



CONTENIDO

	Pág.
Las MPM de los fertilizantes nitrogenados para limitar las pérdidas que contribuyen al calentamiento global	1
Factor de productividad parcial de nitrógeno en papa	6
Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz	9
Reporte de Investigación Reciente	15
- Efecto de la aplicación de silicato y carbonato en la nutrición, rendimiento y calidad de la papa bajo condiciones de estrés.	
- Efecto de la aplicación de nitrógeno y potasio en banana usando fertirrigación y fertilización convencional en el estado nutricional de la planta y la producción de fruto.	
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.



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

LAS MPM DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA LIMITAR LAS PERDIDAS QUE CONTRIBUYEN AL CALENTAMIENTO GLOBAL

Clifford S. Snyder*

El concepto de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de fertilizantes no es nuevo, fue introducido en el medio hace casi 20 años (Roberts, 2007). Las MPM de fertilizantes son hoy más importantes que nunca y necesitan fundamentarse en el simple concepto de sincronizar el abastecimiento de nutrientes con los requerimientos del cultivo, minimizando al mismo tiempo las pérdidas de nutrientes del campo. Todos quienes utilizan fertilizantes para nutrir los cultivos deben aplicar el nutriente correcto, en la cantidad adecuada, en el momento y ubicación necesarios para lograr abastecer la demanda del cultivo – “fuente, dosis, época y localización correctas”. Además, las MPM de fertilizantes deben ser adaptables a todos los sistemas agrícolas, ya que no todas las condiciones son las mismas (Roberts, 2007).

Una adecuada nutrición de los cultivos, con el balance apropiado logrado con la utilización de las MPM de fertilizantes, maximiza la captura de dióxido de carbono (CO₂) a través de la fotosíntesis y el secuestro de carbono (C) por el cultivo, optimiza la productividad del cultivo por unidad de área, logrando al mismo tiempo rentabilidad para el agricultor y el cumplimiento de las metas de sostenibilidad. Cualquiera de las MPM de fertilizantes que incremente el rendimiento y la absorción y recuperación de los nutrientes aplicados tiene una alta probabilidad de minimizar o limitar el potencial de pérdida no deseada de nutrientes al agua y al aire.

La ciencia y la experiencia han demostrado que el impacto de las MPM de fertilizantes en el rendimiento, calidad y rentabilidad del cultivo, así como el efecto sobre las pérdidas de nutrientes al agua o al aire, están a su vez influenciadas por otras prácticas agronómicas como densidad de siembra, variedad o híbrido, labranza y manejo de plagas, así como también por las prácticas de conservación como terrazas, cultivo en fajas, manejo de residuos, zonas de amortiguamiento, barreras rompe vientos y otras (Fixen, 2007). A menudo, las prácticas que se definen como suficientemente útiles para la toma de decisiones del uso de fertilizantes se vuelven “mejores prácticas” solo cuando se usan en conjunto con otras MPM agronómicas y de conservación. Cualquiera de las MPM de fertilizantes puede ser totalmente ineficiente si el sistema de cultivo en el cual se utiliza tiene otros serios limitantes (Fixen, 2007).

* Director del Programa de Nitrógeno del International Plant Nutrition Institute.
Correo electrónico: csnyder@ipni.net

Las prácticas que se resumen a continuación pueden ser guías útiles en la toma de decisiones sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y pueden ayudar a reducir el impacto del uso de estos fertilizantes en las emisiones de gases de efecto invernadero (GI) y de esta manera ayudar a mitigar el potencial de calentamiento global (PCG). El PCG se expresa en equivalentes de CO₂. Los tres GI de interés en agricultura son: óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El PCG del CH₄ es 23 veces mayor que aquel de CO₂ y el PCG de N₂O es 296 veces mayor que el del CO₂. Debido a que el uso de fertilizantes nitrogenados puede estar asociado con las emisiones de N₂O y porque el PCG de N₂O es mucho mayor que el de CO₂, las MPM de los fertilizantes nitrogenado se enfatizan en esta guía como medio para reducir las emisiones de N₂O. Por ejemplo, las MPM de los fertilizantes nitrogenados que ayudan a minimizar el exceso de nitrato (NO₃⁻) en el suelo durante las épocas cálidas y húmedas o cuando el suelo está saturado con agua pueden reducir el riesgo de emisiones de N₂O (Snyder et al., 2007).

