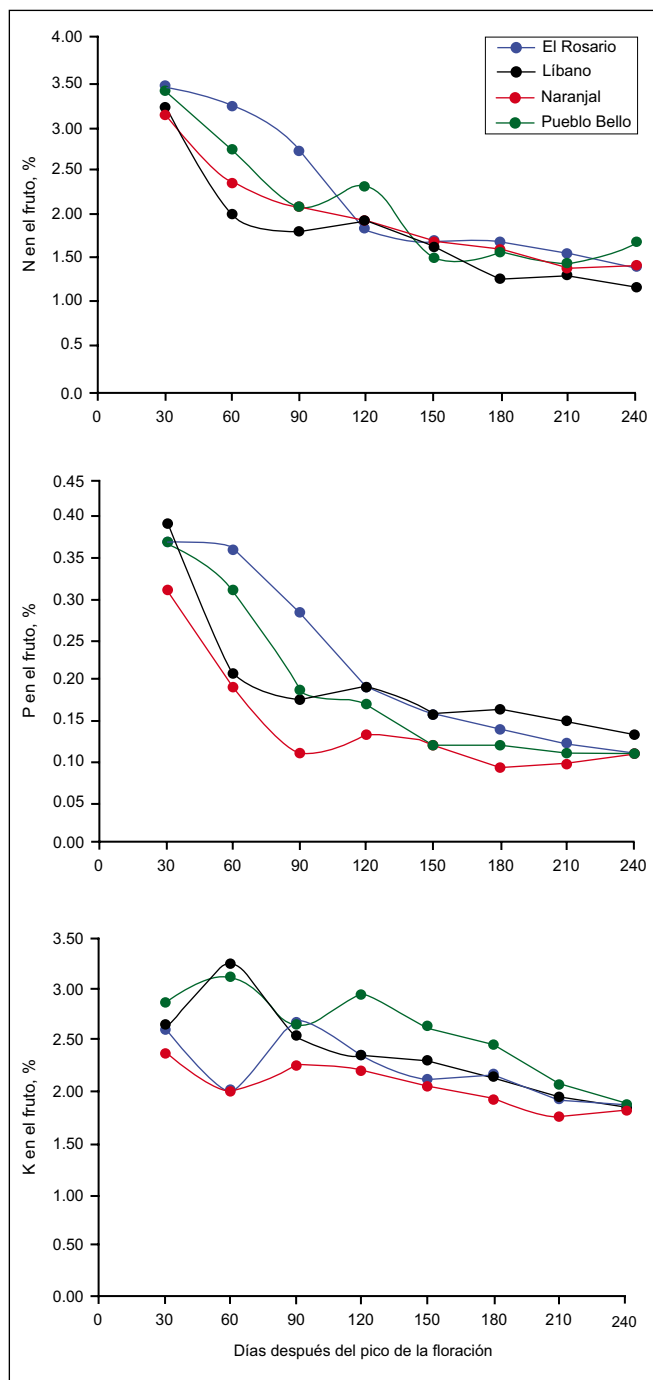


Figura 6. Concentración de N, P y K en el fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

