



## CONTENIDO

	Pág.
Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes .....	1
Biuret en fertilizantes de urea .....	7
Níquel - de nutriente tóxico a nutriente esencial .....	10
Manejo orgánico de los cultivos y fósforo en el suelo .....	13
Reporte de Investigación Reciente .....	15
- Indices en el suelo y en la planta para predecir la respuesta del eucalipto a nitrógeno en Uruguay.	
Cursos y Simposios .....	15
Publicaciones Disponibles .....	16

Editor: Dr. José Espinosa

*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.*

## CONSIDERACIONES EN EL USO EFICIENTE DE NUTRIENTES

W.M. Stewart\*

### Introducción

Se espera que la población mundial se incremente en más de 40% en los próximos 40-45 años, pasando de los actuales 6.6 billones de personas a 9.4 billones en el año 2050 (U.S. Census Bureau, 2006). En estas condiciones, será necesario incrementar el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la producción para lograr llenar en constante incremento la demanda de alimentos para una población en crecimiento, generalmente con mayor poder adquisitivo. Por ejemplo, se ha estimado que los sistemas de producción de maíz en los Estados Unidos y de arroz en Asia estaban funcionando a un 40-65% del potencial de rendimiento obtenible, y que se necesita un incremento hasta 70-80% del potencial del rendimiento para lograr satisfacer las demandas de alimentos de los próximos 30 años (Dobermann y Cassman, 2002). Adicionalmente, la demanda de biocombustibles provenientes de la agricultura está creciendo rápidamente, haciendo mayor el reto de mejorar la producción. Para lograr esto, serán necesarias estrategias que produzcan rendimientos más altos, que integren también la conciencia ambiental y la rentabilidad del agricultor. El mejor manejo y el incremento en la eficiencia de uso de los nutrientes serán componentes importantes para lograr este objetivo.

### Definiciones de eficiencia de uso de nutrientes

El tópico del uso eficiente de nutrientes ha ganado recientemente más atención con el incremento en los costos de fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua, asociada con el uso inapropiado de nutrientes. El incremento de las regulaciones gubernamentales y de programas de incentivos a todos los niveles también aumentan el interés en el tema. Es consenso general que mejorar la eficiencia de los fertilizantes es una labor valiosa que potencialmente puede entregar abundantes beneficios. Sin embargo, es necesario definir precisamente que significa uso eficiente de nutrientes y si la eficiencia difiere entre nutrientes. Además, es también importante precisar como y cuanto se puede mejorar la eficiencia.

Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen que tan bien las plantas o un sistema de producción usan los

\* Director de la Oficina para las Planicies Centrales de los Estados Unidos del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: [mstewart@ipni.net](mailto:mstewart@ipni.net)

Tabla 1. Índices agronómicos de eficiencia de uso de N (Dobermann, 2007).

Término	Cálculos	Rango para N en cereales
Eficiencia aparente de recuperación	$ER = (\text{kg de incremento en absorción de nutriente aplicado}) / (U - U_0)$	0.3 a 0.5 kg kg <sup>-1</sup> ; 0.5 a 0.8 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia fisiológica	$EF = (\text{kg de incremento en rendimiento de nutriente absorbido}) / (R - R_0) / (U - U_0)$	40 a 60 kg kg <sup>-1</sup> ; >50 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia interna de utilización	$EI = (\text{kg de rendimiento de nutriente absorbido}) / R/U$	30 a 90 kg kg <sup>-1</sup> ; el rango óptimo es de 55 a 65 con nutrición balanceada a niveles altos de rendimiento.
Eficiencia agronómica	$EA = (\text{kg de incremento en rendimiento de nutriente aplicado}) / (R - R_0) / F = ER \times EF$	10 a 30 kg kg <sup>-1</sup> ; >25 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Factor parcial de productividad	$FPP = (\text{kg de rendimiento de nutriente aplicado}) / R/F = (R_0/F) + EA$	40 a 80 kg kg <sup>-1</sup> ; >60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
<b>R = Rendimiento del cultivo con aplicación de nutrientes.</b> <b>R<sub>0</sub> = Rendimiento del cultivo sin aplicación de fertilizantes.</b> <b>F = Dosis del nutriente.</b> <b>U = Absorción del nutriente de la biomasa sobre el suelo a madurez fisiológica.</b> <b>U<sub>0</sub> = Absorción de la planta sin aplicación de fertilizantes.</b>		

nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. Entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación (ER). Las definiciones de ER pueden variar dependiendo del compartimento considerado en la recuperación (toda la planta, biomasa sobre suelo, porción cosechada) y las fuentes de nutrientes tomadas en cuenta (fertilizantes, residuos de corral, mineralización, deposición atmosférica) (Bruulsema et al., 2004). Sin embargo, la ER de un nutriente específico como el N se define a menudo como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman et al., 2002). Se ha estimado que la tasa de utilización (eficiencia de recuperación del cultivo) bajo condiciones favorables para N proveniente de fertilizantes es de 50-70%, para P de 10-25% (15% de promedio) y para K de 50-60% (Isherwood, 1990). El autor también menciona que la eficiencia de P y K con el tiempo (múltiples ciclos de crecimiento) deben tomarse en cuenta. En otras palabras, con nutrientes con significativo valor residual o potencial de almacenamiento en

el suelo, como P y K, la ER a largo plazo será significativamente más alta que a corto plazo. Además, la interacción entre nutrientes pueden tener un impacto significativo en la medición de la eficiencia de nutrientes individuales (Aulakh y Malhi, 2004).

La naturaleza y conducta de un nutriente en el suelo es importante para determinar la eficiencia. Los nutrientes con potencial de acumulación en el suelo, como P y K, pueden verse a corto plazo, sin embargo, se prestan más para que su eficiencia y recuperación sean evaluadas a largo plazo. Por otro lado, la eficiencia de N generalmente se evalúa en el corto plazo, o en un solo ciclo de crecimiento, debido a la naturaleza transitoria del N inorgánico (potencial de volatilización, desnitrificación y lixiviación). Sin embargo, cuando existe potencial para elevar las reservas de C en el suelo, es más apropiado evaluar la eficiencia de N a largo plazo, debido a que lo que afecta el balance de C también afecta el balance de N ya que la relación C:N de la materia orgánica del suelo es relativamente constante.

En la **Tabla 1** se presentan los índices agronómicos de eficiencia de uso de N (Dobermann, 2007). Estos

índices son ampliamente usados en investigación de la eficiencia del N y otros nutrientes aplicados y son independientes en escala. Estos índices se usan principalmente con la intención de enfatizar la respuesta del cultivo a los fertilizantes y pocas veces se usan en sistemas donde la principal fuente de N son materiales orgánicos o la fijación biológica de la fijación de N (Mosier et al., 2004).

El N ha recibido más atención en lo referente a la evaluación y mejoramiento de la eficiencia. La eficiencia de recuperación del N ( $ER_N$ ) generalmente se estima de la respuesta individual de un año ya sea por la diferencia de absorción de N entre plantas fertilizadas y no fertilizadas, o usando trazadores isotópicos como el  $^{15}N$ . Los dos métodos están sujetos a error. El error en el método de la diferencia ocurre porque las plantas responden a las deficiencias de nutrientes alterando el crecimiento radicular y por lo tanto la capacidad de las raíces para adquirir nutrientes. Estos mecanismos podrían no ser operativos o compatibles con el tipo de crecimiento de las plantas asociado con niveles altos de rendimiento de plantas fertilizadas. Los estimativos de recuperación usando trazadores isotópicos se confunden con el reciclamiento interno de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, la rápida absorción y liberación de amonio y nitrato (ciclo de mineralización-inmovilización) generalmente reduce la concentración del trazador en el N disponible para las plantas. El método de la diferencia tiene menos factores de confusión y por lo tanto se lo prefiere frente a la técnica del trazador isotópico de N (Cassman et al., 2002).

Un estudio reciente evaluó la diferencia en la absorción de N entre lotes fertilizados y sin fertilizar en 56 lotes de maíz en el centro norte de los Estados Unidos (Cassman et al., 2002). Este estudio puede ser usado como ejemplo para demostrar y discutir las diferentes formas de expresar la eficiencia del uso de N. Los detalles se resumen en la **Tabla 2**. La eficiencia de recuperación del N del fertilizante en la biomasa de la porción aérea de la planta ( $ER_N$ ) fue, en promedio, 37%

del N del fertilizante aplicado. Esto significa que cuando los lotes fueron fertilizados con la dosis óptima (cuyo promedio fue de 103 kg de N  $ha^{-1}$ ), se incrementó la absorción de N hacia la porción aérea de la planta en 38 kg  $ha^{-1}$  (37% de 103). Asumiendo que el grano contiene 56% del N de la porción aérea de la planta, un típico índice de cosecha, solo 21% del N aplicado es removido en el grano. El maíz fertilizado absorbió en promedio 184 kg de N  $ha^{-1}$ , 146 del suelo y 38 del fertilizante. La cantidad total de N en el grano sería entonces 56% de 184, o 103 kg de N  $ha^{-1}$ , cantidad igual a la aplicada como fertilizante. ¿Cual eficiencia de recuperación es correcta? una recuperación del 21% cuando se estima de la recuperación en el grano de solo un año, o 100% como se calcula usando la absorción total de N (N del suelo + N del fertilizante), asumiendo que el suelo puede continuar el abastecimiento de N a largo plazo. La respuesta no es clara a menos que se entienda la dinámica del ciclo del N a largo plazo.

