



## CONTENIDO

	Pág.
Marco global de las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes .....	1
Mejores prácticas de manejo para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de fertilizantes .....	5
Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad (Tercera Parte) .....	10
Nueva Publicación .....	13
Reporte de Investigación Reciente .....	14
- Efecto de la aplicación foliar de molibdeno en el rendimiento y la calidad fisiológica del frijol común.	
- Retención de fósforo en la superficie de suelos bajo labranza convencional y siembra directa.	
- Macronutrientes en cultivos de gerbera bajo dos niveles de fertilización.	
- Influencia del nitrógeno y boro en el rendimiento y la presencia de tallo hueco de la coliflor.	
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.*



## MARCO GLOBAL DE LAS MEJORES PRACTICAS DE MANEJO (MPM) DE LOS FERTILIZANTES

T.W. Bruulsema, C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova

A nivel de unidad productiva, los sistemas de cultivos se manejan bajo múltiples objetivos. Las mejores prácticas de manejo (MPM) son aquellas prácticas que permiten alcanzar lo más cercanamente posible estos objetivos. El manejo de los fertilizantes es parte de un contexto agronómico más amplio de manejo de los sistemas de cultivos. Un marco conceptual es útil para describir como las MPM de los fertilizantes se ajustan y complementan con las prácticas del sistema agronómico.

En general, los objetivos del desarrollo sostenible dan igual énfasis a los aspectos económicos, sociales y ecológicos (Brundtland, 1987). Esta condición es esencial para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales y futuras. Sin embargo, a nivel de finca es difícil relacionar las prácticas específicas de manejo de los cultivos con estos tres aspectos generales. Desde el punto de vista práctico, cuatro objetivos de manejo son aplicables a nivel de campo en todos los sistemas de cultivo (Witt, 2003). Estos cuatro objetivos son: productividad, rentabilidad, sostenibilidad de los sistemas de cultivos y ambiente biológico y social favorable (PRSA). Las relaciones entre estos cuatro objetivos se presentan en la **Figura 1**.

Las MPM de los fertilizantes comprenden un subgrupo interconectado de MPM agronómicas. Para que una práctica que incluye el uso de fertilizantes sea considerada como la “mejor”, esta debe armonizar con otras prácticas agronómicas brindando una combinación óptima de los cuatro objetivos. Por lo tanto, el desarrollo, evaluación y refinamiento de las MPM a nivel de finca deben considerar los cuatro objetivos y la selección de los indicadores que reflejen el impacto combinado a nivel regional, nacional y global. El uso de los indicadores apropiados a diferentes escalas se discute abajo en la sección sobre indicadores de desempeño.

### Objetivos del manejo de sistemas de cultivos

**Productividad:** La medición primaria de la productividad de los sistemas de cultivos es el rendimiento por unidad de área cultivada por unidad de tiempo. La productividad debe ser considerada en términos de todos los recursos o

\* Tomado de: Bruulsema, T.W., C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, y S. Ivanova. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. Better Crops With Plant Food 92(2):13-15.

factores de producción involucrados. Probablemente se requieran de varios indicadores que describan la producción y la eficiencia en el uso de los insumos para evaluar adecuadamente la productividad.

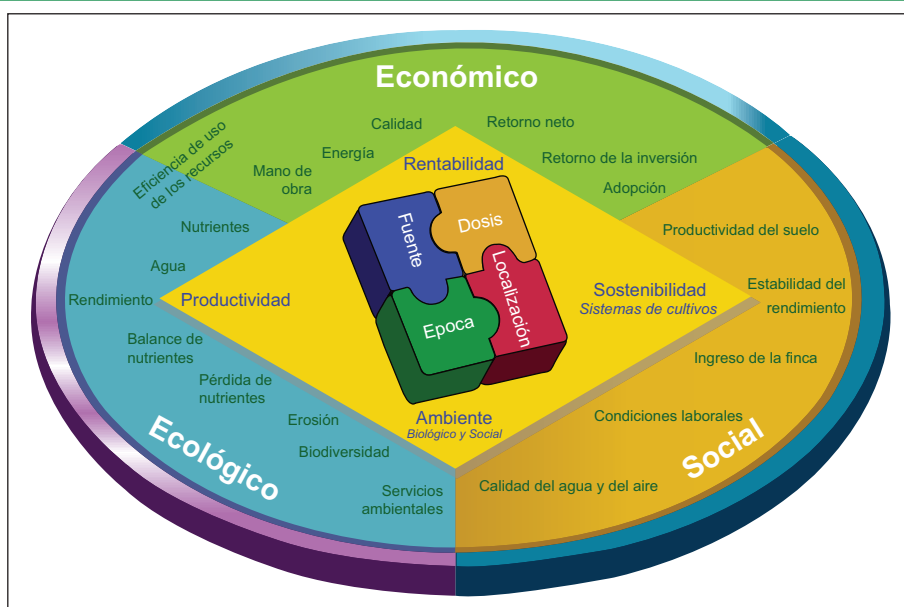
**Rentabilidad:** La rentabilidad se determina por la diferencia entre el valor del producto (beneficio neto o ingreso) y el costo de producción. Su unidad primaria de medida es el beneficio neto por unidad de área cultivada por unidad de tiempo. La ganancia en rentabilidad de una práctica de manejo específica es el incremento en el ingreso que esta genera deducidos sus costos marginales.

**Sostenibilidad:** La sostenibilidad, a nivel de los sistemas de cultivos, se refiere a la influencia del tiempo en los recursos involucrados. Un sistema de producción sostenible es aquel en el cual la calidad (o eficiencia) de los recursos naturales utilizados no disminuye con el transcurso del tiempo, de modo que “la producción no se reduce cuando no se incrementan los insumos” (Monteith, 1990).

**Ambiente (Biológico y social):** Los sistemas de producción de cultivos tienen un amplio rango de efectos en los ecosistemas vecinos a través de la pérdida de material al agua y al aire. Los efectos específicos pueden limitarse en cierta forma a través de prácticas diseñadas para optimizar la eficiencia de uso de los recursos. Las opciones de manejo a nivel de finca, cuando funcionan en conjunto, también ejercen influencia en el ambiente social a través de la demanda laboral, condiciones de trabajo, cambios en los servicios ambientales, etc.

### Objetivos del manejo de fertilizantes

Las MPM de los fertilizantes apoyan básicamente los cuatro objetivos identificados para el manejo de los sistemas de cultivos y se pueden describir apropiadamente como la selección de la fuente correcta para aplicarse en la dosis, época y localización correctas (Roberts, 2007). La fuente del fertilizante, dosis, época y localización son interdependientes y se encuentran también interconectadas con el conjunto de prácticas de manejo agronómicas aplicadas en los sistemas de cultivos como se observa en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Ilustración del marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. Las MPM de los fertilizantes - aplicación de la fuente correcta, en la dosis, época y localización correctas - se integran con las MPM agronómicas adoptadas para alcanzar los objetivos de manejo del cultivo que buscan productividad, rentabilidad, sostenibilidad y salud ambiental. Es necesario disponer de un complemento balanceado de indicadores que reflejen la influencia de las MPM de fertilizantes sobre los cuatro objetivos de manejo del cultivo a nivel de finca y sobre los objetivos económicos, ecológicos y sociales para el desarrollo sostenible a escala más amplia que afectan las políticas públicas locales y regionales.

### Principios científicos

Principios científicos específicos fundamentan las MPM para cultivos y fertilizantes, como grupo e individualmente. Estos principios son globales, pero también son aplicables a nivel práctico en la finca. La aplicación de estos principios científicos puede diferir ampliamente, dependiendo del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración. Los principios específicos relevantes a cada categoría de las MPM se presentan a continuación.

- Manejo del cultivo
  - Buscar medidas prácticas de validación.
  - Reconocer y adaptarse a los riesgos.
  - Definir indicadores de desempeño.
  - Asegurar la retroalimentación entre el nivel global y la práctica de campo.
- Manejo del fertilizante
  - Ser consistente con mecanismos de procesos conocidos.
  - Reconocer las interacciones con otros factores del sistema de producción.
  - Reconocer interacciones entre la fuente del nutriente, dosis, época y localización.
  - Evitar efectos perjudiciales a las raíces, hojas y plántulas.