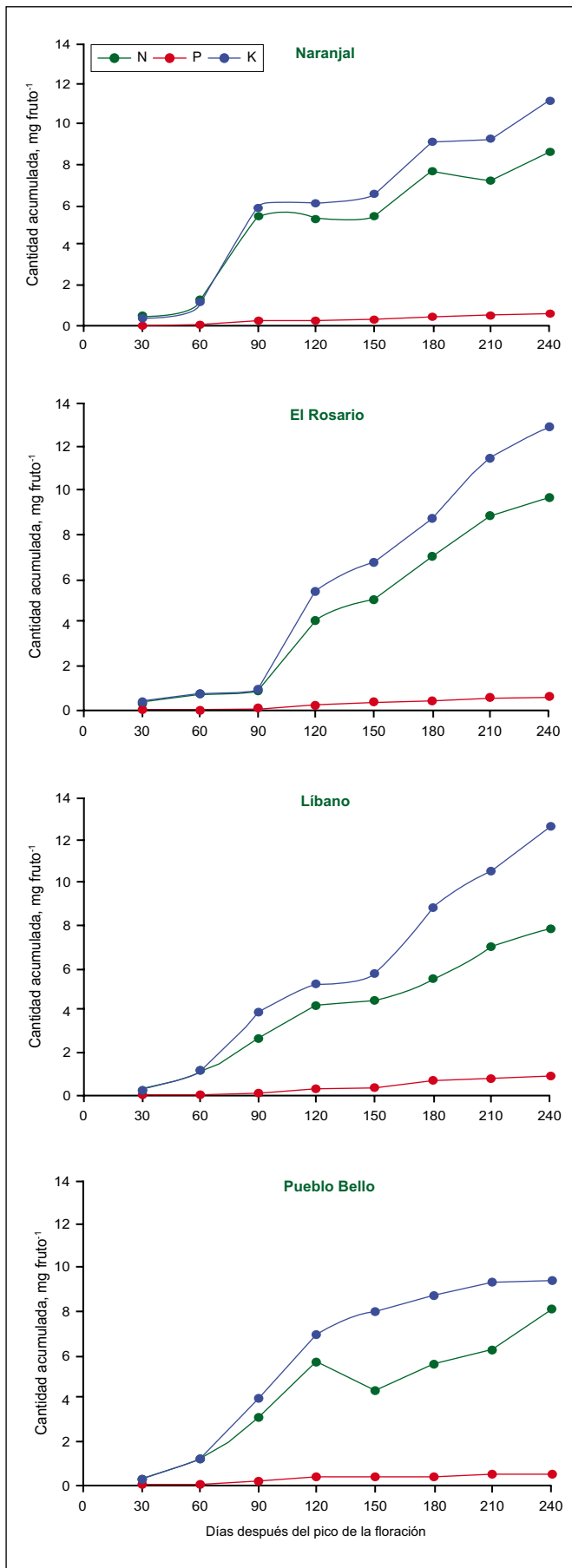


Figura 7. Cantidad acumulada de N, P y K en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