Los nutrientes aplicados en los fertilizantes que no son absorbidos por el cultivo en un solo ciclo de crecimiento no necesariamente se pierden del sistema y pueden ser utilizados por los futuros cultivos. Esto es particularmente cierto para P y K, pero de alguna forma también es cierto para N, debido a que cierta cantidad de N puede ser temporalmente inmovilizada en la materia orgánica del suelo para luego de un tiempo ser liberada para beneficio de los cultivos. Por esta razón, Dobbermann et al. (2005) usaron el término nivel de eficiencia del sistema para tomar en cuenta la contribución de los nutrientes añadidos a la absorción del cultivo y al suplemento de nutrientes en el suelo.

### Optimización de la eficiencia de uso de los nutrientes

Entre las prácticas adecuadas de manejo (PAM) de la nutrición de los cultivos se encuentra la de aplicar nutrientes en dosis, época y localización correctas. Estas prácticas son críticas para lograr óptima eficiencia de uso de los nutrientes.

**Tabla 2. Eficiencia del N del fertilizante en maíz de 56 experimentos conducidos en lotes de agricultores en el centro norte de los Estados Unidos (fuente de los datos: Cassman et al., 2002; fuente de los cálculos: Bruulsema et al., 2004).**

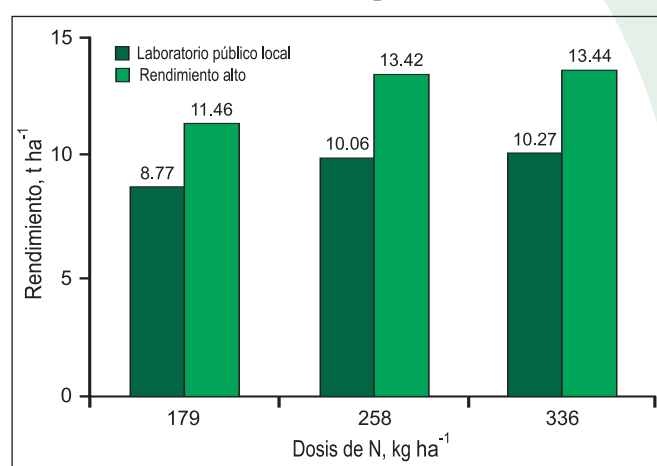
Promedio de la dosis óptima de N aplicada como fertilizante, kg $ha^{-1}$	103
N del fertilizante recuperado en el cultivo, kg $ha^{-1}$	38
Total de N absorbido por el cultivo, kg $ha^{-1}$	184
N removido en el grano cosechado*, kg $ha^{-1}$	103
N retornado al campo con los residuos del cultivo, kg $ha^{-1}$	81
Eficiencia de recuperación del cultivo (38 kg de N recuperados/103 kg de N aplicados), %	37
Eficiencia de remoción del cultivo (103 kg de N aplicados/103 kg de N en el grano), %	100

\* Asume un índice típico de cosecha de 56%.

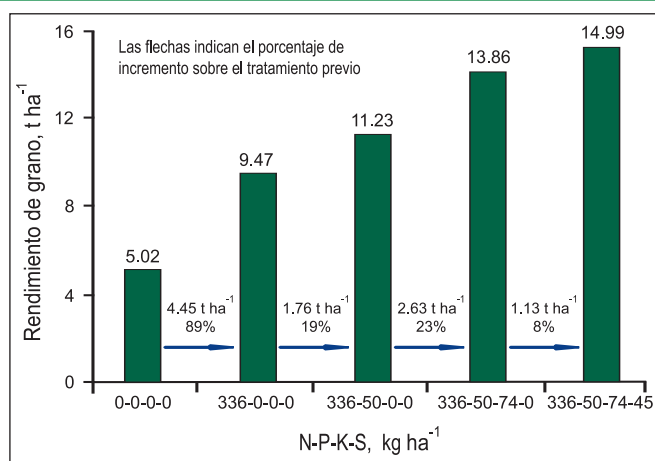
**Dosis correcta:** El rendimiento de la mayoría de los cultivos es específico del sitio y época del año y dependen del cultivar, prácticas de manejo y clima, etc., por esta razón, es crítico que se establezcan metas de rendimiento reales y que se apliquen nutrientes para lograr esta meta. La aplicación de cantidades menores o mayores a las necesarias resulta en una pobre eficiencia de uso de los nutrientes o en pérdidas en el rendimiento y calidad del cultivo. El análisis de suelo sigue siendo una de las mejores herramientas para determinar la capacidad del suelo para suplementar nutrientes, pero para ser útil en el diseño de adecuadas recomendaciones de fertilización es necesario una buena calibración.

A medida que la tecnología y los sistemas de cultivo cambian y mejoran es importante que las recomendaciones basadas en análisis de suelo sean periódicamente evaluadas. Un ejemplo de esta condición se ha mostrado en un reciente trabajo con maíz de rendimientos altos en el centro norte de Kansas, Estado Unidos (Gordon, 2005). Las dosis de nutrientes recomendadas en la época de este estudio por el laboratorio público de la localidad se compararon con dosis consideradas como más consistentes para la producción de maíz de altos rendimientos. Los resultados se muestran en la **Figura 1**. Este esfuerzo de 5 años demostró la necesidad de la calibración de los análisis del suelo y de investigación en manejo de fertilizantes para rendimientos altos. Además, se demostró que las recomendaciones estándar no hubiesen producido rendimientos más altos.

Los nutrientes no funcionan aisladamente. Es importante la interacción entre nutrientes ya que la deficiencia de uno limita la absorción y uso de otro. Numerosos estudios han demostrado la importancia del balance de



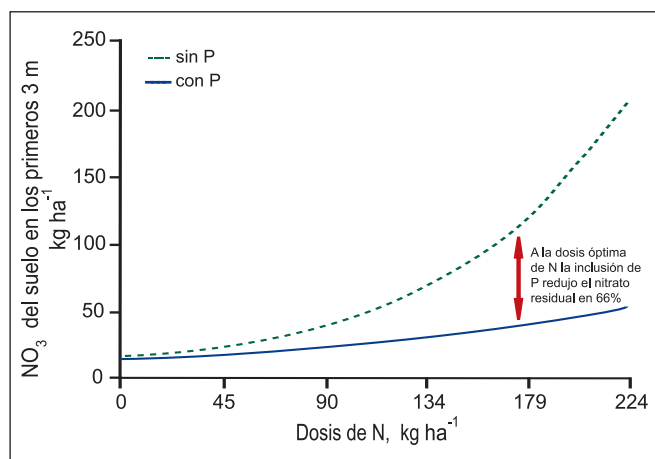
**Figura 1. Efecto de la aplicación de nutrientes en el rendimiento de maíz bajo riego (Gordon, 2005). Los tratamientos para N, P, K y S fueron: I recomendación del laboratorio público: 15 kg de P ha<sup>-1</sup>, sin K, sin S; II rendimiento alto: 50 kg de P ha<sup>-1</sup>, 74 kg de K ha<sup>-1</sup>, 45 kg de S ha<sup>-1</sup>. Rendimiento promedio de 3 años y 2 poblaciones de plantas en un suelo franco arenoso.**



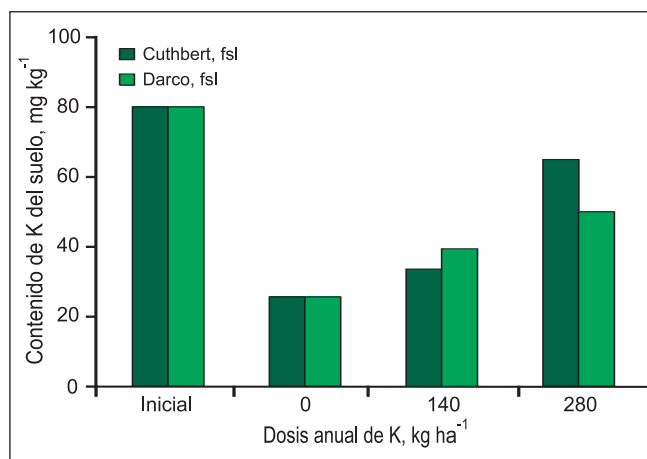
**Figura 2. Respuesta de maíz bajo riego a la aplicación de nutrientes (Gordon, 2005). Promedio de 3 años en un suelo franco arenoso.**