Tabla 1. Indicadores de desempeño de las MPM de fertilizantes relacionados con los objetivos de manejo del cultivo.

Objetivo de manejo	Indicador funcional	Descripción
Productividad	Rendimiento	Cantidad de cultivo cosechado por unidad de área por unidad de tiempo.
	Calidad	Cantidades de componentes del cultivo (azúcar, proteína, minerales, etc.) u otros atributos que agregan valor al producto cosechado.
	Eficiencia de uso de nutrientes	Rendimiento o absorción de nutrientes por unidad de nutriente aplicado.
	Eficiencia de uso del agua	Rendimiento por unidad de agua aplicada o disponible. Relevante para los sistemas de producción irrigados y de secano.
	Eficiencia de uso de la mano de obra	La demanda y el suministro de mano de obra están críticamente relacionados con el número y época de las operaciones de campo.
	Eficiencia de uso de la energía	Rendimiento del cultivo por unidad de energía consumida.
Rentabilidad	Beneficio neto	Refleja el volumen y el valor del cultivo producido, por unidad de tiempo, relativo a todos los costos de producción. Su limitación es la incapacidad para manejar las externalidades a las que no se han atribuido valor económico.
	Retorno de inversión	Similar al beneficio neto, considerando el capital de inversión y las amortizaciones.
Sostenibilidad de los sistemas de cultivos	Adopción	Proporción de productores que utilizan MPM específicas. A menudo fácilmente medible, pero es importante tener en cuenta el contexto.
	Productividad del suelo	Refleja cambios en los niveles de fertilidad, materia orgánica y otros indicadores de calidad del suelo.
	Estabilidad del rendimiento	Persistencia de los rendimientos de los cultivos frente a las variaciones de clima, plagas y enfermedades.
	Ingresos a nivel de finca	Mejoras en la forma de ganarse el sustento.
	Condiciones de trabajo	Calidad de vida
Ambiente biológico y social	Calidad del agua y del aire	Concentración y carga de nutrientes en cuerpos de agua de las cuencas agrícolas. Existe limitada habilidad para monitorear a escala de campo. El monitoreo a nivel de cuenca, escala regional y global es un servicio público importante.
	Servicios ambientales	Difíciles de cuantificar. Es importante identificarlos. Puede incluir la dependencia del cultivo de depredadores y polinizadores naturales. Relacionado con la recreación, caza, pesca, etc.
	Biodiversidad	Difícil de cuantificar, puede ser descriptiva.
	Erosión del suelo	Grado de cobertura del suelo por cultivos en crecimiento activo y con residuos de cultivos anteriores.
	Pérdida de nutrientes	Pérdidas específicas de nutrientes al agua o al aire. Hay muchas vías de pérdida y por esta razón son difíciles de cuantificar a nivel de finca.
	Balace de nutrientes	Medida total de ingreso y egreso de nutrientes, a nivel de la superficie del suelo o de toda la finca. El requerimiento de utilización de nutrientes a menudo se relaciona con el incremento en la remoción de nutrientes en los productos cosechados a medida que los rendimientos del cultivo se incrementan.

- Reconocer los efectos en la calidad del cultivo como en el rendimiento.
- Considerar los resultados económicos.
- Fuente
  - Suministrar nutrientes en formas disponibles para las plantas.
  - Ajustarse a las propiedades físicas y químicas del suelo.
  - Reconocer sinergismos entre elementos y fuente de nutrientes.
  - Reconocer la compatibilidad de mezclas.
  - Reconocer los beneficios y sensibilidades a elementos asociados.
  - Controlar el efecto de los elementos no nutritivos.
- Dosis
  - Utilizar métodos adecuados para determinar el suplemento de nutrientes del suelo.
  - Determinar todas las formas de nutrientes nativos del suelo disponibles para el cultivo.
  - Evaluar la demanda de nutrientes del cultivo.
  - Predecir la eficiencia de uso del fertilizante.
  - Considerar los impactos en el recurso suelo.
  - Considerar el efecto económico de dosis específicas.
- Epoca
  - Evaluar la dinámica de absorción del cultivo.
  - Evaluar la dinámica de suplemento del nutriente por el suelo.
  - Reconocer el momento en que los factores climáticos influyen la pérdida de nutrientes.
  - Evaluar la logística de las operaciones de campo.
- Localización
  - Reconocer la dinámica suelo-raíz.
  - Manejar la variabilidad espacial al interior del campo y entre fincas.
  - Ajustar las necesidades al sistema de labranza.
  - Limitar el transporte potencial de nutriente fuera del campo.

La cantidad de principios científicos aplicables a una situación específica a nivel de campo es considerable. La elección de las MPM apropiadas a nivel práctico requiere de la participación de individuos calificados, productores y técnicos, que entiendan estos principios y su aplicación. Más detalles acerca de estos principios se encuentran disponibles en IPNI (2008).

### Indicadores de desempeño

Los indicadores del comportamiento del sistema necesitan reflejar la influencia de las MPM de fertilizantes sobre los cuatro objetivos de manejo de los sistemas agrícolas. La eficiencia de uso de los nutrientes (EUN, rendimiento o absorción del nutriente

por unidad de nutriente aplicado) a menudo se considera como el principal indicador que evalúa el desempeño de la utilización de fertilizantes. Sin embargo, como se muestra en la **Figura 1**, este indicador se relaciona más directamente con la rentabilidad y productividad que con la sostenibilidad y salud ambiental. Existen otros indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (Dobermann, 2007; Snyder y Bruulsema, 2007), que difieren en que tan bien se relacionan con los cuatro objetivos. Por ejemplo, uno de los más importantes indicadores de productividad para N es la eficiencia agronómica, es decir el incremento en rendimiento de grano por unidad de nutriente aplicado. Sin embargo, una baja eficiencia agronómica puede ser aceptable para nutrientes como P y K, para los cuales una medida diferente de la eficiencia - balance parcial de nutrientes - puede ser más relevante para evitar que se depriman o que se incrementen excesivamente los niveles de estos nutrientes en el suelo.

La lista parcial de indicadores se describe más detalladamente en la **Tabla 1**. El conjunto de indicadores de desempeño que describen el impacto completo de una combinación de MPM de fertilizantes varía dependiendo de la escala en consideración. Todos los actores deben contribuir a la selección de indicadores para alcanzar el óptimo de los cuatro objetivos de manejo. El marco conceptual que proponemos es de gran utilidad para garantizar que el conjunto de indicadores elegidos provea una percepción equilibrada de los cuatro objetivos, en armonía con los objetivos de desarrollo sostenible.

### Conclusión

Las MPM de los fertilizantes son aquellas que apoyan en forma exitosa el cumplimiento de los cuatro objetivos del manejo de los sistemas de cultivo: productividad, rentabilidad, sostenibilidad, y salud ambiental. Un robusto conjunto de principios científicos que guían el desarrollo y la implementación de las MPM de los fertilizantes ha surgido como resultado de una larga historia de investigación agronómica y de fertilidad de suelos. Aquellos principios, vistos como parte del marco global, muestran que el conjunto de las MPM más apropiado puede solamente identificarse a nivel local, donde se conoce el contexto completo de cada práctica. El marco global para las MPM también reconoce la necesidad de utilizar un complemento balanceado de indicadores que describan con precisión los beneficios y riesgos del uso de los fertilizantes en el contexto del desarrollo sostenible.

Continúa en la página No. 9

## MEJORES PRACTICAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS CON EL USO DE FERTILIZANTES

C.S. Snyder, T.W. Bruulsema, y T.L. Jensen

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de considerable debate científico y de gran inquietud pública. Se ha incrementado la percepción pública de que la agricultura es uno de las principales actividades que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero que controlan el potencial de calentamiento global y se ha identificado al uso de fertilizantes nitrogenados como un factor importante en el proceso. Este artículo presenta una revisión de la literatura científica sobre el impacto del uso de fertilizantes y manejo de las emisiones de gases de efecto invernadero y representan una visión general que resume el conocimiento científico actual.