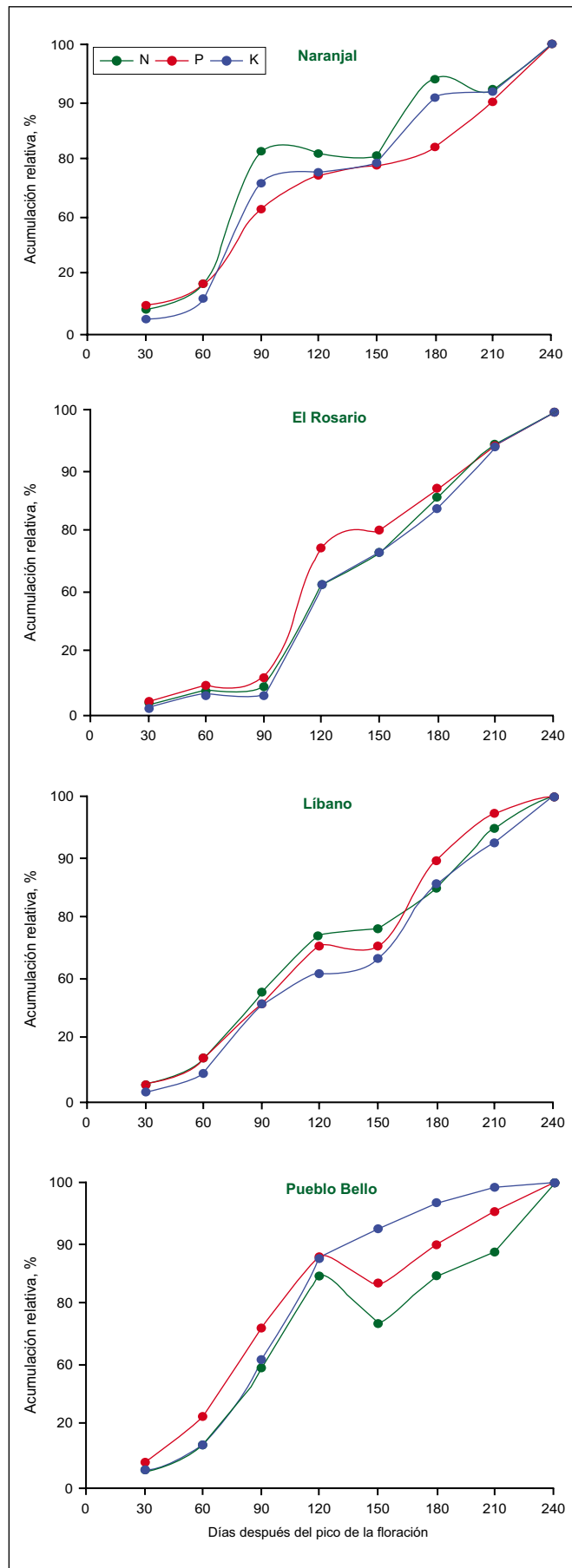


Figura 8. Acumulación relativa de N, P y K en el fruto de café a través de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Rosario y Pueblo Bello por sus mayores valores en los tres elementos objeto de estudio. Parte de las anteriores diferencias se relaciona con la fertilidad del suelo. Por último, cabe resaltar que al momento de la cosecha (240 DDPF) el K fue el elemento predominante en el fruto, seguido por el N y P.

Acumulación de N, P y K en el fruto. Como era de esperarse, la acumulación de N, P y K en el fruto (**Figura 7**) presentó una tendencia relativamente similar a la observada para la biomasa fresca y seca (**Figura 5**). Los contenidos de P durante todo el periodo del desarrollo de los frutos fueron menores a los de N y K (en promedio 11.5 y 14.0 veces, respectivamente), y los de K se caracterizaron por ser cada vez más altos que los de N a partir de 90 a 120 DDPF.

En la **Tabla 2** se consignan los valores correspondientes a las cantidades acumuladas de N, P y K en el fruto de café al momento de la cosecha. Se presentaron las siguientes tendencias para las cuatro estaciones:

N: El Rosario>Naranjal>Pueblo Bello>Líbano
 P: Líbano>El Rosario>Naranjal>Pueblo Bello
 K: El Rosario>Líbano>Naranjal>Pueblo Bello

Acumulación relativa de N, P y K en el fruto. Al expresar la acumulación de N, P y K en el fruto de café en términos relativos—es decir que se toma como punto de referencia el 100% de lo absorbido—, es posible identificar algunas tendencias (**Figura 8**). Para el conjunto de los tres nutrientes se puede afirmar que: i) La acumulación relativa durante los primeros 60 a 90 DDPF representó sólo el 13%; ii) A partir de los 60 a 90 DDPF, y hasta los 180 días, en promedio en el fruto acumularon el 62% de estos elementos; y, iii) En los últimos dos meses previos a la cosecha el fruto acumuló el 25%.

Ramírez et al. (2002) hallaron que para la variedad Caturra el 50% de los requerimientos totales de nutrientes, a excepción de K, son consumidos por el fruto durante los primeros 90 días. Esta condición concuerda con lo hallado para Naranjal y Pueblo Bello, en tanto que para El Rosario y Líbano ocurre a los 120 días. En estas dos últimas estaciones el comportamiento de la acumulación de los tres macronutrientes a través de tiempo fue relativamente similar, no así para las otras dos localidades. En Naranjal la absorción de N y K en el fruto presentó una tendencia diferente a la de P en algunas épocas y, en Pueblo Bello una situación parecida ocurrió después de los 120 días para N y P con respecto a K.

Mientras que en Líbano y El Rosario la cantidad acumulada de K en los últimos dos meses antes de la cosecha representó el 30% y 32% del total, respectivamente, en Naranjal y Pueblo Bello en el fruto

ya se habían acumulado antes de esta fecha el 82% y el 92% de este elemento.