nutrientes. Por ejemplo, en el estudio de maíz de altos rendimientos en Kansas mencionado anteriormente (Gordon, 2005) se añadieron tratamientos para evaluar el impacto de los nutrientes individuales y en combinación. La **Figura 2** muestra el incremento en el rendimiento a una dosis constante de N (336 kg ha<sup>-1</sup>) con la adición de P, K y S individualmente. El FPP de N (kg de rendimiento kg<sup>-1</sup> de N) se incremento de 28 con solamente N a 45 con la aplicación de N, P, K y S. El desbalance de nutrientes y la consecuente reducción de la eficiencia puede resultar en un mayor potencial de pérdida de nutrientes al ambiente. Esto se demostró en un estudio de maíz a largo plazo en el oeste de Kansas, Estados Unidos, que comparó la aplicación de solamente N con la aplicación de N+P (Schlegel et al., 1996). Después de 30 años de iniciado el experimento se midió el contenido de N como nitrato a una profundidad de 3 m en las parcelas de los tratamientos con N y N+P. A la dosis óptima de N, el contenido de nitrato (la fracción más vulnerable a pérdida) se redujo en 66% cuando se aplicó P conjuntamente, en comparación con el tratamiento donde solo se aplicó N (**Figura 3**). Fixen (2005) calculó la eficiencia de recuperación aparente (ER<sub>N</sub>) para los tratamientos del estudio y encontró que fertilización complementaria con P incrementó la ER<sub>N</sub> del maíz en todas las dosis de N. Además, la ER<sub>N</sub> a los niveles óptimos de N se incrementó desde menos 40% en el tratamiento sin P hasta más de 70% en el que incluye P.

La remoción de nutrientes por los cultivos también es un importante factor a considerar en la determinación de las dosis de nutrientes a utilizarse. Si los nutrientes removidos en el grano cosechado y en la biomasa del cultivo no son reemplazados, la fertilidad del suelo se agota eventualmente. Esto es particularmente cierto en pastos de corte donde toda la biomasa aérea se remueve en la cosecha. Un buen ejemplo de que tan rápido se agotan los nutrientes del suelo con la producción de forrajes es el estudio con pasto bermuda conducido al



**Figura 3. Efecto de la nutrición balanceada en el nitrato residual después de 30 años de producción de maíz al oeste de Kansas, Estados Unidos (Schlegel et al., 1996).**



**Figura 4. Contenido de K en el suelo después de años de producción de forraje de pasto bermuda bajo diferentes tratamientos de fertilidad en el este de Texas, Estados Unidos (Nelson et al., 1983).**

este de Texas, Estados Unidos (Nelson et al., 1983). La **Figura 4** muestra el impacto de la pobre aplicación de K en el contenido de este nutriente en dos tipos de suelos después de solamente 3 años de producción de forraje. Donde no se aplicó el nutriente, el contenido de K en el suelo se redujo a un tercio de su valor original en ambos suelos (de 80 a 25 ppm de K).

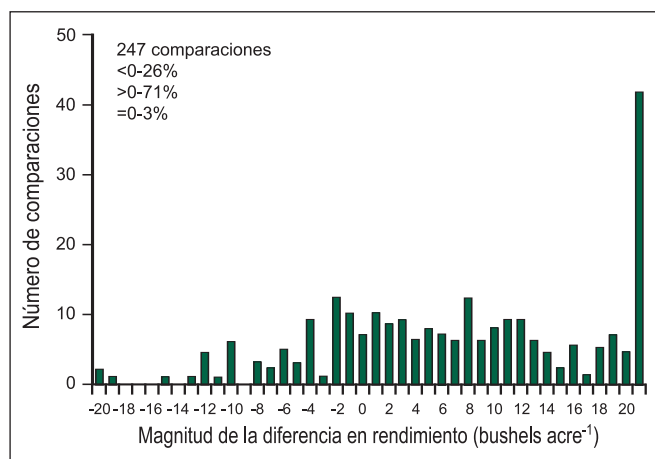
**Epoca correcta:** Es necesario una mayor sincronización entre la demanda del cultivo y el suplemento de nutrientes del suelo para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, especialmente N. El fraccionamiento de las aplicaciones de N durante el ciclo de crecimiento, en lugar de una sola aplicación de todo el N antes de la siembra, se conoce que es una práctica efectiva para incrementar la eficiencia de uso de N (Cassman et al., 2002). El análisis del tejido es un método muy conocido para determinar el contenido de N en los cultivos en crecimiento, pero también existen otras herramientas de diagnóstico como el medidor de clorofila y tabla de comparación de colores. Los sensores que miden el contenido de N en el suelo instantáneamente se encuentran al momento disponibles en el mercado y se pueden acoplar con equipo de aplicación dosis variable de fertilizantes para corregir automáticamente las deficiencias de N en el cultivo por sitio específico (Raun et al., 2004).

Otra estrategia para mejorar la sincronización entre la aplicación y la absorción es el uso de fertilizantes con mayor eficiencia. La Asociación Americana de Oficiales de Control de Fertilizantes ha definido a los fertilizantes de mayor eficiencia como productos que tienen características que minimizan el potencial de pérdidas de nutrientes hacia el ambiente, en comparación con productos solubles de referencia (AAPFCO, 2006). Dentro de la clase de fertilizantes se incluyen compuestos orgánicos sintéticos de lenta solubilidad que contienen N, los fertilizantes

nitrogenados solubles rodeados por una barrera física o recubrimiento que impide la liberación y fertilizantes nitrogenados estabilizados (fertilizantes nitrogenados tratados con inhibidores de ureasa y/o nitrificación).

La mayoría de fertilizantes de lenta liberación son más caros que los fertilizantes nitrogenados solubles en agua y tradicionalmente se han usado en cultivos especiales de alto valor. Sin embargo, las mejoras tecnológicas han reducido los costos de manufactura al punto que fertilizantes de liberación controlada se han hecho disponibles para uso en maíz, cebada y otros granos (Blaylock y Tindall, 2006). Entre los productos con más posibilidades para su uso agrícola están aquellos recubiertos con polímeros que liberan nutrientes de una forma predecible y controlada con el objetivo de sincronizar mejor la liberación del nutriente con la demanda del cultivo. Las tasas de liberación de nutrientes se pueden controlar ajustando el grosor y propiedades del polímero de recubrimiento. Los productos recubiertos de polímeros han sido extensivamente evaluados en el cinturón maicero de los Estados Unidos en los últimos años. La **Figura 5** resume 247 comparaciones entre urea recubierta con polímeros con urea normal y solución urea nitrato de amonio. La urea recubierta con polímeros fue mejor que los materiales solubles en 71% de las comparaciones, con el incremento más dramático en rendimiento en aquellos ambientes donde el potencial para pérdida de N era mayor (Blaylock y Tindall, 2006).

La tecnología de estabilización de N ha estado disponible para la agricultura comercial por muchos años. El uso de estos materiales ha crecido en los Estados Unidos en los últimos años debido a los precios más altos del N y al incremento en el uso de urea. Los estabilizadores de nitrógeno inhiben ya sea la nitrificación (nitrapyrin, DCD [dicyandiamide]) o la actividad de la ureasa (NBPT). En el primer caso se



**Figura 5. Diferencia en la respuesta en rendimiento de maíz con el uso de urea recubierta con polímeros y fuentes solubles de referencia (urea y solución urea nitrato de amonio) (Blaylock y Tindall, 2006). La diferencia en rendimiento se obtiene de la substracción del rendimiento con urea o solución urea nitrato de amonio del rendimiento obtenido con urea recubierta con polímeros a la misma dosis de N. Se juntaron los datos de experimentos replicados y experimentos en fajas conducidos por agricultores en sus lotes.**

reduce la conversión del N en el fertilizante a nitrato y en el segundo caso se reduce el riesgo de volatilización del amonio de la urea (Havlin et al., 2005). Cuando las condiciones ambientales y de suelo son favorables para la volatilización o para la pérdida de nitrato, el uso de un estabilizador tiene el potencial para incrementar la eficiencia de N.

**Localización correcta:** La colocación de fertilizantes siempre ha sido una importante consideración en el manejo de nutrientes. El determinar el lugar correcto puede ser tan importante como determinar la dosis correcta de aplicación. Existen numerosas opciones de localización, pero la mayoría generalmente se relacionan con aplicaciones superficiales o sub-superficiales de nutrientes ya sea en banda o al voleo antes o después de la siembra. En general, la eficiencia de recuperación de nutrientes tiende a ser mayor en las aplicaciones en banda ya que se reduce el contacto con el suelo y la posibilidad de pérdida de nutrientes debido a lixiviación o reacciones de fijación. Las decisiones de localización del fertilizante dependen del cultivo y de las condiciones del suelo, además de la disponibilidad de equipos y productos.

La labranza del suelo en faja se ha convertido en una práctica popular de labranza de conservación en muchas áreas en las planicies de los Estados Unidos. La labranza en fajas ayuda a superar algunos problemas asociados con la siembra directa (condiciones frías y húmedas al inicio de la temporada). También ofrece nuevas opciones para localización de fertilizantes comparado con la siembra directa. Durante las

operaciones de labranza, generalmente en otoño, los nutrientes se pueden localizar a varios centímetros de profundidad (15-20 cm), directamente abajo de la cama de siembra. Adicionalmente, muchos agricultores aplican fertilizantes de arranque durante las operaciones de siembra en la primavera. Esta combinación puede ser agronómica y económicamente eficiente al suplir parte o todos los requerimientos de nutrientes del cultivo (Kansas State University, 2004; Irrigation Research Foundation, 2006).