La agricultura juega un importante papel en el balance de los tres gases de efecto invernadero más significativos, cuyas emisiones son producto de la actividad humana. Estos gases son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ). El potencial de calentamiento global de cada uno de estos gases se puede expresar en equivalentes de  $\text{CO}_2$ . El potencial de calentamiento global del  $\text{N}_2\text{O}$  y del  $\text{CH}_4$  es 296 y 23 veces el valor de una unidad de  $\text{CO}_2$ , respectivamente. De los tres gases, el  $\text{N}_2\text{O}$  puede ser el más importante en relación al uso de fertilizantes, debido a su gran equivalencia en  $\text{CO}_2$  y por lo tanto considerable potencial de calentamiento global.

La agricultura representa menos del 8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Canadá y menos del 10% en los Estados Unidos, valores que no se están incrementando (**Figura 1**). Para la economía global, las emisiones de  $\text{CO}_2$  son las más importantes, pero para la agricultura el  $\text{N}_2\text{O}$  es el gas de efecto invernadero más importante (**Figura 2**). Las emisiones de  $\text{CH}_4$ , asociadas principalmente con la ganadería, también contribuyen sustancialmente al potencial de calentamiento global. A pesar de que el  $\text{N}_2\text{O}$  constituye solo una pequeña parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (**Figura 2**), es un tema importante en este resumen ya que la agricultura es su principal fuente y sus emisiones están relacionadas con el manejo del suelo y el uso de fertilizantes nitrogenados.



La concentración atmosférica de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentó de 270 partes por billón (ppb) en la era pre-industrial a 319 ppb en el 2005. Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  desde la superficie del planeta también se han incrementado en un 40 a 50% sobre los niveles pre-industriales como resultado de la actividad humana. Se estima que la proporción de  $\text{N}_2\text{O}$  emitido de tierra cultivada, inducida directamente por el uso de fertilizantes, es de alrededor de 23% a nivel mundial y de entre 24 a 35% para América del Norte.

### Fertilización nitrogenada: fuente, dosis, época y localización

El buen manejo de los fertilizantes se basa en la utilización de la fuente correcta, en la cantidad, época y localización correctas (Roberts, 2007). La mayoría de estudios han mostrado que ciertas condiciones de suelo, como el contenido de agua de los poros de suelo, temperatura y disponibilidad de carbono (C) soluble, tienen una influencia dominante en las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ . La fuente de fertilizantes y el manejo del cultivo pueden afectar las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , pero, debido a las interacciones con las condiciones del suelo, es difícil hacer conclusiones generales. El mal manejo de la dosis, fuente, época de aplicación y localización del fertilizante, y la falta de un adecuado balance con otros nutrientes esenciales, pueden incrementar las pérdidas generales de N y las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ . Cuando se aplica N en cantidades superiores a la dosis óptima

\* Tomado de: Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, y T.L. Jensen. 2007. Best Management Practices to Minimize Greenhouse Gas Emissions Associated with Fertilizer Use. Better Crops With Plant Food 91(4):16-18.

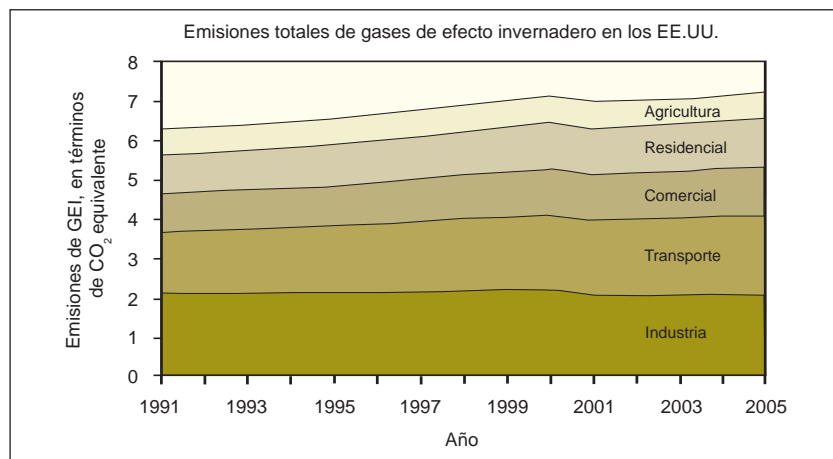


Figura 1. Emisiones de gases de efecto invernadero en la economía de los EE.UU., dividido por sectores, en billones (10<sup>9</sup>) de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

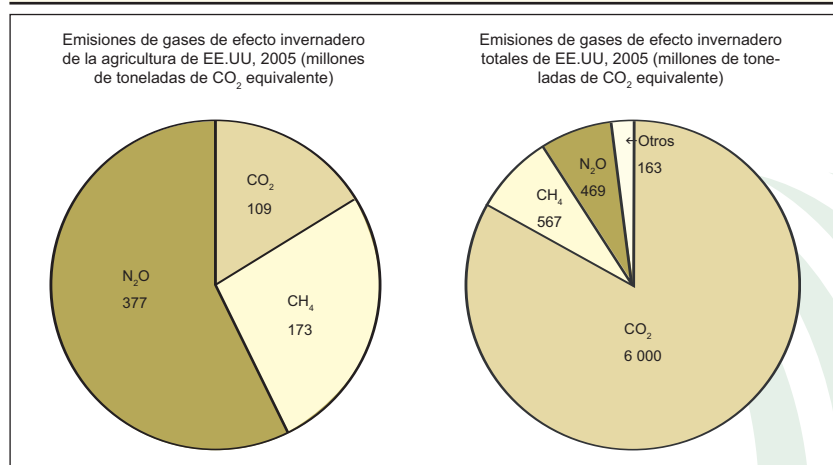


Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la agricultura y de otras actividades en los EE.UU.

económica, o cuando el N disponible en el suelo (especialmente en formas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) excede a las cantidades absorbidas por los cultivos, el riesgo de emisiones de N<sub>2</sub>O se incrementa. Las leguminosas y otros cultivos que fijan N incluidas en la rotación, también pueden contribuir a las emisiones de N<sub>2</sub>O después de su ciclo de crecimiento a medida que se descomponen sus residuos. Investigación conducida alrededor del mundo ha mostrado resultados diferentes y contrastantes con respecto a la emisión de N<sub>2</sub>O y su relación a varias fuentes de N. Al momento, basándose en la literatura disponible, no se puede llegar a una conclusión sobre que fuente de N tiene el mayor riesgo de pérdidas de N<sub>2</sub>O.

### Inhibidores de ureasa y nitrificación y fertilizantes de mejor eficiencia

Los fertilizantes con eficiencia mejorada (fertilizantes de liberación lenta y controlada y fertilizantes con N estabilizado) son productos que minimizan el potencial de pérdidas de nutrientes al ambiente, cuando se los compara con los fertilizantes solubles de referencia.

Los inhibidores de la ureasa y de la nitrificación han mostrado buen potencial para incrementar la retención en el suelo y para mejorar la recuperación por las plantas del N aplicado, pero se conoce menos sobre su impacto en la reducción de las emisiones totales de N<sub>2</sub>O. Se ha demostrado que los fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizada mejoran la recuperación de N por los cultivos y reducen las pérdidas por drenaje y por emisiones atmosféricas. Sus beneficios para reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O se han explorado en menor grado, sin embargo, evidencia reciente sugiere que podrían ser efectivos para reducir las emisiones a corto plazo, pero los efectos de las pérdidas a largo plazo son menos claros. Al momento se están conduciendo estudios para cuantificar de mejor manera estas emisiones y evaluar los beneficios potenciales del uso de estos materiales.