Los resultados expuestos revelan que pese a cierta similitud, la acumulación de los nutrientes puede variar entre sitios, dependiendo de las condiciones predominantes. Los estudios desarrollados por Laviola et al. (2007 y 2008) confirman lo expuesto, al demostrar que la acumulación de macronutrientes cambia de acuerdo a la temperatura, factor climático afectado por la altitud.

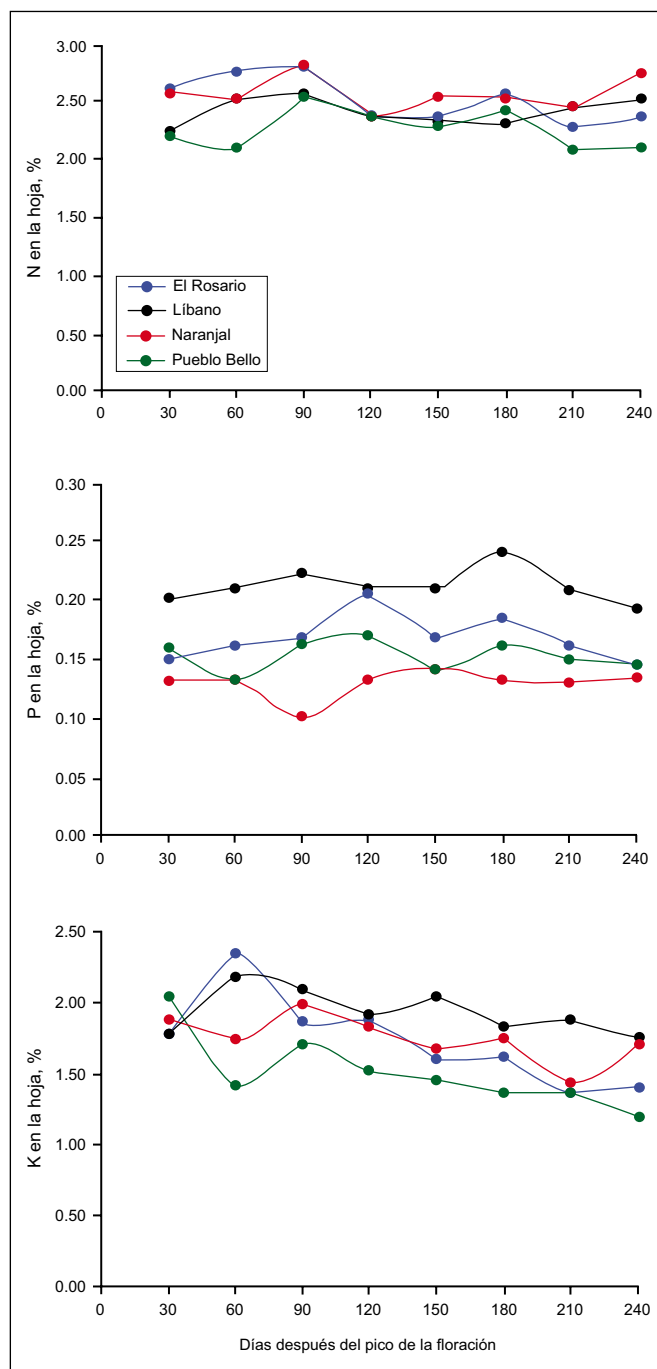


Figura 9. Concentraciones foliares de N, P y K en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé. Valores observados en el tercero o cuarto par de hojas de las ramas productivas de café.

Concentración foliar de N, P y K. Aunque la concentración de N y P en las hojas presentó algunas variaciones a través de tiempo (**Figura 9**), no hubo una relación entre los cambios detectados y el avance en el crecimiento y desarrollo del fruto; en contraste, el K tendió a reducirse. Este resultado puede justificarse, en parte, debido a la mayor demanda de K por los frutos y a la forma en que se encuentra en los tejidos, pues éste no forma compuestos y, por lo tanto, permanece como ión libre, lo que facilita su movilización (Lima Filho y Malavolata, 2003). Lo anterior también revela que durante la formación del fruto existe una mayor re-movilización de K con respecto a N y P desde los tejidos foliares más nuevos.