### Conclusiones

La eficiencia de uso de nutrientes y sus varias expresiones no deben confundirse con manejo efectivo de nutrientes. A menudo se pueden conseguir eficiencias más altas al reducir las dosis y sacrificar el rendimiento, pero generalmente esto no es económico o sostenible. En un trabajo clásico Dobb (2000) discutió la importancia de considerar la eficiencia y la viabilidad económica total dentro del sistema de producción de alimentos. El autor señala que la eficiencia de uso de los nutrientes, la eficiencia de uso del suelo, el retorno económico y la protección ambiental son componentes que definen y determinan la sostenibilidad actual y la del futuro. Roberts (2006) apropiadamente indicó que “El mejorar la eficiencia de uso de nutrientes es una meta válida y un reto fundamental que debe enfrentar la industria de fertilizantes y agricultura en general”. Las oportunidades aparecen y existen las herramientas para lograr el objetivo de mejorar la eficiencia de los nutrientes aplicados. Sin embargo, debemos evitar que las mejoras en eficiencia se produzcan a expensas de la viabilidad económica de los agricultores o del ambiente. Se deberá utilizar en forma juiciosa las PAM ... dosis, época y localización correctas ... para lograr el objetivo de alcanzar rendimientos altos y eficiencia en el uso de nutrientes, esto beneficia por igual a los agricultores, la sociedad y el ambiente.

### Bibliografía

AAPFCO. 2006. Official publication No. 59. <http://www.aapfco.org>

Aulakh, M.S. and S.S. Malhi. 2004. Fertilizer nitrogen use efficiency as influenced by interactions with other nutrients. In A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney (eds.) Agriculture and the nitrogen cycle. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). 65:181-191.

Blaylock, A. and T. Tindall. 2006. Advances in slow-release nitrogen fertilizers. In Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference. Denver, Colorado. March 7-8, 2006. p. 37-43.

Bruulsema, T.W., P.E. Fixen, and C.S. Snyder. 2004. Fertilizer nutrient recovery in sustainable cropping systems. Better Crops. 88(4):15-17.

## BIURET EN FERTILIZANTES DE UREA

R.L. Mikkelsen\*

### Introducción

La urea ha pasado a ser la principal forma de fertilizante nitrogenado en el mundo. La urea es un compuesto que se encuentra en la naturaleza, pero también puede ser manufacturado reaccionando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con amoníaco (NH<sub>3</sub>) a alta temperatura y presión. Por su alto contenido de nitrógeno (N) (46%) es económica para producir, transportar y entregar en el campo.

Existen dos preocupaciones para los agricultores que usan urea como fuente de N en la nutrición de sus cultivos. Primero, cuando la urea permanece en la superficie del suelo, una porción del N aplicado se puede perder por la volatilización de NH<sub>3</sub>, reduciendo su efecto nutricional. Generalmente, la urea aplicada al suelo reacciona rápidamente con la enzima del suelo denominada ureasa para convertirse en amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y luego en NH<sub>3</sub> (Figura 1) que se puede perder como gas. Se ha hecho considerable esfuerzo para entender el proceso de pérdida de NH<sub>3</sub>. Como resultado se han desarrollado diversas estrategias que pueden reducir substancialmente estas pérdidas como el uso de urea recubierta con polímeros (liberación controlada), el uso de aditivos (inhibidores de ureasa) y la utilización de prácticas adecuadas de manejo.

La segunda preocupación se relaciona con la potencial toxicidad del biuret en cultivos en crecimiento. Cuando se incrementa la temperatura sobre 132°C (punto de fusión de la urea) durante el proceso de manufactura se pueden formar varios compuestos diferentes que incluyen el biuret (Figura 2). El biuret puede ser tóxico para las plantas a concentraciones elevadas, ya sea aplicado al suelo o a las hojas. Aun cuando los procesos modernos de manufactura de la urea producen consistentemente materiales con bajas concentraciones de biuret, todavía existe preocupación sobre los potenciales riesgos asociados con la presencia de este compuesto.

### Biuret en el suelo

Hace muchos años, investigadores encontraron que el crecimiento de las plantas se reduce o se detiene completamente después de altas aplicaciones de biuret al suelo. Esta supresión de crecimiento se mantiene por un periodo de varias semanas. Aunque la habilidad de degradar biuret es casi general en los microorganismos

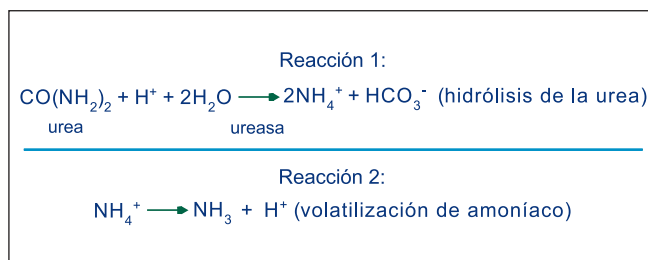


Figura 1. Reacciones de la urea promovidas por las enzimas del suelo para formar amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>).

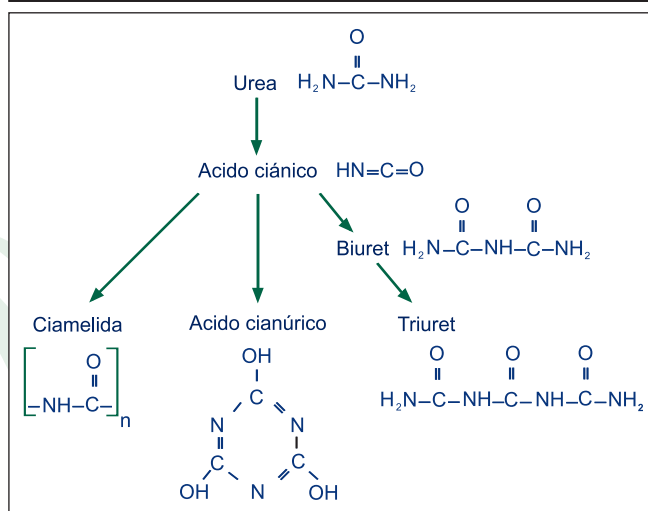


Figura 2. Posibles productos de la reacción de la urea expuesta a alta temperatura.

del suelo, el crecimiento microbiano es la mitad de rápido cuando se usa biuret como fuente de N en comparación con la urea. La presencia de biuret también reduce la tasa de nitrificación en el suelo.

### Daños a las plántulas

Cuando se coloca urea con elevado contenido de biuret junto a las semillas se puede provocar toxicidad a las plantas en germinación. Parte de este daño puede ser provocado por la presencia de NH<sub>3</sub> proveniente de la hidrólisis normal de la urea, pero la presencia de biuret puede hacer el daño aún más severo. La severidad de los daños por biuret a las plántulas depende del cultivo, la concentración de biuret y la localización del fertilizante. No se debe colocar la urea, contenga o no biuret, directamente junto con una semilla durante la siembra. Si se separa el fertilizante de la semilla con un pequeño volumen de suelo, los problemas de toxicidad se reducen significativamente. Se puede también enmendar la urea añadiendo pequeñas cantidades de un inhibidor de ureasa para reducir los potenciales efectos adversos.

\* Tomado de: Mikkelsen R.L. 2007. Biuret in urea fertilizers. Better Crops With Plant Food 91(3):6-7.

## Aplicación de biuret al suelo

Se han realizado muchos estudios para determinar la concentración máxima de biuret que pueden tolerar los cultivos. La sensibilidad específica del cultivo depende de factores como la especie utilizada, propiedades del suelo, método y época de aplicación de los fertilizantes así como la concentración y cantidad total de biuret aplicado.

Son importantes las propiedades del suelo en las cuales crece el cultivo expuesto a biuret para determinar el potencial de toxicidad. El biuret no se retiene en el suelo y se lixivia fácilmente. Las plantas son generalmente menos sensibles al biuret en suelos que contienen apreciables cantidades de arcilla o materia orgánica o tienen bajo pH.

No se ha determinado cual es el agente tóxico específico asociado con la toxicidad de biuret en la zona radicular. Se piensa que la acumulación de ácido cianúrico o de nitrito en el suelo después de la aplicación de biuret podría ser la causa de la toxicidad. Aunque estos componentes pueden ser dañinos para las plantas, el biuret por si solo también causa toxicidad.

Muchos cultivos pueden tolerar altas cantidades de biuret que provengan de la urea aplicada si ésta no está en contacto directo con la semilla. Para el uso seguro de urea aplicada al suelo, como regla general, no se deben utilizar ureas que tengan más de 2% de biuret. Muchos cultivos se afectan cuando las concentraciones de biuret exceden mucho este nivel. Los procesos modernos de manufactura de urea producen material con un contenido de biuret de alrededor de 1%. Existen pocas especies de plantas, como cítricos y piña, que no toleran niveles elevados de biuret.