### Potencial de calentamiento global de los sistemas de cultivo intensivo

Aun cuando se la considera a menudo como una fuente de gases de efecto invernadero, en algunas condiciones la agricultura también puede ser un sumidero neto de CO<sub>2</sub> y promover una reducción neta en el potencial de calentamiento global. Una adecuada fertilización puede contribuir al incremento de la materia orgánica del suelo (MOS) o a reducir la tasa de pérdida de MOS. Una fertilización inadecuada limita la producción de biomasa por el cultivo y puede conducir a un menor retorno de C al suelo, menos MOS y potencialmente una menor productividad del suelo a largo plazo.

Cantidades óptimas de N son esenciales para mantener la productividad primaria de la planta y estabilizar la MOS, factores que a su vez controlan la estabilidad del C orgánico en el suelo. La combinación de la fuente, dosis, época y localización del fertilizante pueden optimizar los rendimientos del cultivo y minimizar el potencial de calentamiento global por unidad de producción y reducir la necesidad de utilizar más tierra para agricultura.

Las prácticas de manejo intensivo de los cultivos que incrementen la absorción de nutrientes y eleven los rendimientos pueden ser una opción importante para conseguir reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción agrícola. Los cultivos de altos rendimientos pueden incrementar el C

**Tabla 1. Comparación del potencial de calentamiento global (PCG) neto en sistemas de cultivo seleccionados.**

----- Sistema de cultivo -----			----- PCG en equivalentes de CO <sub>2</sub> (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) -----				
Localidad	Rotación <sup>4</sup>	Labranza	C del suelo <sup>5</sup>	Fabricación del N <sup>6</sup>	Combustible	N <sub>2</sub> O	PCG neto
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Convencional	0	270	160	520	1 140
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Cero	-1 100	270	120	560	140
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Convencional	-400	90	200	600	630
Michigan <sup>2</sup>	bajos insumos y uso de leguminosas						
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T orgánico y con uso de leguminosas	Convencional	-290	0	190	560	410
Nebraska <sup>3</sup>	MC MPM	Convencional	-1 613	807	1 503	1 173	1 980
Nebraska <sup>3</sup>	MC intensivo	Convencional	-2 273	1 210	1 833	2 090	3 080
Nebraska <sup>3</sup>	M-S MPM	Convencional	1 100	293	1 283	917	3 740
Nebraska <sup>3</sup>	M-S intensivo	Convencional	-73	660	1 613	1 247	3 740
Michigan <sup>2</sup>	Tierra cultivable convertida a bosque de álamo	Cero	-1 170	50	20	100	-1 050
----- Sistema de cultivo -----			----- Rend. promedio, t ha <sup>-1</sup> -----			Rend. de alimentos <sup>1</sup>	
Localidad	Rotación <sup>4</sup>	Labranza	Maíz	Trigo	Soya	Gcal ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Convencional	5.3	3.2	2.1	12	
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Cero	5.6	3.1	2.4	13	
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T	Convencional	4.5	2.6	2.7	12	
Michigan <sup>2</sup>	bajos insumos y uso de leguminosas						
Michigan <sup>2</sup>	M-S-T orgánico y con uso de leguminosas	Convencional	3.3	1.6	2.7	9	
Nebraska <sup>3</sup>	MC MPM	Convencional	14.0			48	
Nebraska <sup>3</sup>	MC intensivo	Convencional	15.0			51	
Nebraska <sup>3</sup>	M-S MPM	Convencional	14.7		4.9	35	
Nebraska <sup>3</sup>	M-S intensivo	Convencional	15.6		5.0	37	

**1** Energía de los alimentos calculada a partir de los rendimientos del cultivo y de la base de datos nutricional de la USDA (<http://riley.nal.usda.gov/NDL/index.html>).

**2** Sistemas de cultivo de secano (Robertson et al., 2000).

**3** Sistemas de cultivo irrigados (Advento-Borbe et al., 2007).

**4** M-S-T = maíz - soya - trigo; MC = Maíz continuo.

**5** Los estimados del almacenamiento neto de carbono del suelo se basan en las mediciones a 75 cm de profundidad para el estudio de Michigan y de 30 cm para el estudio de Nebraska. El muestreo a profundidades menores tiende a exagerar la cantidad de C secuestrado en los sistemas de cero labranza.

**6** El PCG para la fabricación y el transporte de fertilizante nitrogenado se estimó en 4.51 y 4.05 kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> N en los estudios de Michigan y Nebraska respectivamente.

almacenado en el suelo. Los siguientes factores del manejo de cultivos, suelo y fertilizantes ayudan a minimizar el potencial de calentamiento global neto: 1) elección de la combinación correcta de variedades o híbridos adaptados al sitio y fecha y densidad de siembra correctas para maximizar la producción de biomasa del cultivo; 2) uso táctico de agua y manejo de

N, incluyendo el fraccionamiento frecuente de las aplicaciones de N para lograr una alta eficiencia de uso y mínimas posibilidades de emisiones de N<sub>2</sub>O; y 3) estrategias de manejo de los residuos del cultivo que favorezcan la acumulación de MOS como resultado de grandes cantidades de residuos que vuelven al suelo.

Recientes mediciones demuestran que los factores más importantes que contribuyen a las diferencias entre los sistemas de cultivo con respecto a su potencial de calentamiento global neto están relacionadas con el cambio de C en el suelo y con las emisiones de N<sub>2</sub>O (**Tabla 1**). Los mismos datos muestran que el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados no siempre incrementa el potencial de calentamiento global neto y que los sistemas de producción intensivos que utilizan dosis más altas de N, pueden tener menos potencial de calentamiento global neto por unidad de producción de alimentos que los sistemas de producción de bajos insumos y los sistemas orgánicos.

### Preservación de áreas silvestres a través de la producción intensiva de cultivos

El método de producción intensiva puede resultar en la obtención de más alimentos por unidad de área. Por ejemplo, los sistemas menos intensivos en Michigan requieren de casi tres veces el área de tierra que los sistemas de Nebraska para lograr producir la misma cantidad de maíz (**Tabla 1**). La importancia de evaluar los sistemas de cultivos por su potencial de calentamiento global por unidad de productividad se confirma al observar la gran oportunidad de mitigación de potencial de calentamiento global que ofrecen las tierras que no fueron utilizadas para producción agrícola (un ejemplo de conversión de cultivos a bosques de álamo se presenta en la **Tabla 1**). Entre las mejores prácticas de manejo (MPM) de fertilizantes, y otras prácticas relacionadas, que tienden a mejorar la recuperación del N por los cultivos, incrementan el rendimiento y reducen el riesgo de las emisiones de los gases de efecto invernadero, se incluyen las siguientes: fuente, dosis, época de aplicación y localización del N; calibración del equipo de aplicación; planificación y evaluación del manejo de los sistemas cultivo-labranza-nutriente; uso apropiado de los inhibidores de los procesos de transformación del N (ureasa, nitrificación); fuentes de eficiencia mejorada; y la consideración de que las prácticas de conservación del suelo y agua son de sitio específico, debido a que éstas puedan interactuar con otras prácticas de manejo y porque sirven también como una línea secundaria de defensa para limitar las pérdidas de nutrientes al ambiente.

### Manejo de fertilizantes - retos y oportunidades ambientales

Esta revisión expone los retos de la medición apropiada de los efectos combinados del manejo de los diferentes sistemas cultivos-labranza-nutrientes en las emisiones de gases de efecto invernadero. Un reto crítico es la falta de mediciones simultáneas de todos los tres gases

de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>) durante períodos extensos de tiempo en los estudios agrícolas y ambientales. Se hizo aparente durante la revisión para escribir este artículo que muchos estudios reportan emisiones de solo un gas de efecto invernadero, basándose en medidas realizadas en un pacio de tiempo relativamente breve, a menudo menos de 30 días. Esta evaluación instantánea de las emisiones de gases de efecto invernadero limita la habilidad de determinar certeramente los efectos del manejo de cultivos y de nutrientes a nivel del sistema en el potencial de calentamiento global neto. Otra falla expuesta por esta revisión es el muestreo inadecuado de la MOS entre los sistemas de labranza. Muchos estudios tomaron únicamente muestras del suelo de 0 a 15 cm de profundidad, lo que resulta en mediciones imprecisas e inexactas de la masa de C almacenada, debido a las diferencias en la densidad aparente del suelo, la distribución de raíces y la biología de la rizósfera.