En el trabajo desarrollado por Laviola et al. (2008), no se encontraron evidencias claras que pudieran justificar la re-movilización de N, P y K desde las hojas, mientras que Chaves y Sarruge (1984) demostraron la relación entre estos nutrientes en la fuente (hoja) y en el vertedero (frutos). En este mismo sentido, Lima Filho y Malavolta (2003) hallaron que en plantas sin deficiencias nutricionales, entre 47% y 58% de N, y de 54% a 64% de K exportado por los frutos proviene de las hojas.

La concentración foliar de P presentó diferencias considerables entre las localidades y no fue sensible a su aplicación vía abonamiento. Durante todo el periodo de evaluación, las concentraciones foliares de P fueron mayores en Líbano, seguidas en su orden por El Rosario, Pueblo Bello y Naranjal, comportamiento que no fue sustentado en su totalidad por los niveles en el suelo ni por el suministro realizado.

Las variaciones de N fueron relativamente pocas, pero reflejan el efecto de la aplicación de los fertilizantes, en especial para el primer semestre del año. Naranjal presentó las concentraciones más altas y Pueblo Bello las más bajas, respuesta que estaría relacionada con las diferencias en los contenidos de la materia orgánica y el N aplicado (**Tabla 1**).

Durante el periodo que tardó el fruto para alcanzar la madurez de cosecha, la concentración foliar de K disminuyó en promedio 0.38%, al pasar de 1.87% a 1.49%. Para Pueblo Bello y El Rosario esta reducción fue mayor que en las otras dos Estaciones Experimentales. El efecto de la primera aplicación de K para El Rosario y Líbano, en el mes de marzo, y para Naranjal y Pueblo Bello, en abril, se reflejó un mes más tarde.

Consideraciones finales

Para las condiciones de Colombia es posible encontrar en una misma planta de café, flores y frutos en diferentes estado de desarrollo, así como estructuras vegetativas (ramas, nudos y hojas) que serán el soporte de la producción para el siguiente ciclo. Lo anterior

depende en buena medida de la humedad del suelo y del ambiente, gobernada por el régimen de lluvia. Ante esta circunstancia, los planes de la fertilización deben ser suficientes para satisfacer tanto la demanda de los frutos como las necesidades nutricionales de los órganos vegetativos.

Los cafetales tecnificados demandan una cantidad considerable de nutrientes para la formación del fruto, en especial potasio y nitrógeno. Parte importante de estos requerimientos provienen de las hojas más próximas a los nudos donde tiene lugar la fructificación; además de los aportes que re-movilizan desde otros órganos como las ramas, las raíces, las yemas y las hojas más nuevas.

En el fruto de café, la mayor acumulación de nutrientes (alrededor del 62%) ocurre entre los 60 y 180 días después de la floración y, en los dos meses antes de la cosecha, se presenta cerca del 25%. Esta condición sugiere que para la formación de los frutos tiene mayor injerencia la fertilización que se realiza durante los primeros dos a tres meses a partir de la floración que aquella que se realiza en los últimos dos meses previos a la recolección. Es por esta razón que al suspender el suministro de nutrientes con alta demanda, como el nitrógeno y potasio, se afecta más la producción del año siguiente que la actual.

Se debe hacer énfasis en que todo plan de fertilización está sujeto a la disponibilidad de lluvia, dado que el agua además de disolver los fertilizantes, es el insumo indispensable para la absorción de los nutrientes desde la solución del suelo. Esta condición prevalece por encima de las épocas de mayor acumulación de los elementos en el fruto. Esto quiere decir que no se debe realizar una práctica de fertilización en temporadas secas, aun cuando el fruto se encuentre en los primeros dos meses de su formación o en los últimos dos meses previos a la recolección.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los ingenieros Juan Carlos García López, John Wilson Mejía Montoya, José Raúl Rendón Sáenz, Jorge Camilo Torres Navarro y José Enrique Baute Balcazar, así como a Lady Juliet Vargas Gutiérrez y Diego Alejandro Arcila Vasco.