## Aplicaciones foliares de biuret

El daño foliar por biuret se identificó por primera vez en la década de 1950 cuando se iniciaron las aspersiones foliares de urea sobre cultivos sensibles como aguacate, cítricos y piña. Desde aquella época se han realizado esfuerzos considerables para determinar el nivel seguro de la concentración de biuret en la urea para aplicaciones foliares. Al igual que en las aplicaciones al suelo, algunos cultivos son más tolerantes al biuret que otros, pero las concentraciones de biuret en la urea para aplicaciones foliares es mucho menor que para las aplicaciones al suelo. La urea y el biuret penetran rápidamente en las hojas haciendo que el potencial para producir efectos adversos sea mayor con la fertilización foliar.

En ciertas circunstancias, las aplicaciones foliares de



**Foto 1. Aplicaciones foliares complementan efectivamente los requerimientos de nutrientes en muchos cultivos perennes.**

urea pueden ser muy beneficiosas. Varios cereales, hortalizas y cultivos perennes responden favorablemente a las aplicaciones foliares de urea con incrementos en el crecimiento, rendimiento y calidad (**Foto 1**). Además pueden aumentar las concentraciones de N en el grano, reducir las pérdidas de N por lixiviación y denitrificación y suplir N cuando la absorción radicular es limitada. Sin embargo, debido a que los nutrientes aplicados en forma foliar son directamente absorbidos por la planta (sin el efecto amortiguador del suelo) se debe prestar mucha atención para que la práctica se realice en la forma correcta.

Después de aplicaciones foliares de urea que contenía 0.5% de biuret al cultivo de papa se observaron síntomas visuales de toxicidad en las hojas como amarillamiento, enrollamiento hacia arriba y márgenes necróticos. Las aplicaciones de urea y biuret en naranja resultaron en daños a las hojas observándose que la porción apical de las hojas es la más sensible al biuret (**Foto 2**). Estas hojas amarillas nunca lograron recuperar su color normal, pero el nuevo flujo de crecimiento aparentemente es normal. Debido a que el biuret no es rápidamente metabolizado por las plantas, aspersiones continuas de urea y biuret pueden tener un efecto acumulativo, especialmente en cultivos perennes.

## Efectos de biuret y metabolismo de las plantas

Las plantas no pueden metabolizar rápidamente el biuret. Se ha observado en naranja que el biuret todavía se mantiene en las hojas hasta ocho meses después de la aplicación foliar. El biuret aplicado al suelo se acumula en forma similar en las plantas por largos periodos de tiempo. El mecanismo exacto de los daños por biuret a las plantas es todavía incierto, pero los efectos dañinos de altas concentraciones del compuesto se han documentado bien.





Foto 2. Hojas de cítricos afectadas por la aplicación de urea y biuret.

Cuando se encuentra en concentraciones elevadas, el biuret interfiere con la síntesis normal de las proteínas y en el metabolismo interno del N en las plantas. Generalmente se encuentran menores concentraciones de N en las hojas con daños de biuret en comparación con hojas sanas tratadas con urea. El biuret también interfiere la actividad normal de muchas enzimas importantes de la planta, incrementando unas enzimas y reduciendo otras, en comparación de plantas saludables.

El biuret presente en la urea puede ser dañino para las plantas cuando se encuentra en altas concentraciones, sin embargo, los procesos modernos de manufactura han logrado reducir mucho la severidad de este problema. Las plantas viejas de producción a menudo entregaban urea con concentraciones de > 5% de biuret. Las aplicaciones foliares de las soluciones de urea que contienen alrededor de 1% de biuret son adecuadas para muchos cultivos comunes. Sin embargo, en cultivos sensibles se requiere utilizar urea especial con bajas concentraciones de biuret (< 0.3%). Si no se conoce la sensibilidad de un cultivo al biuret es aconsejable utilizar urea que contenga bajos niveles de biuret hasta que se haya determinado la sensibilidad.

La industria moderna de fertilizantes produce urea notablemente segura, consistente y efectiva para mejorar el crecimiento de la planta. La urea tiene muchas propiedades para que sea el fertilizante nitrogenado más usado en el mundo. Los problemas de toxicidad de biuret son raros, pero se debe tener especial atención en la fertilización de cultivos sensibles.✧

Más información y una lista de referencias de biuret se puede encontrar en el siguiente portal: [www.ipni.net/biuret](http://www.ipni.net/biuret)

## Consideraciones en el uso eficiente de ...

- Cassman, K.G., A. Dobermann, and D. T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*. 31(2):132-140.
- Dibb, D.W. 2000. The mysteries of nutrient use efficiency. *Better Crops* 84(3):3-5. <http://www.ipni.net/ppiweb>
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. Proc. of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium. March 7-9.
- Dobermann, A. and K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*. 247:153-175.
- Dobermann, A., K.G. Cassman, D.T. Waters, and C. Witt. 2005. Balancing short and long-term goals in nutrient management. In Proceedings of the XV International Plant Nutrient Colloquium, Beijing, China. Sep. 14-16.
- Fixen, P.E. 2005. Understanding and improving nutrient use efficiency as an application of information technology. Proceedings of the Symposium on Information Technology in Soil Fertility and Fertilizer Management, a satellite symposium at the XV International Plant Nutrition Colloquium, Beijing, China. Sep. 14-16.
- Gordon, W.B. 2005. Maximizing Irrigated Corn Yields in the Great Plains. *Better Crops*. 89(2):8-10. <http://www.ppi-ppic.org/ppiweb>
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 7th ed., pp. 153-157.
- Isherwood, K.F. 1990. IFA, 5th AFA International Annual Conference, 1999, Cairo, Egypt. <http://www.fertilizer.org>
- Irrigation Research Foundation. 2006. <http://www.irf-info.com>
- Kansas State University. 2004. Agronomy field research. Report of progress 928. Manhattan, KS.
- Mosier, A.R., J.K. Syers, and J.R. Freney. 2004. Agriculture and the nitrogen cycle. Appendix. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). 65:279.
- Nelson, Keisling and Rouquette. 1983. Potassium rates and sources for coastal bermudagrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47(5):963-966.
- Raun, W.R., G.V. Johnson, F.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, and K.W. Freeman. 2004. In season fertilizer nitrogen rates using predicted yield potential and the response index. *Better Crops*. 88(2):8-11. <http://www.ipni.net/ppiweb>
- Roberts, T.L. 2006. Improving nutrient use efficiency. In Proceedings of the IFA Agriculture Conference, Optimizing Resource Use Efficiency for Sustainable Intensification of Agriculture. Kunming, China.
- Schlegel, A.J., K.C. Dhuyvetter, and J.L. Havlin. 1996. Economic and environmental impacts of long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *J. Prod. Agric.* 9:114-118.
- U.S. Census Bureau. 2006. International Data Base. <http://www.census.gov/ipc>

## NIQUEL - DE NUTRIENTE TOXICO A NUTRIENTE ESENCIAL

E. Malavolta y M.F. Moraes\*

### Introducción

“Oreja de ratón” es la expresión utilizada para describir síntomas peculiares observados en las hojas de pecano (*Carya illinoensis*) y en ciertas otras plantas. La punta de las hojas jóvenes afectadas presenta manchas oscuras y es redondeada, pareciéndose a las orejas de un ratón. Este desorden, conocido desde 1918, ha afectado huertos en el sureste de la costa del golfo y llanuras costeras de los Estados Unidos (Wood et al., 2004a).

Inicialmente, este desorden se atribuyó a varias causas, como daños por frío, enfermedades virales o deficiencias de manganeso (Mn) o cobre (Cu). Los análisis foliares de hojas sanas y afectadas revelaron que los síntomas son provocados por deficiencia de níquel (Ni), causada por bajos contenidos de Ni o inducida por exceso de zinc (Zn) en el suelo (Wood et al., 2004b). La aplicación foliar del sulfato de níquel ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en el otoño transporta el Ni a los tejidos de los tallos y brotes en dormancia en cantidad suficiente para el crecimiento normal. En la primavera las hojas de las plantas tratadas son normales en forma y tamaño y presentan una concentración de Ni de 7 mg  $\text{kg}^{-1}$ , mientras que las hojas con síntomas tienen 0.5 mg de Ni  $\text{kg}^{-1}$ . Los suelos de los huertos que presentan severa deficiencia tienen contenidos de 0.4 a 1.4  $\text{kg ha}^{-1}$  de Ni (Wood et al., 2006a).

Se solía considerar al Ni como elemento no esencial o tóxico para las plantas, pero el trabajo conducido en pecano y en otras plantas reveló que el Ni cumple con el criterio indirecto de esencialidad propuesto por Arnon y Scout (1939). También coincide con el criterio directo referente a la ureasa que indica que este compuesto es una metaloenzima ubicua (presente en todas partes) que contiene Ni (Dixon et al., 1975). Eskew et al. (1983, 1984) y Brown et al. (1987) colocaron al Ni en la lista de micronutrientes. Ya en el año 1946 Roach y Barclay realizaron experimentos de campo en Inglaterra con cebada, papa y habas y obtuvieron incrementos en rendimiento gracias a la aplicación foliar de Ni.