Existen muchas oportunidades de expandir el conocimiento sobre los efectos ambientales completos del adecuado manejo de nutrientes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción del potencial de calentamiento global neto. Es necesaria una mayor colaboración futura entre científicos agrícolas y ambientales para lograr cumplir las metas globales de producción de alimentos, fibras y combustibles y las metas ambientales. Algunas de estas oportunidades de investigación colaborativa identificadas en las conclusiones de este artículo incluyen las siguientes: manejo adecuado de nutrientes para cultivos celulósicos (anuales y perennes) para obtener biocombustibles; evaluación a largo plazo de la pérdida de nutrientes por lixiviación, drenaje o escorrentía y mediciones simultáneas de las emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en los principales sistemas de cultivo-labranza del mundo y parcelas grandes de evaluación en los estudios de detección de N en los cultivos y de dosis variables y/o fuentes de N en las que se puedan medir pérdidas al ambiente.

### Conclusiones relevantes

- ◆ El apropiado uso de los fertilizantes nitrogenados incrementa la producción de la biomasa necesaria para ayudar a restaurar y mantener los niveles de MOS.
- ◆ Las MPM para fertilizantes nitrogenados juegan un importante papel para minimizar el contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> residual en el suelo, lo que reduce el riesgo de incrementen las emisiones de N<sub>2</sub>O.
- ◆ Las prácticas de labranza que mantienen los residuos de los cultivos en la superficie del suelo



pueden incrementar niveles de MOS, pero, en general, solo si la productividad del cultivo se mantiene o se incrementa.

- ♦ Las diferencias entre las fuentes de N en las emisiones de N<sub>2</sub>O dependen de las condiciones específicas de sitio y del clima.
- ♦ Los sistemas de manejo intensivo de los cultivos no necesariamente incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de tierra cultivada. Estos sistemas pueden ayudar a evitar la conversión de áreas silvestres a tierra de cultivo y permiten la conversión de tierras seleccionadas a bosques para mitigación de gases de efecto invernadero, mientras que se satisface adecuadamente la necesidad mundial de alimentos, fibras y biocombustibles.

A corto plazo, es necesario poner mayor énfasis en la educación de quienes practican la agricultura en los siguientes aspectos: 1) principios básicos de manejo de los sistemas de cultivos productivos y sostenibles; 2) procesos de pérdida de nutrientes al aire y al agua; 3) oportunidades de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero a través de las MPM existentes y aquellas prometedoras que tengan efecto sobre los procesos de pérdida; y 4) mayor comunicación entre científicos agrícolas y ambientales que estimule el entendimiento y colaboración mutuos, para evitar la polarización y relaciones adversas en asuntos relacionados con emisiones de gases de efecto invernadero y otros temas ambientales. Las emisiones de gases de efecto invernadero incrementan la necesidad de un alto nivel de manejo en el uso de

fertilizantes en sistemas de cultivos. Como todas las MPM, aquellas seleccionadas para el sitio necesitan evaluarse en el contexto de mitigación de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero en el sistema de cultivo completo.

*El Dr. Snyder (csnyder@ipni.net) es el Director del Programa de Nitrógeno del IPNI, y los Drs. Bruulsema (tbruulsema@ipni.net) y Jensen (tjensen@ipni.net) son Directores de las oficinas del IPNI del oeste y este de Canadá, respectivamente.*

## Bibliografía

- Adviento-Borbe, M.A.A., et al. 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Global Change Biology* 13(9): 1972-1988. Doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x
- Roberts, T.L. 2007. Right product, right rate, right time, and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp. 29-32. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March. Brussels, Belgium.
- Robertson, G.P., et al. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922-1925.
- USEPA. 2007. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2005. EPA 430-R-07-002. U.S. Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Ave., N. W. Washington, CD 20460. ❖

## Marco global de las mejores prácticas de manejo...

### Bibliografía

- Brundtland, G.H. 1987. Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. pp. 1-28. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March. Brussels, Belgium.
- IPNI, 2008. A global framework for best management practices for fertilizer use. IPNI Concept Paper #1. Norcross, GA.
- Monteith, J.L. 1990. Can sustainability be quantified? *Indian J. Dryland Agric. Res. Dev.* 5:1-5.
- Roberts, T.L. 2007. Right product, right rate, right time, and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp. 29-32. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9

- March. Brussels, Belgium.
- Snyder, C.S. y T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. International Plant Nutrition Institute. Reference # 07076.
- Witt, C. 2003. Fertilizer use efficiencies in irrigated rice in Asia. *Proceedings of the IFA Regional Conference for Asia and the Pacific*, Cheju Island, Republic of Korea, 6-8 October 2003. [online]. Disponible en [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org) (last update 2003; accessed 27 Sept. 2005). Paris: International Fertilizer Association.

### Reconocimiento

Los autores reconocen y agradecen al Dr. Paul Fixen quien contribuyó a la generación del concepto del marco global y también agradecen su posterior aporte al proceso de desarrollo del concepto. ❖

# MICRONUTRIENTES EN LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS: FUNCIONES, ABSORCION Y MOVILIDAD<sup>1</sup>

Ernest Kirkby<sup>2</sup> y Volker Römheld<sup>3</sup>

## (Tercera Parte)

### Boro (B)

El B es el menos entendido de todos los nutrientes, a pesar de que, en términos molares, las dicotiledóneas lo requieren en mayores cantidades que otros micronutrientes. Parece que no es requerido por hongos o bacterias y no existe evidencia que sea un activador o un constituyente de alguna enzima. La deficiencia de B es relativamente fácil de inducir y los síntomas aparecen rápidamente junto con los cambios peculiares en la actividad metabólica. Estos cambios se han investigado a través de los años y las funciones en las que se piensa que participa el B incluyen el transporte de azúcares, lignificación de la pared celular, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del ARN, respiración, metabolismo del AIA, metabolismo de los fenoles, función de la membrana, fijación de N<sub>2</sub>, metabolismo de ascorbato y disminución de la toxicidad del Al. Existe evidencia creciente de que algunos de estos efectos son los que Marschner (1995) describió como efectos secundarios originados por la falta de B en la pared celular, en la membrana o en la interfase de la membrana plasmática con la pared celular.

Cantidades sustanciales de B pueden estar presentes en la pared celular. Una función primaria de este nutriente en la pared celular se refleja en un cambio completo de la composición química y de la ultraestructura de los tejidos deficientes de B. Tan rápido como 3 a 6 horas después de la interrupción del abastecimiento de B ocurre un engrosamiento de la pared celular caracterizado por depósitos irregulares de agregados vesiculares, intercalados con materiales membranosos en los ápices de las raíces. El hecho de que el B juega un papel importante en las paredes celulares fue establecido por Kobayashi et al. (1996), quienes aislaron en las plantas un complejo polisacárido péptico que contiene B (boro-ramnogalacturona II, RG II). Se descubrió que la B-RG II está compuesta por ácido

bórico y dos cadenas de polisacáridos pépticos enlazados por medio del di-éster borato, formando una red de polisacáridos pépticos en las paredes celulares. Al parecer, éste es el modo exclusivo para la fijación de los polisacáridos en las paredes celulares y está presente en todas las plantas superiores.

Existen más evidencias de que el B desempeña un importante papel en la función de la membrana plasmática. En tejidos deficientes en B, la actividad de la enzima ATPasa, ligada a la membrana plasmática y la tasa de absorción de iones, disminuyen. Las membranas presentan fugas, pero pueden ser rápidamente restauradas por el abastecimiento de este nutriente. Este efecto de la deficiencia de B en la reducción de la actividad de la membrana plasmática puede estar relacionado a los cambios en el metabolismo de los fenoles en la pared celular asociados con esta deficiencia. En condiciones de deficiencia de B, la ruta de la pentosa fosfato, y no la de la glicólisis, es la que se torna predominante en la degradación de carbohidratos, llevando a la formación de compuestos fenólicos (y triptófano) por la vía del ácido shiquímico. La consecuente acumulación de fenoles y el aumento de la actividad de la polifenil oxidasa conducen a la formación de compuestos intermedios altamente reactivos, tales como las quinonas. Estos compuestos, y también los fenoles foto activados, son altamente efectivos en la producción de radicales superoxidados, que son potencialmente capaces de dañar las membranas mediante la peroxidación de lípidos.