Bibliografía

- Chaves, J.C.D., y J.R. Sarruge. 1984. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil) 19(4):427-432.
- Corrêa, J.B., A.W.R. García, y P.C. DA. Costa. 1986. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 13. São Lourenço, Dezembro 2-5, 1986. Rio de Janeiro, Ministério da Indústria e do Comércio-Instituto Brasileiro do Café, pp. 35-41.

- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, y S.M. Mendonça. 2007. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1451-1462.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, S.M. Mendonça, y L. Rosado. 2008. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. Biosci. J., Uberlândia, 24(1):19-31.
- Lima Filho, O.F. y E. Malavolta. 2003. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* l. cv. catuaí vermelho). LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. Braz. J. Biol., 63(3):481-490.
- Malavolta, E., J.L. Favarin, M. Malavolta, C.P. Cabral, R. Heinrichs, y J.S.M. Silveira. 2002. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 37(7):1017-1022.
- Mengel, K., y E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ta edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Ramírez, F., F. Bertsch, y L. Mora. 2002. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Agronomía Costarricense, 26(1):33-42.
- Riaño, N.M., J. Arcila, A. Jaramillo, y B. Chaves. 2004. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. Cenicafé (Colombia), 55(4):265-276.
- Sadeghian, S., B. Mejía, y J. Arcila. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé (Colombia) 57(4):251-261.
- Salazar, M.R., B. Chaves, N.M. Riaño, J. Arcila, y A. Jaramillo. 1994. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* var. Colombia. Cenicafé (Colombia) 45(2):41-50.
- Souza, V.H. da S., M. Maestri, J.M. Braga, y J.R.P. Chaves. 1975. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café *Coffea arabica* L. Var. Mundo Novo. Revista CERES, 22(123):318-331.
- Valarini, V., O.C. Bataglia, y L.C. Fazuoli. 2005. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. Bragantia, Campinas, 64(64):661-672.*

SEGUNDA IMPRESIÓN

Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes

Manual y Guía de Campo

Luego de haberse agotado completamente la primera impresión de estas excelentes publicaciones, el IPNI-NLA tiene el agrado de anunciar una segunda impresión.

Estas publicaciones presentan información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional del arroz. Se presenta una discusión detallada, en lenguaje simple, de la información básica de la función de los nutrientes y las posibles causas de las deficiencias; de las formas de estimar la remoción de nutrientes; de la medida del aporte de nutrientes nativos del suelo y en las fuentes externas como los fertilizantes. Con esta información, es posible diseñar las recomendaciones de fertilización para los agricultores en cada zona particular.

En la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales las fincas de arroz son pequeñas, los nutrientes se manejan a mano y los agricultores no tienen acceso a formas especializadas de manejo de nutrientes, como el análisis de suelos y el foliar, que demandan más recursos. Por esta razón, en estas publicaciones se describe una nueva estrategia para calcular las recomendaciones de N, P y K, mediante el denominado Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE).

Los conceptos de MNSE se han desarrollado como una alternativa al uso de las recomendaciones generales de fertilización en áreas grandes. Estas nuevas técnicas buscan una mayor eficiencia del uso de los fertilizantes a través de la fertilización balanceada y sitio-específica. La fertilización balanceada incrementa la rentabilidad de los agricultores, resulta en mayores rendimientos por unidad de fertilizante aplicado y protege el ambiente evitando el excesivo uso de fertilizantes, particularmente nitrógeno. Las estrategias de MNSE se han evaluado exitosamente en un amplio rango de lotes de agricultores en Asia y están listas para validación y adaptación a más amplia escala en otras áreas del mundo.

El Manual (212 páginas, en 5 capítulos más un apéndice) contiene una discusión amplia y profunda de todos los factores de manejo relacionados con la nutrición, mientras que la Guía de Campo contiene una discusión concisa y muy práctica de los mismo conceptos, sin embargo, por su tamaño puede transportarse fácilmente al campo como herramienta de apoyo.