La ureasa cataliza la hidrólisis de la urea [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], reacción que divide la molécula en amonio ( $\text{NH}_3$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La deficiencia de Ni inhibe la acción de la ureasa y esta condición lleva a la



Arbol de pecano deficiente en Ni. La rama derecha se trató con una sola aplicación de sulfato de níquel, mientras que la rama izquierda no recibió tratamiento. Los efectos en el crecimiento son visibles 14 días después de la aplicación.

acumulación de urea que provoca la presencia de manchas necróticas en las hojas. Además, la deficiencia de Ni perturba el metabolismo de los ureidos, aminoácidos y ácidos orgánicos y se acumulan los ácidos oxálico y láctico (Bai et al., 2006). Estos efectos sugieren que el Ni tiene varios roles importantes en el metabolismo de las plantas superiores. Las manchas necróticas asociadas con la deficiencia corresponden a los sitios de acumulación de urea o de los ácidos oxálico y láctico, lo que indica también que existen cambios en el metabolismo del carbono (C), en particular una reducción de la respiración.

El Ni también está involucrado en la fijación simbiótica de N ya que incrementa la actividad de hidrogenasa en los bacterioses aislados en los nódulos (Klucas et al., 1983). Más recientemente, Ureta et al. (2005) demostraron que el bajo nivel de Ni en suelos agrícolas puede limitar la actividad de la hidrogenasa simbiótica del *Rhizobium leguminosarum*. La presencia de Ni en

\* Tomado de: Malavolta, E. and M.F. Moraes. 2007. Níquel – from toxic to essential nutrient. *Better Crops With Plant Food* 91(3):26-27.

la solución nutritiva inhibió la producción de etileno en fríjol y manzana (Smith y Woodburn, 1984). Bertrand y Wolf (1954) analizaron las raíces, nódulos y parte aérea de varias leguminosas incluyendo fríjol y soya. Consistentemente, los contenidos más altos de Ni y cobalto (Co) se encontraron en los nódulos de estas plantas. Experimentos de campo conducidos en 1973 demostraron que la adición de hasta 40 g de Ni ha<sup>-1</sup> incrementaron la nodulación y el rendimiento de soya (Bertrand, 1973). En revisiones extensas, Mishra y Kar (1974) y Gerendas et al. (1999) mencionan que las aplicaciones foliares con sales de Ni son muy efectivas para combatir la roya en cereales por su toxicidad para el patógeno y por los cambios causados en la fisiología del hospedero que llevan a resistencia. Forsyth y Peturson (1959) demostraron el efecto protector y de erradicación de la roya en trigo, avena y girasol. Con base en la misma línea de trabajo, Graham et al. (1985) sugirieron la posibilidad del uso de Ni en el control de roya que afecta a diversos cultivos en muchas regiones del mundo.

Plantas cultivadas en suelos no contaminados tienen concentraciones de Ni que van de 0.05 a 5 g kg<sup>-1</sup> de peso seco. La amplitud de la variación es causada por la disponibilidad de Ni en el suelo y por las especies analizadas. Los diferentes órganos o partes de la misma planta pueden tener diferentes contenidos de Ni. De acuerdo con Gerendas et al. (1999), el contenido de Ni en el borde de las hojas es alto durante el crecimiento vegetativo. Sin embargo al momento de la cosecha los granos contienen más Ni que la paja. Evaluaciones hechas a la floración de primavera de cítricos demostraron que la partición de micronutrientes a las ramas permitía la acumulación de un sorprendente contenido de Ni, la mitad del cual estaba en las flores (Figura 1). Se conoce que incrementos en los niveles de NH<sub>3</sub> en las hojas pueden causar un incremento en la inducción de la floración (Lovatt et al., 1988). Esto sugeriría que altos niveles de Ni en las flores, no reportados anteriormente, puede incrementar la actividad de ureasa y generar NH<sub>3</sub> que puede incrementar la floración y porcentaje de amarre de la fruta (Malavolta, 2006).

Se observan síntomas de toxicidad cuando se absorben niveles excesivos de Ni. Los síntomas incluyen clorosis por la reducción de la absorción de hierro (Fe), poco crecimiento de la raíz y de la parte aérea, la deformación de varias partes de la planta e inusuales manchas de las hojas (Mishra y Kar, 1974). Las plantas varían en su sensibilidad o tolerancia para el exceso de Ni. Por ejemplo, fríjol es más sensible que arroz (Piccini y Malavolta, 1992). Los niveles tóxicos en las plantas están comúnmente en el rango de 25 a 50 mg kg<sup>-1</sup>.

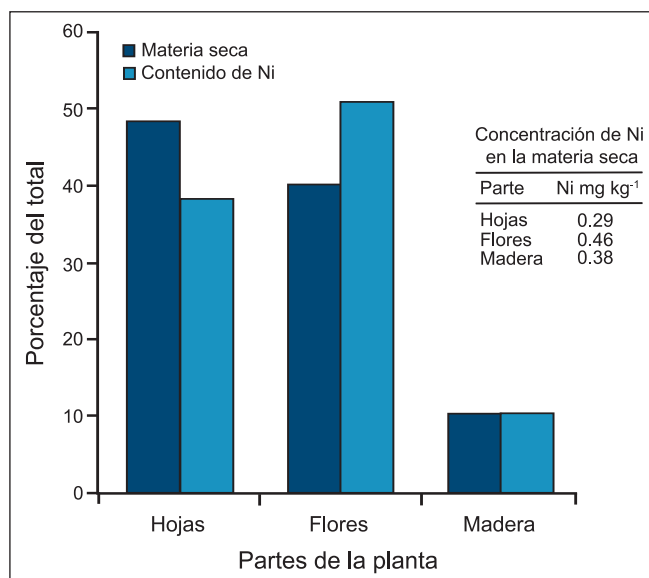


Figura 1. Contenido de Ni en cítricos en varias partes de la planta en primavera (Malavolta, 2006).

Sin embargo, existen especies que soportan altos niveles de Ni en el sustrato y en el tejido. Estas plantas hiperacumuladoras logran prosperar en suelos ricos en Ni, usualmente serpentina o en suelos contaminados. El *Alyssum bertolonii*, planta que se encuentra en Italia y en Georgia (parte de la desaparecida USSR), contiene 4 000 mg kg<sup>-1</sup> de Ni en las hojas y 2 500 en las semillas. La recolección de plantas en suelos ricos en Ni en el centro de Brasil, Brooks (1990) encontró varias especies de hiperacumuladores: *Vellozia* spp con más de 3 000 mg kg<sup>-1</sup> en sus hojas y *Sebertia acuminata* con 1.17 g kg<sup>-1</sup>.

### Uso y respuesta en el campo

Podrían los cultivos de campo responder a la adición de Ni?. Los requerimientos de Ni son del mismo orden de aquellos del Mo y Co que deben mantenerse una concentración de 0.05 mg kg<sup>-1</sup> de materia seca. La deficiencia de Mo ha sido documentada y la respuesta a su uso es bien conocida. El Co es aplicado en forma rutinaria como tratamientos a las semillas en el caso de leguminosas. Respuestas al Ni, además de las demostradas en pecano, pueden aparecer en el futuro.

El Ni está presente en el suelo de varias formas: Ni en la solución del suelo, intercambiable y no intercambiable, Ni presente en minerales y asociado con la materia orgánica. En un estudio con 863 suelos de los Estados Unidos se determinó una concentración promedio de 20 mg kg<sup>-1</sup> y un rango de <5 a 700 mg kg<sup>-1</sup> (Uren, 1992). Los análisis de 38 muestras de suelos brasileños del estado de Sao Paulo mostraron Ni soluble en DTPA se encuentra en el rango de <0.5 a 1.4 mg kg<sup>-1</sup>, considerados como bajos. El contenido total de Ni fue <10 a un máximo de 127 mg kg<sup>-1</sup> (Rovers et al., 1983).

La deficiencia de Ni puede presentarse por bajos contenidos de formas disponibles en el suelo, o puede ser inducida por varios factores como los siguientes (Wells, 2005; Wood, 2006a):

- Altos contenidos de Ca, Mg, Cu o Zn que inhiben la absorción de Ni.
- Reducción de la disponibilidad por excesiva aplicación de cal, cuando el pH se sube a 6.5.
- Las altas dosis de fertilizantes fosfatados o altos niveles de P del suelo que reducen la disponibilidad en el suelo o dentro de la misma planta.
- Nemátodos que dañan el sistema radicular y que provocan una severa deficiencia.