Un ejemplo práctico que muestra como la calidad de un cultivo y su productividad pueden ser perjudicadas por la deficiencia de B que afecta el metabolismo de la planta, lo mostraron Shelp et al. (1992). Estos investigadores consiguieron demostrar que el sabor desagradable del brócoli cultivado con deficiencia de B era causado por el aumento del contenido del indolmetilglucosinolato (**Tabla 6**). Este compuesto es

1 Versión en español de: Kirkby, E.A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.

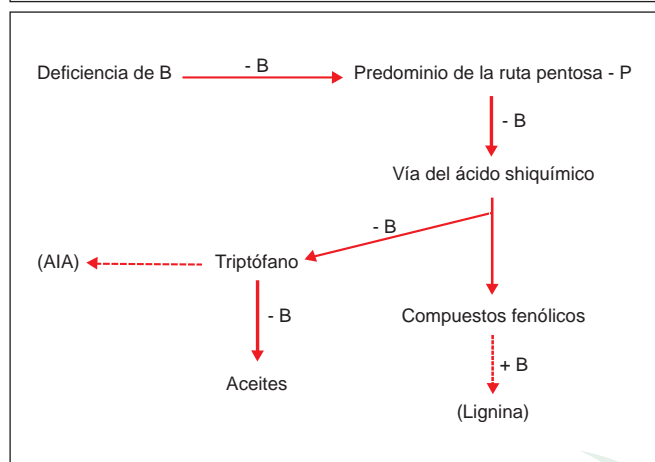
2 Professor, University of Leeds, United Kingdom. Correo electrónico: ekirkby@ukonline.co.uk

3 Professor, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany. Correo electrónico: romheld@uni-hohenheim.de

Agradecimiento al International Fertilizer Society, en especial al Sr. Chris Dawson y a los autores Dr. E. Kirkby y Dr. V. Römheld, por el permiso concedido a IPNI para la traducción e impresión de esta publicación.

**Tabla 6. La acumulación de glucosinolatos (aceites de mostaza) en hojas jóvenes de brócoli (*Brassica oleraceae* var. *Itálica*) con deficiencia de boro (Shelp et al., 1992).**

Suministro de B	----- Contenido de aceites de mostaza ( $\mu\text{g g}^{-1}$ PS) -----	
	Cultivar Baccus	Cultivar Commander
- B	7.2	1.7
+ B	1.3	0.8



**Figura 9. Diagrama de la formación de aceites de mostaza en relación al metabolismo secundario promovido por la deficiencia de B.**

un derivado de triptófano, un producto secundario de la vía del ácido shiquímico, que aumenta extremadamente cuando existe deficiencia de B como se muestra en la **Figura 9**.

La intervención del B en la germinación del polen y en el crecimiento del tubo polínico son particularmente importantes para la producción de los cultivos. Ambos procesos se inhiben severamente cuando existe deficiencia de B. Son necesarias altas concentraciones de B para promover el crecimiento del tubo polínico en el estigma y en el estilo, esto se logra por la desactivación fisiológica de la calosa mediante la formación de borato de calosa en la interfase del tubo polínico con el estilo (Lewis, 1980). Este alto requerimiento de B para el crecimiento generativo fue observado por varios autores y un ejemplo que muestra el efecto del B sobre el crecimiento vegetativo y varios parámetros de crecimiento reproductivo del trébol rojo se presenta en la **Tabla 7** (Sherell, 1983).

La importancia del abastecimiento adecuado de B para que ocurra la infección de micorriza en plántulas de cítricos puede deducirse del trabajo de Dixon et al. (1989). Al parecer el B actúa por medio de alteraciones del metabolismo de los fenoles, específicamente en el reconocimiento del huésped en el establecimiento de la simbiosis.

Las especies de plantas varían en sus requerimientos de B. Las plantas productoras de látex, como la amapola

(*Papaver*) y el diente de león (*Taraxacum*), presentan valores de 80-100 mg kg<sup>-1</sup>; las dicotiledóneas de 20-70 mg kg<sup>-1</sup> y las monocotiledóneas de 5-10 mg kg<sup>-1</sup>. Estas diferencias probablemente se relacionan con las diferencias en la composición de la pared celular. En muchos cultivos donde la movilidad de B dentro de la planta es baja, las hojas jóvenes y los brotes terminales muestran un crecimiento retardado o necrosis. Los internodos son más cortos y las láminas foliares se deforman. El diámetro de los tallos y pecíolos se incrementa y esto puede llevar a la quebradura del tallo, como sucede en el apio. En la lechuga, los síntomas típicos de deficiencia de B se presentan como áreas acuosas y márgenes quemados en las hojas. En remolacha azucarera los síntomas se presentan como pudrición de la corona y del corazón del tubérculo y necrosis de las áreas meristemáticas que pueden facilitar el ingreso de infecciones. La deficiencia de B aumenta la caída de botones florales, flores y frutos en desarrollo y no se establecen los frutos y las semillas.

### Cloro (Cl)

El Cl es un nutriente excepcional en las plantas. Por ser generalmente requerido en muy bajas concentraciones puede clasificarse como un micronutriente, pero es común que se presente en los tejidos de las plantas en concentraciones mucho mayores, semejantes a las que normalmente serían asociadas con los macronutrientes. Esto es un reflejo de la amplia distribución de Cl en la naturaleza. De hecho, cuando Broyer et al. (1954) demostraron que el Cl era un elemento esencial para las plantas fueron necesarias medidas extremas para evitar contaminaciones. A pesar de las altas concentraciones de Cl en el tejido de casi todas las plantas, el requerimiento para el crecimiento óptimo de la mayoría es mucho más bajo (100-200 mg kg<sup>-1</sup>).

La intervención como cofactor para activar el fraccionamiento de la molécula del agua en el fotosistema II (FS II) es la función más conocida del Cl. Ha sido más fácil demostrar la necesidad del Cl en el FS II utilizando fragmentos de cloroplasto que con experimentos con cloroplastos intactos aislados de plantas con deficiencia de este nutriente. Esto probablemente sucede por la rigurosa regulación de la concentración de Cl en los cloroplastos *in vivo*, por lo que se torna difícil obtener cloroplastos con deficiencia

**Tabla 7. Efecto del suplemento de B sobre el crecimiento vegetativo y sobre varios parámetros del crecimiento reproductivo (Sherell, 1983).**

Aplicación de B	Peso seco de brotes	Flores	Semillas	Producción de semillas
mg kg <sup>-1</sup> de suelo	g maceta <sup>-1</sup>	----- N° maceta <sup>-1</sup> -----		mg maceta <sup>-1</sup>
0.0	12.8	0	0	0
0.25	13.0	6	0	0
0.5	12.6	13	0	0
1.0	12.3	37	7	430
2.0	12.3	37	20	1 190
4.0	8.7	34	12	740

de este micronutriente (Römheld y Marschner, 1991). El Cl puede afectar el crecimiento de las plantas indirectamente por intermedio de la regulación estomatal, como ión contrario del K<sup>+</sup>. La acción del Cl, en lugar de malato, es de particular importancia para las plantas en las cuales los cloroplastos de las células guardianes de los estomas no están presentes, o tienen desarrollo incipiente, como la cebolla o el coco. En estas especies, la inhibición del crecimiento por deficiencia de Cl parece ser causada por una disminución del control del cierre estomatal durante el estrés por sequía. Las plantas de kiwi también presentan requerimientos muy altos de Cl, que parecen estar relacionados con el uso preferencial de este micronutriente en lugar de aniones orgánicos para el balance de las cargas (Buwalda y Smith, 1991). El papel del Cl en el balance de cargas es probablemente la razón de la respuesta de estas especies a aplicación de este micronutriente. Otros efectos del Cl que promueven el crecimiento de la planta pueden proceder de la acción del Cl en la supresión de enfermedades, como la mancha gris en las hojas de palma, el mal del pie (*Pseudoperonospora cubensis*) en el trigo (Römheld y Marschner, 1991).