Para más información contactar al IPNI:

Teléfono : (593) 2246 3175 E-mail : aormaza@ipni.net Web : <http://nla.ipni.net>

Reporte de Investigación Reciente

Compostaje y vermicompostaje de estiércol bovino y residuos verdes bajo condiciones tropicales: Balances de carbón y de nutrientes y calidad del producto final

Sierra, J.A.D., L.A. Desfontaines, J.A. Faverial, G.A.B. Loranger-Merciris, y M.C. Boval. 2013. *Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions: carbon and nutrient balances and end-product quality*. *Soil Research*. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13031>

El compostaje y el lombricompostaje son opciones interesantes para la utilización en la restauración y mejora de suelos tropicales degradados e infértiles. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de compost y vermicompost producidos a partir de estiércol de ganado (EG) y residuos verdes (RV) mezclados en diferentes proporciones en condiciones tropicales. Se utilizaron indicadores químicos, bioquímicos y biológicos para identificar el papel de las lombrices de tierra y los factores que afectan la estabilidad de la materia orgánica (MO) y el balance de nutrientes en el la fase termófila (0-65 días) y de estabilización (66-183 días). El total de las pérdidas de carbono (C) en promedio fue de 55% y fue mayor en el vermicompostaje para los productos con un alto contenido de RV. Una tercera parte de las pérdidas de C se produjeron durante la fase de estabilización. Esta fase presenta un alto grado de mineralización de C, que se vincula a la alta temperatura ambiente (~ 30 °C). Aunque el contenido de MO fue similar para todos los productos finales, las mediciones de respiración indicaron que la estabilidad de MO fue mayor para el vermicompost. Estos resultados indican que la humificación y descomposición de MO ocurrieron simultáneamente durante el vermicompostaje. La relación entre fuentes de materia prima no afectó a la biodegradabilidad de la MO en los productos finales. No se observaron pérdidas de fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Sin embargo, se detectaron niveles altos de pérdidas para potasio (K) (45%) y nitrógeno (N) (25%), y estas pérdidas fueron mayores con el vermicompostaje para los productos con un alto contenido de RV. El vermicompost final estuvo enriquecido en P, Ca, y Mg, y ligeramente empobrecido en K, en comparación con el compost normal. El contenido de N fue similar para ambos métodos de compostaje. La respuesta de las plantas a la adición de la enmienda fue mayor para las tasas intermedias de RV y EG (por ejemplo, 40-60% para EG), sin diferencias entre compost y vermicompost. Los resultados de este estudio indican que el vermicompostaje es un proceso que favorece la estabilización de MO, lo cual es un factor clave para la adopción de esta práctica en los trópicos.

Dinámica de la concentración de nutrientes en relación a la edad de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en plantaciones de América Central

Fernandez-Moya, J., R. Murillo, E. Portuquez, J.L. Fallas, V. Rios, F. Kottman, J.M. Verjans, R. Mata, y A. Alvarado. 2013. *Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America*. *Forest Systems*. 22(1):123-133. Disponible gratuitamente en <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2013221-03386>

El objetivo: Se requiere un conocimiento adecuado acerca de la nutrición de la teca (*Tectona grandis* L.f.) para el mejor manejo de las plantaciones, para mayores rendimientos y conseguir sostenibilidad. Este estudio buscó contestar a las siguientes preguntas: Cómo se puede determinar si un árbol de teca sufre de deficiencias nutricionales antes de que muestre síntomas? Están relacionados los descensos en concentración de nutrientes en árboles viejos con los descensos en productividad vinculados a la edad?
Métodos: Se trabajó en Costa Rica y Panamá, midiendo la concentración de nutrientes en tronco, corteza, ramas y follaje a diferentes edades usando una falsa serie temporal en 28 plantaciones de teca. *Resultados:* El tenor foliar de N declinó de 2.28% en el año 1 a 1.76% en el año 19. El tenor foliar de Mg aumentó de 0.23% a 0.34% en el año 19. La concentración de los otros nutrientes se asume constante a través de la edad del árbol: 1.33% Ca, 0.88% K, 0.16% P, 0.12% S, 130 mg kg⁻¹ Fe, 43 mg kg⁻¹ Mn, 11 mg kg⁻¹ Cu, 32 mg kg⁻¹ Zn y 20 mg kg⁻¹ B. Los valores mostrados pueden ser tomados como referentes en la evaluación del estado nutricional de plantaciones de teca similares en la región. Las concentraciones de K, Mg y N pueden asociarse con descensos en la productividad de teca a medida que la plantación envejece. Si los cambios en la concentración de nutrientes relacionados con la edad son una causa o la consecuencia de la reducción en productividad de rodales de mayor edad es un tema para futuras investigaciones, con el objetivo de lograr mejores tasas de crecimiento a través del periodo de rotación.