Una o dos aplicaciones foliares de una solución con una concentración de 10 a 100 mg de Ni L<sup>-1</sup> (más urea y surfactante) pueden corregir la deficiencia y asegurar normal crecimiento. Las aplicaciones deben hacerse durante la fase de primera en la expansión del follaje o poco después del apareamiento de los brotes (Wood, 2006a). Esta práctica, efectiva para la oreja de ratón en pecana, puede servir de base para probar el tratamiento en otros frutales perennes a través de trabajo experimental. Recientemente, Wood et al. (2006b) fueron capaces de corregir la deficiencia de Ni en pecana con la aspersión de un extracto acuoso de *Alyssum murale*, un hiperacumulador.

Existen varios productos para aplicaciones foliares, incluyendo NiSO<sub>4</sub> • 6H<sub>2</sub>O y quelatos sintéticos. La Asociación Americana de Oficiales de Control de Fertilizantes y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos han colocado al Ni en la lista de nutrientes esenciales. La venta y el uso de fertilizantes con Ni está autorizada en los Estados Unidos. Se encuentra disponible en el mercado un nuevo producto, quelato de ligno sulfonato con 6% de Ni y 10% de N. En Brasil, la ley que controla el comercio de fertilizantes y enmiendas tiene un listado de productos para aplicaciones al suelo y foliares y establece las concentraciones mínimas de Ni que pueden ser registradas.

## Bibliografía

- Arnon, D.I. and P.R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14(2):371-375.
- Bai, C., C.C. Reilly, and B.W. Wood. 2006. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology* 140(2):433-443.
- Bertrand, D. 1973. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les *Rhizobium* des nodosités des légumineuses. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences. Serie D. Paris* 276(12):1855-1858.
- Bertrand, D. and A. Wolf. 1954. Le nickel et le cobalt des nodosités des légumineuses. *Bulletin de la Societe de Chimie Biologique* 36(6-7):905-907.
- Brooks, R.R., R.D. Reeves, A.J. Baker, J.A. Rizzo, and H.D. Ferreira. 1990. The Brazilian serpentine plant expedition (Braspex). *National Geographic Research* 6(2):205-219.
- Brown, P.H., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1987. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology* 85(3):801-803.
- Dixon, N.E., C. Gazzola, R.L. Blakeley, and B. Zerner. 1975. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. *Journal of the American Chemical Society* 97(14):4131-4133.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1983. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. *Science* 222(4624):621-623.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and W.A. Norvell. 1984. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. *Plant Physiology* 76(3):691-693.
- Forsyth, F.R., and B. Peturson. 1959. Chemical control of cereal rusts. 4. The influence of nickel compounds on wheat, oat, and sunflower rusts in the greenhouse. *Phytopathology* 49(1):1-3.
- Gerendas, J., J.C. Polacco, S.K. Freyermuth, and B. Sattelmacher. 1999. Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of plant Nutrition and Soil Science* 162(3):241-256.
- Graham, R.D., R.M. Welch, and C.D. Walker. 1985. A role for nickel in the resistance of plants to rust. In: *Australian Agronomy Conference*. Hobart: Australian Society of Agronomy, 337 p.
- Klucas, R.V., F.J. Hanus, S.A. Russell, and H.J. Evans. 1983. Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 80(8):2253-2257.
- Lovatt, C.J., Y.S. Zheng, and K.D. Hake. 1988. Demonstration of a change in nitrogen-metabolism influencing flower initiation in citrus. *Israel Journal of Botany* 37(2-4):181-188.
- Malavolta, E., H.C. Leao, S.C. Oliveira, J. Lavres, M.F. Moraes, C.P. Cabral, and M. Malavolta. 2006. Reparticao de nutrientes nas flores, folhas e ramos da laranjeira cultivar natal. *Revista Brasileira de fruticultura* 28(3):506-511.
- Mishra, D. and M. Kar. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Botanical Review* 40(4):395-452.
- Piccini, D.F. and E. Malavolta. 1992. Toxicidade de niquel em arroz de feijao em solos ácidos. *Revista Brasileira de ciencia do solo* 16(2):229-233.

Continúa en la pág. No. 14

## MANEJO ORGANICO DE LOS CULTIVOS Y FOSFORO EN EL SUELO

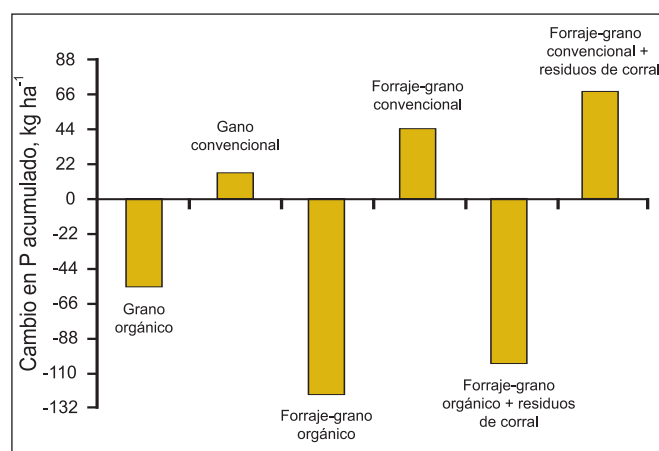
C. Welsh, M. Tenuta, D. Flaten, C. Grant y M. Entz\*

La imposibilidad de añadir fertilizantes fosfóricos a los sistemas orgánicos, por actual definición, limita la habilidad de los suelos para balancear otros nutrientes, como nitrógeno (N) y azufre (S) y reduce la posibilidad de lograr los rendimientos deseados. Si bien los suelos son capaces de suministrar algo de P a los cultivos incluso después de muchos años de cultivo sin añadir este nutriente, el suplemento de P es a menudo insuficiente para optimizar los rendimientos. Muchos productores orgánicos tienen la presión de encontrar un adecuado suministro de residuos de corral para suplementar P a sus lotes de producción.

El análisis estima la disponibilidad de P en el suelo para absorción de la planta. Sin embargo, este procedimiento analítico no determina las formas de P menos disponibles, que se conoce pueden estar presentes en cantidades significativas en muchos suelos, especialmente en suelos arcillosos. Como resultado de esta condición a menudo surgen las siguientes preguntas:

- Es el agotamiento de P del suelo bajo sistemas orgánicos un agotamiento general o solo una reducción en P disponible para la planta?
- Qué impacto tiene la remoción anual en un nutriente como P por el cultivo en las de las fracciones recalcitrantes (menos disponibles) de P del suelo?

Un estudio sobre sistemas de cultivos se inició en la Universidad de Manitoba en 1992, para evaluar el impacto de la rotación y del uso de insumos (herbicidas y fertilizantes) en el rendimiento de los cultivos, dinámica de las malezas, uso de energía y fertilidad del suelo. El proyecto está localizado en un suelo Udic Borroll (Mollisol, un suelo muy fértil) de una textura compuesta de 12% de arena, 32% de limo y 55% de arcilla. El contenido de materia orgánica en el suelo es de 5.5%. Los tres sistemas de cultivo incluyen trigo/arvejas/trigo/lino, trigo/alfalfa/alfalfa/lino (sin residuos de corral) y trigo/alfalfa/alfalfa/lino (con composta de residuos de corral). También se restauró una área previamente cultivada a su vegetación nativa de pradera sin remoción de nutrientes por cultivos.

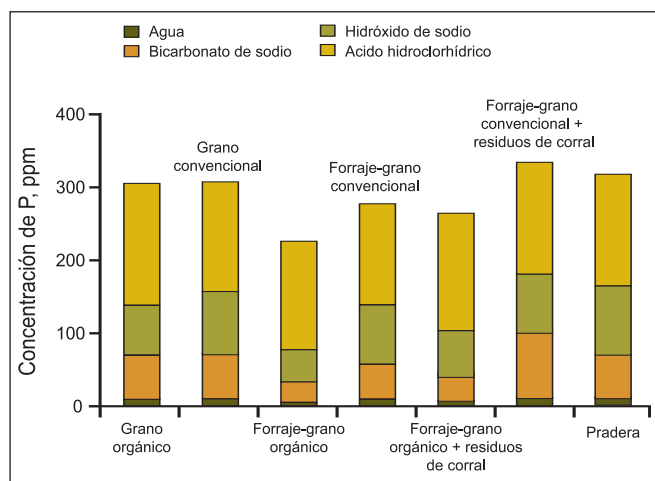


**Figura 1. Balance esperado de P en el periodo 1993-2004.**

Los sistemas de producción convencional recibieron tratamientos con fertilizantes y herbicidas, mientras que los sistemas de producción orgánica no recibieron estos insumos. La cantidad de P aplicado anualmente a los sistemas convencionales estuvo en un rango de 0 a 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Después de 12 años (1993-2004) se recolectaron muestras del suelo (0 a 18 cm) y se analizaron por P. La determinación del contenido de P se realizó usando un procedimiento de fraccionamiento modificado de Hedley que incluye P removido con agua, bicarbonato de sodio, hidróxido de sodio y ácido hidrociorhídrico. También se determinó el P total con plasma inductivo. El balance de P se estimó usando el contenido promedio de P de los cultivos utilizados (Guía de Fertilidad de Suelos de Manitoba), los rendimientos medidos de estos cultivos y las adiciones anuales de fertilizantes y residuos de corral.