Los síntomas típicos de deficiencia de Cl incluyen la caída de las hojas, enrollamiento de los folíolos, bronceamiento y clorosis similares a la deficiencia de Mn y severa inhibición del crecimiento radicular (Bergmann, 1992). Para una revisión detallada del Cl como nutriente ver Xu et al., 2000.

### Níquel (Ni)

Hasta hace muy poco solamente se consideraban los efectos tóxicos del Ni en la nutrición de las plantas. Existió especial interés por entender porqué ciertas especies de plantas eran capaces de tolerar las altas concentraciones de Ni presentes en suelos de serpentina. Sin embargo, Dixon et al. (1975) descubrieron que la ureasa de la *Canavalia ensiformis* L. era una metalo-proteína que contiene Ni. Como se muestra en una revisión hecha por Asher (1991), este descubrimiento elevó al Ni a la condición de nutriente

funcional. Shimada y Ando (1980), citados por Asher (1991), trabajando con plantas de tomate y soya con bajo contenido de Ni, pudieron demostrar que existe una acumulación de urea en los tejidos, conjuntamente con el desarrollo de necrosis en la punta de la hoja. En plantas de soya con bajo contenido de Ni, dependientes de la fijación de N<sub>2</sub> o abastecidas con NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>, se encontraron concentraciones extremadamente altas de urea en la punta de las hojas, situación que se evitó con la aplicación de Ni (Eskew et al., 1983; Eskew et al., 1984). A partir de este y otros experimentos similares, fue posible concluir que el Ni es un elemento esencial, puesto que se demostró su función en la actividad de la ureasa. No existió ninguna evidencia de que la falta de Ni redujera la producción o viabilidad de semillas.

La confirmación final de que el Ni es un nutriente esencial para las plantas se logró con el trabajo de Brown y sus colaboradores (Brown et al., 1987a), quienes fueron capaces de demostrar que el Ni es requerido para la viabilidad de las semillas de cebada. Se cultivaron plantas de cebada por tres generaciones en un medio nutritivo sin Ni. Las semillas producidas presentaron concentraciones extremadamente bajas de este micronutriente y el porcentaje de germinación se redujo linealmente en relación a las concentraciones de Ni que estaban por debajo del nivel crítico de 100 µg kg<sup>-1</sup>. La viabilidad de las semillas deficientes de Ni no pudo restablecerse con la inmersión en soluciones con Ni, demostrando que este micronutriente es esencial para el desenvolvimiento normal de las plantas madre, y por lo tanto, para que se complete el ciclo de vida de la planta de cebada. Los autores también lograron inducir síntomas de deficiencia de Ni en trigo, avena y cebada mostrando clorosis intervenal semejantes a las provocadas por la deficiencia de Fe, Mn, Zn, y Cu (Brown et al., 1987b).

La deficiencia de Ni en plantas cultivadas en el campo solamente se ha reportado una sola vez en árboles de nuez pecano en el sureste de los Estados Unidos. Los árboles presentaron hojas pequeñas en forma de

caparazón (oreja de ratón) y la madera se tornó quebradiza (Wood et al., 2003).

## Bibliografía

- Asher, C.J. 1991. Beneficial elements, functional nutrients and possible new essential elements. In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman, R.M. Welch. (Ed.). *Micronutrients in Agriculture*. Madison: Soil Science Society of America 2:703-723.
- Bergmann, W. 1992. *Nutritional Disorders of Plants: development, visual and analytical diagnosis*. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 741 p.
- Brown, P.H., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1987a. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85:801-803.
- Brown, P.H., R.M. Welch, E.E. Cary, and R.T. Checkai. 1987b. Beneficial effects of nickel on plant growth. *Plant Nutr.* 10:2125-2135.
- Broyer, T., A.B. Carlton, C.M. Johnson, and P.R. Stout. 1954. Chlorine – a micronutrient element for higher plants. *Plant Physiol.* 29:526-532.
- Buwalda, J.G. and G.S. Smith. 1991. Influence of anions on the potassium status and productivity of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) vines. *Plant Soil.* 133: 209-218.
- Dixon, N.E., C. Gazola, R.L. Blakeley, and B. Zerner. 1975. Jack bean urease (EC 3.5.1.5), a metalloenzyme. A simple biological role for nickel?. *J. Am Chem. Soc.* 97:4131-4133.
- Dixon, R.K., H.E. Garrett, and G.S. Cox. 1989. Boron fertilization, vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and growth of citrus. *Citrus jambhiri* Lash. *J. Plant Nutr.* 12:687-700.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and E.E. Cary. 1983. An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science.* 222:621-623.
- Eskew, D.L., R.M. Welch, and W.A. Norwell. 1984. Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role. *Plant Physiol.* 76:691-693.
- Kobayashi, M., T. Matoh, and J. Azuma. 1996. Two chains of rhamnogalacturonan II are cross linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol.* 110:1017-1020.
- Lewis, D.H. 1980. Are there any inter-relations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen?. *New Phytol.* 84:261-270.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. New York: Academic Press. 2:889.
- Romheld, V. and H. Marschner. 1991. Functions of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman, R.M. Welch. (Ed.). *Micronutrients in Agriculture*. Madison Wisconsin, USA: SSSA. 2:297-328.
- Shelp, B.J., V.I. Shattuck, D. McLellan, and L. Lin. 1992. Boron nutrition and the composition of glucosinolates and soluble nitrogen compounds in two broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica) cultivars. *Can. J. Plant. Sci.* 72:889-899.
- Sherell, C.G. 1983. Effect of boron application on seed production of New Zealand herbage legumes. *N.Z. J. Exp. Agric.* 11:113-117.
- Wood, B.W., C.C. Relly, and Nyczepir. 2003. Nickel corrects mouse-ear. *The Pecan Grower.* 14:3-5.
- Xu, G., H. Mangan, J. Tarchitzky, and U. Kafkafi. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. *Advances in Agronomy.* 68:97-150. ❖

# NUEVA PUBLICACION

## Nutrición y Fertilización del Mango



El mango es una fruta que por su colorido, sabor agradable y aroma se denomina también manzana del trópico. La amplia aceptación de la fruta de mango en los mercados locales y particularmente en los mercados internacionales representa un potencial de explotación comercial que tiene floreciente porvenir. Sin embargo, para satisfacer estos mercados es necesario que, además de fruta de excelente calidad, se obtengan adecuados niveles de rendimiento a través del manejo eficiente de los insumos que reduzca los costos de producción e incremente la rentabilidad.

Uno de los factores más importantes en la producción de mango es el manejo de la nutrición y fertilización del cultivo. El manejo adecuado de la nutrición permite que la planta pueda expresar su potencial de producción, si el manejo de los demás factores de la producción es también adecuado. A pesar de esto, la información publicada en relación a los requerimientos nutricionales del mango en los trópicos es escasa y esto en consecuencia limita la implementación de planes efectivos de fertilización. 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. Esta recopilación de información, acumulada en muchos años de trabajo, de seguro será un importante aporte a la producción de mango en América Latina.

## REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

### EFECTO DE LA APLICACION FOLIAR DE MOLIBDENO EN EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD FISIOLÓGICA DEL FRIJOL COMUN

*Ascoli, A.A., R.P. Soratto y W.I. Maruyama. 2008. Molybdenum leaf application, yield and physiologic quality of irrigated common bean seeds. Bragantia, 67(2):377-384.*

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las dosis y época de aplicación foliar de Mo en el rendimiento y la calidad fisiológica de la semilla de fríjol común, cultivar Pérola, cultivado bajo riego en un suelo Typic Quartzipsamment. Se utilizó un diseño de bloques al azar, en arreglo factorial 4x2 con 4 repeticiones. Los tratamientos estuvieron constituidos por 4 dosis (0, 40, 80 y 160 g ha<sup>-1</sup>) y 2 épocas de aplicación (15 y 26 días después de la germinación). Las aplicaciones foliares de Mo incrementaron el rendimiento de grano y el rendimiento de materia seca de la biomasa aérea de la planta, independientemente de la época de aplicación. La germinación del grano utilizado como semilla en la siguiente generación se incrementó con la aplicación de Mo a los 26 días después de la germinación. El vigor del grano utilizado como semilla, evaluado como el conteo de la germinación, decreció con las dosis de Mo. La aplicación foliar de Mo incrementó el rendimiento de grano. Este grano utilizado como semilla produjo plántulas de mayor crecimiento inicial.

### RETENCION DE FOSFORO EN LA SUPERFICIE DE SUELOS BAJO LABRANZA CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA

*Gutierrez, F.H., C.R. Alvarez, M.J. Cabello, P.L. Fernández, A. Bono, P. Prystupa y M.A. Taboada. 2008. Phosphorus retention on soil surface of tilled and no-tilled soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 72:1158-1162.*

La reducción de la capacidad tampón de P en la superficie de suelos cultivados con siembra directa ha sido atribuida al enriquecimiento del suelo con P y materia orgánica (MO). Como el enriquecimiento de P y MO generalmente ocurren simultáneamente en este tipo de suelos, no se ha establecido claramente si el incremento de MO afecta la capacidad del suelo para retener P. Se condujo un estudio para determinar si las variaciones en MO (total y particulada) en la superficie del suelo afectan la capacidad de retención de P. Se seleccionaron 35 suelos de las Pampas onduladas (17 bajo labranza convencional y 18 bajo siembra directa). Todos los suelos tenían niveles medio a bajos de P (<20 mg kg<sup>-1</sup> Bray 1). Se tomaron muestras de suelo de los primeros 5 cm de profundidad y se determinaron los

siguientes parámetros: P total y disponible, índice de adsorción de P, MO particulada (MOP) (>53 μm), distribución de las partículas y pH. Los suelos bajo ambos sistemas de labranza no difirieron en textura, pH y contenido de P total y disponible. Por otro lado, los suelos bajo siembra directa tuvieron más MO (+ 14%) y MOP (+ 56%) que los suelos de labranza convencional. La capacidad para retener P añadido no fue diferente en ambos grupos de suelos. El índice de adsorción de P no estuvo relacionado con el contenido total de MO o MOP. La variación en el índice de adsorción de P se relacionó solamente con el contenido de arcilla (r<sup>2</sup> = 0.44). Este estudio provee evidencia contradictoria a la largamente aceptada afirmación de que la reducción de adsorción de P en la superficie de los suelos bajo siembra directa era causada en parte por el enriquecimiento con MO.

### MACRONUTRIENTES EN CULTIVARES DE GERBERA BAJO DOS NIVELES DE FERTIGACION

*Ludwig, F., D.M. Fernandes y P.R. Mota. 2008. Macronutrients in gerbera cultivars under two fertigation levels. Hortic. Bras. 26(1):68-73.*

La gerbera cultivada en macetas es una planta conocida mundialmente, sin embargo, existe poca información con relación a su cultivo, especialmente la nutrición y la fertilización, factores esenciales para la calidad y la rentabilidad. En este trabajo se evaluó el contenido y acumulación de macronutrientes de 4 cultivares de gerbera bajo dos niveles de fertigación. El experimento se condujo en un invernadero de Mayo a Julio del 2006 y se instaló en bloques al azar en un arreglo factorial 4x2. Los tratamientos fueron los 4 cultivares de gerbera (Cherry, Golden Yellow, Salmon Rose y Orange) y 2 concentraciones de soluciones nutritivas (50 y 100%) que correspondían a conductividades eléctricas de 0.92 y 1.76 dS m<sup>-1</sup> durante el periodo vegetativo y 1.07 y 2.04 dS m<sup>-1</sup> durante el periodo reproductivo. Los nutrientes fueron aplicados manualmente, una vez al día. Al final de los periodos vegetativo y reproductivo se evaluó el contenido y acumulación de macronutrientes. La demanda de nutrientes fue diferente entre cultivares, pero la concentración de la solución fue un importante factor en el contenido y acumulación de N, P, Ca, Mg y S en la planta. La mayor acumulación se registró en el último tercio del ciclo reproductivo con el siguiente orden de absorción de nutrientes: K>N>Ca>Mg>P>S (415, 327, 110, 33, 32, 20 mg planta<sup>-1</sup>).

## INFLUENCIA DEL NITROGENO Y BORO EN EL RENDIMIENTO Y LA PRESENCIA DE TALLO HUECO DE LA COLIFLOR

Camargo, M.S., S.C. Mello y D.E. Foltran. 2008. *Yield and hollow stem disorder of winter cauliflower influenced by nitrogen and boron. Bragantia, 67(2):371-375.*

El tallo hueco es un problema común en coliflor. Su presencia se asocia especialmente con el desbalance entre dosis de N y B, pero existe poca información acerca de esta problemática en Brasil. Este experimento se condujo de Marzo a Junio del 2006 usando un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. El objetivo fue evaluar dosis de N (100, 150, 200 y 250 kg ha<sup>-1</sup>) y la

aplicación de B (0 y 3 kg ha<sup>-1</sup>) en el rendimiento y en la presencia de tallo hueco de la coliflor variedad Julia cultivada en un suelo Kandiuistalf en la región de Tiete, Sao Paulo, Brasil. Los tratamientos no cambiaron el diámetro de la pella cuyo promedio fue de 17.74 cm. Las dosis de N incrementaron el peso promedio, el rendimiento total y el contenido de N en las pellas. La fertilización con B incrementó el contenido de este nutriente en las pellas, en el rendimiento comercial y redujo la presencia de tallo hueco. Existió una correlación negativa entre las concentraciones de B en la pella y la incidencia de tallo hueco. Por esta razón, para reducir este desorden fisiológico de la coliflor se requiere aplicar B aun en suelos donde el contenido de B está alrededor del promedio.

## CURSOS Y SIMPOSIOS

### 1. XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : SCCS  
**Lugar y Fecha** : Villavicencio - Colombia  
 Octubre 28 - 30, 2008  
**Información** : SCCS  
 Tel.: 571 211 3383  
 eventos@sccsuelo.org  
 llanos@sccsuelo.org  
 www.sccsuelo.org

### 2. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : SECS  
**Lugar y Fecha** : Quito - Ecuador  
 Octubre 29-31, 2008  
**Información** : SECS  
 fcevents@farmacoclinica.com  
 calvache@uio.satnet.net  
 jespinos@ipni.net  
 www.secsuelo.org

### 3. Conferencia Internacional sobre Clasificación de Suelos en Chile

**Organiza** : Universidad de Chile  
**Lugar y Fecha** : Santiago de Chile - Chile  
 Noviembre 9-17, 2008  
**Información** : Universidad de Chile  
 wluzio@uchile.cl  
 mcasanov@uchile.cl  
 wvera@uchile.cl  
 www.scc2008.uchile.cl

### 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  
 www.acorbato2008.org

### 5. V Simposio Internacional. Interacción Suelo Raíz y Microorganismos en el Destino de Nutrientes y Contaminantes

**Organiza** : Universidad de La Flontera  
**Lugar y Fecha** : Pucón - Chile  
 Noviembre 24-28, 2008  
**Información** : Universidad de La Flontera  
 mariluz@ufro.cl  
 www.ismom2008ufro.cl

### 6. II Simposio Internacional de Papaya

**Organiza** : Universidad Tamil Nadu  
**Lugar y Fecha** : Tamil Nadu - India  
 Diciembre 9-12, 2008  
**Información** : Dr. N. Kumar  
 Tel.: 91 422 661 1310  
 kumarhort@yahoo.com  
 www.ishs-papaya2008.com

## PUBLICACIONES DISPONIBLES



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

- \* **NUEVO: 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. \$ 15.00
- \* **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 café 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
- \* **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