*El artículo completo "Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America" está disponible en inglés en el siguiente enlace:*

<http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/3386/1829>

Cursos y Simposios

- 1. XVII Conferencia de la Organización Internacional de Conservación del Suelo**

Organiza : ISCO
Lugar : Medellín, Colombia
Fecha : Julio, 8-12, 2013
Información : ISCO
scsuelo@cable.net.co
www.iecaiberoamerica.org/blog/xvii-conferencia-isco
- 2. InfoAg Conference 2013**

Organiza : IPNI
Lugar : Springfield, Illinois, EE.UU.
Fecha : Julio, 16-18, 2013
Información : registration@infoag.org
www.infoag.org
- 3. XXXIV Congreso Brasileño de la Ciencia del Suelo**

Organiza : SBCS
Lugar : Florianópolis - Brasil
Fecha : Julio, 28 - Agosto 2, 2013
Información : SBCS
secretariabcbs2013@eventossilos.org.br
www.sbc.org.br/cbcs
- 4. Simposio Latinoamericano de Canola**

Organiza : EMBRAPA TRIGO - ABRASCANOLA
Lugar : Passo Fundo, Brasil
Fecha : Agosto, 20-22, 2013
Información : CNPT
falecom@abrascanola.com
www.cnpt.embrapa.br/eventos/2013/slac/index.html
- 5. Cumbre Mundial de Cacao**

Organiza : APROCAFA - ANECACAO
Lugar : Guayaquil, Ecuador
Fecha : Agosto, 26-28, 2013
Información : EXPOPLAZA
info@expoplaza.ec
www.expoplaza.ec/ferias/cacao/descripcion
- 6. Simposio Internacional Manejo de Materia Orgánica y Uso de Compost en Horticultura**

Organiza : IUSS
Lugar : Santiago, Chile
Fecha : Octubre, 21-24, 2013
Información : Universidad Técnica Santa María
ishs2013chile@usm.cl
www.compost-for-horticulture.com
- 7. Reunión Anual de la ASA, CSSA y SSSA "El Agua, los Alimentos, la Energía, y la Innovación para un Mundo Sostenible"**

Organiza : ASA - CSSA - SSSA
Lugar : Tampa Fl, EE.UU.
Fecha : Noviembre, 3-6, 2013
Información : www.agronomy.org/meetings
- 8. Primer Encuentro Nacional de Bosques, Recursos Genéticos Forestales Agroforestería**

Organiza : INIAP - E.E. STA. CATALINA
Lugar : Quito. Ecuador
Fecha : Noviembre, 11-13, 2013
Información : INIAP
: Telf.: 02 2690 692
: jorge.grijalva@iniap.gob.ec
: www.bosquesyagroforesteriainiap.com
- 9. XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo**

Organiza : IUSS
Lugar : Jeju, Corea
Fecha : Junio, 8-13, 2014
Información : IUSS
Telf.: (44) 01224 498200
www.iuss.org
- 10. XX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**

Organiza : SLCS - SPCS
Lugar : Cuzco, Perú
Fecha : Noviembre, 9-15, 2014
Información : SLCS - SPCS
jalegre@lamolina.edu.pe
www.slcs.org.mx

Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.</p> <p>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz: Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p>	45.00
<p>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p>	45.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	45.00
<p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p>Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p>Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p>Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos: Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.</p>	10.00
<p>Nutrición de la Caña de Azúcar: Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p>	8.00
<p>Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes: Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes.</p>	6.00
<p align="center">Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	