El balance de P calculado para las rotaciones de cultivos mostró un déficit de P cuando no se añadió fertilizantes fosfóricos a los sistemas orgánicos y un exceso cuando se añadió este tipo de fertilizantes a los sistemas convencionales (Figura 1). El alto déficit de P para la producción de forraje-grano en los sistemas orgánicos refleja los altos niveles de remoción de nutrientes en la producción y cosecha de alfalfa. Este déficit de P fue mucho mayor que el encontrado en los sistemas orgánicos de producción de granos, en donde solamente se removió el grano dejando toda la paja en el campo. El exceso de P registrado para el sistema de forraje-grano convencional indica que se añadió más P del que se remueve con el cultivo en este sitio.

\* Tomado de: Welsh C., M. Tenuta, D. Flaten, C. Grant, and M. Entz. 2006. Organic crop management and soil phosphorus. Better Crops 90(4):6-7.



**Figura 2. Concentración total de P de sistemas orgánicos y convencionales bajo diferentes rotaciones de cultivo.**

Los análisis de P revelaron que el sistema de manejo usado en el estudio tuvo un impacto mucho más grande en los niveles de P del suelo que en los sistemas del cultivo (Figura 2). Los niveles de P disponible en las fracciones de las muestras del suelo (agua, bicarbonato de sodio e hidróxido de sodio) fueron significativamente menores ( $p < 0.05$ ) en el manejo orgánico.

La fracción más recalcitrante (menos disponible) obtenida con ácido hidrociorhídrico no fue diferente entre sistemas y formas de manejo de los cultivos. Esto indica que durante el periodo de 12 años que duro este estudio las formas disponibles de P para la planta fueron selectivamente alteradas en su mayoría por el manejo de los cultivos.

Es importante anotar que mientras el balance de P calculado (Figura 1) mostró un déficit de P en la

**Tabla 1. Contenido de P en el suelo después de 12 años.**

Rotación*	Manejo	
	Orgánico	Convencional
	P, ppm**	
TATL	30a	38a
TAAL-R	9b	21a
TAAL+R	14b	35a
Pradera	35a	

\* Trigo (T), arveja (A), lino (L), alfalfa (A), residuos de corral (R)  
 \*\* ppm = partes por millón, niveles seguidos por la misma letra no son diferentes a  $p = 0.05$

rotación de grano orgánico, el fraccionamiento de P en el suelo indicó que tenía niveles similares de P en el suelo al del sistema convencional de producción (Figura 2). Esta similitud en los niveles de P en el suelo después de 12 años de remoción en el grano cosechado y sin adición de P demuestra la alta capacidad de amortiguamiento de estos suelos arcillosos. Solo los sistemas de forraje-grano orgánico muestran una diferencia en los contenidos de las diferentes formas disponibles de P determinadas por el detallado procedimiento de fraccionamiento de Hedley (Figura 2) y los resultados de los análisis de suelo (Tabla 1).

Se especula que las diferencias en las formas disponibles y no disponibles de P para la planta en los sistemas orgánicos y convencionales podrían mostrar ciertos cambios en las formas de P con el tiempo. Sin la reposición del P disponible en los sistemas de forraje-grano orgánico el P sería el nutriente más limitante en el futuro.☆

## Niquel - de nutriente tóxico a nutriente ...

Roach, W.A. and C. Barclay. 1946. Nickel and multiple trace element deficiencies in agricultural crops. *Nature* 157(3995):696.

Rovers, H., O.A. Camargo, and J.M.A.S. Valadares, 1983. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de Sao Paulo. *Brasileira de Ciencia do solo* 7(3):217-220.

Smith, N.G. and J. Woodburn. 1984. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. *Naturwissenschaften*. 71(4):210-211.

Uren, N.C. 1992. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy* 48:141-203.

Ureta, A.C., J. Imperial, T. Ruiz-Argueso, and J.M. Palacios. 2005. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. *Applied and Environmental Microbiology* 71(11):7603-7606.

Wells, L. 2005. Mouse-ear of pecan. The University of Georgia, Cooperative Extension 4 p. (Circular, 893).

Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2004a. Mouse-ear of pecan: I. Symptomology and occurrence. *HortScience* 39(1):87-94.

Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2004b. Mouse-ear of pecan II. Influence of nutrient applications. *HortScience* 39(1):95-100.

Wood, B.W., C.C. Reilly, and A.P. Nyczepir. 2006a. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. *Acta Horticulturae* 721:83-97.

Wood, B.W., R. Chaney, and M. Crawford. 2006b. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: alysium biomass as a product for nickel deficiency correction. *HortScience* 41(5):1231-1234.☆

## REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

### INDICES EN EL SUELO Y EN LA PLANTA PARA PREDECIR LA RESPUESTA DEL EUCALIPTO A NITROGENO EN URUGUAY

*Perdomo, C., J. Durán and P. Llovet. 2007. Soil and plant indices for predicting eucalypt response to nitrogen in Uruguay. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:1708-1718.*

La aplicación de N después de la siembra en plantaciones de eucalipto en Uruguay se ha incrementado, pero existe poca información sobre los beneficios de esta práctica. El objetivo de este estudio fue el de identificar índices de disponibilidad de N (IDN) que sean capaces de diferenciar sitios donde existe respuesta de sitios sin respuesta cuando se aplica N al eucalipto 6 o 12 meses después de la siembra. Los IDN se basaron en análisis de suelos y en análisis de tejidos. La respuesta en volumen de madera a la aplicación de N se evaluó en 20 experimentos conducidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labille y *E. grandis* Hill ex Maiden. Los IDN se

relacionaron con la respuesta en volumen de madera usando modelos lineales y cuadráticos y se seleccionó el modelo con la mayor R<sup>2</sup>. La concentración de N en la hoja fue el IDN que mejor se relacionó con la respuesta en *E. grandis* fertilizado 6 meses después de la siembra (siete sitios) y en *E. globulus* fertilizado 12 meses después de la siembra (seis sitios) y los niveles críticos estimados fueron 34.6 y 20.9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. No se pudo seleccionar IDN en los sitios de *E. globulus* fertilizados a los 6 meses después de la siembra, pero el N mineralizable del suelo (NMS) se relacionó claramente con la respuesta cuando se analizaron conjuntamente todos los sitios de *E. globulus* (12), obteniéndose un nivel crítico de 109 mg kg<sup>-1</sup>. Aun cuando los R<sup>2</sup> de los modelos que describen las relaciones entre los IDN seleccionados y la respuesta variaron de 0.52 a 0.94, la mayoría de los IDN separaron los sitios con respuesta de los sitios sin respuesta. Estos resultados sugieren que los IDN y NMS pueden ser usados como herramientas para mejorar la predicción de la respuesta inicial en volumen del eucalipto en Uruguay.✪

## CURSOS Y SIMPOSIOS

### 1. XIX Conferencia de Fertilizantes América Latina

**Organiza** : Brith Sulphur  
**Lugar y Fecha** : Miami - EE.UU  
 Enero 20-22, 2008  
**Información** : Brith Sulphur  
 Tel.: 44 20 7903 2444  
 conferences@crugroup.com  
 www.britishtsulphurevents.com

### 2. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : AACS  
**Lugar y Fecha** : San Luis - Argentina  
 Mayo 13-16, 2008  
**Información** : AACS  
 Tel.: 54 11 4783 3021  
 Fax: 54 11 4783 3024  
 sanluiscacs@yahoo.com.ar  
 www.suelos.org.ar

### 3. Conferencia Internacional de Agricultura de Precisión

**Organiza** : Universidad de Colorado  
**Lugar y Fecha** : Colorado - EE.UU  
 Julio 20-23, 2008  
**Información** : Universidad de Colorado  
 Tel.: 970 491 1920  
 abstract@icpaonline.org  
 www.icpaonline.org

### 4. XVIII Reunión Internacional Acorbat - 2008

**Organiza** : Acorbat  
**Lugar y Fecha** : Guayaquil - Ecuador  
 Noviembre 10-14, 2008  
**Información** : Acorbat  
 Tel.: 593 4 269 3565  
 ihidalgo@acorbato2008.org  
 www.acorbato2008.org

## PUBLICACIONES DISPONIBLES



Las siguientes publicaciones del IPNI se encuentran disponibles al siguiente costo en dólares

- \* **Manual de Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes.** Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. \$ 25.00
- \* **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. \$ 15.00
- \* **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. \$ 20.00
- \* **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. \$ 20.00
- \* **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. \$ 20.00
- \* **Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desórdenes en Palma Aceitera.** Guía de Bolsillo para técnicos a cargo del manejo de plantaciones que deseen identificar los síntomas de deficiencia en el campo, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse. \$ 8.00
- \* **Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano.** Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencias nutricionales, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevención o recuperación. \$ 8.00
- \* **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 \$ 15.00
- \* **Manual de Nutrición y Fertilización del Café.** Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos. \$ 20.00
- \* **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. \$ 15.00
- \* **Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos.** Publicación que cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo del algodón. \$ 5.00
- \* **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. \$ 8.00