Principios generales

Antes de aplicar cualquier fertilizante nitrogenado

- Establecer una meta de rendimiento realista que se base en las condiciones climáticas y del suelo del lote a fertilizar.
- Determinar: 1) la fertilidad actual del suelo, 2) el aporte de nutrientes del agua de riego, residuos orgánicos y leguminosas, y 3) la demanda total de nutrientes del cultivo para identificar las dosis de los fertilizantes.
- Identificar otros factores que limiten la eficiencia de uso de N y manejarlos lo mejor posible. Por ejemplo, bajos niveles de otros nutrientes, pobre establecimiento del cultivo, competencia de malezas, drenaje inadecuado y compactación, son factores que reducen la eficiencia de la aplicación de N.
- Evaluar las condiciones del suelo y ambientales para determinar las vías más probables y la intensidad de la pérdida de N.
- Seleccionar uno o más lotes para monitorizar el estado nutricional de las plantas durante el ciclo de cultivo.
 - El análisis foliar permite monitorizar las concentraciones de nutrientes en la planta durante la época de mayor demanda, que generalmente ocurre justo antes de o al inicio de la polinización.
 - En cultivos como arroz y maíz se puede utilizar la tabla de comparación de colores para monitorizar el estado del N en la planta y tomar decisiones de manejo de este nutriente (Ver artículo Pág. No. 9).

- Identificar cualquier riesgo ambiental relacionado con nutrientes que pudiese presentarse en la cuenca hidrográfica o región donde se está trabajando. Algunas de estas condiciones son: 1) alta concentración de NO₃⁻ en la capa freática, 2) cuerpos de agua eutrofizados o cuerpos de agua con alto crecimiento de algas nocivas, o 3) fenómenos de enriquecimiento con nutrientes “aguas abajo” que se presenten como bajas concentraciones de oxígeno (hypoxia).

Equipos, aplicación apropiada y tecnología de aplicación

- Evitar o retrasar las aplicaciones de fertilizantes cuando el campo es susceptible a compactación por el uso de equipos pesados. Evaluar la capacidad de carga de los equipos, la presión de las llantas y su impacto en la compactación del suelo. El incremento en la compactación del suelo puede agravar o acelerar las emisiones de N₂O del suelo. Considerar el uso de sistemas de labranza que reduzcan los pases de maquinaria a través del campo y que provean del necesario control del agua de escorrentía y de la erosión.
- Calibrar los equipos de aplicación de fertilizantes para asegurar una adecuada entrega de las dosis de N prescritas y una adecuada localización. Evitar la sobre aplicación y la localización del producto fuera del lugar indicado. Asegurar la uniformidad de las aplicaciones a lo ancho del aplicador. Si se hacen aplicaciones en sub-superficie asegurarse de una apropiada profundidad de colocación.
- Asegurar que exista apropiado cerrado del suelo y buena retención de N atrás del aplicador cuando se hacen aplicaciones sub-superficiales de N.

MPM de los fertilizantes nitrogenados – Como lograr los cuatro pasos fundamentales

Fuentes de N

- Escoger la fuente de N que encaje con los requerimientos económicos y logísticos y que minimice los riesgos de pérdida de N. La selección de las fuentes de N puede afectar la dosis, época de aplicación y localización del fertilizante.

Amonio vs. Nitrato

- Siempre que sea posible y práctico, el proveer nutrición en forma de amonio (NH₄⁺) en lugar de NO₃⁻ es probable que minimice la emisión total de GI. Esta guía no pretende hacer un análisis del ciclo total de nutrientes, sin embargo, es importante notar que los fertilizantes que tienen N en forma de NH₄⁺ son manufacturados con menos emisiones de

GI que los fertilizantes que tienen NO_3^- (con excepción de nitrato minado de Chile). Adicionalmente, el NO_3^- es más vulnerable a la denitrificación, lo cual resulta en emisiones N_2O y N_2 en forma de gas (Harrison y Webb, 2001; Firestone, 1982).

- Escoger fuentes de N que tengan el nutriente N en forma amoniacal (NH_4 y NH_3) y no fuentes basadas en NO_3^- (Harrison y Webb, 2001), cuando se aplique N temprano en el ciclo, antes que el sistema radicular del cultivo esté bien establecido. Si se utilizan fuentes de N que contengan NO_3^- se debe evitar aplicarlas en suelos que se saturan o contengan agua estancada al inicio del ciclo del cultivo. El estancamiento en condiciones cálidas puede generar altas emisiones de N_2O .

Urea y materiales que contienen urea

- Idealmente, se debe aplicar urea, urea-nitrato de amonio (UAN) y otros materiales que contienen urea cuando es posible una completa incorporación del material al suelo por la lluvia o el riego, a por lo menos 0.5 a 1.0 cm de profundidad, o cuando es posible la incorporación con labranza, dentro de las 24 a 48 horas después de la aplicación. Se deben seguir estas prácticas especialmente donde las condiciones ambientales son favorables a la volatilización de N como amoniaco (NH_3) (Jones et al., 2007; Trenkel, 1997; Kissel, 1988).
- Aplicaciones de urea en banda sobre la superficie pueden ayudar a reducir el contacto de rastrojo con el fertilizante.
- Los inhibidores de urea se discuten en la sección de “época de aplicación de N”.

Dosis de N

- Utilizar dosis apropiadas de N, en balance con otros nutrientes esenciales, para optimizar los rendimientos del cultivo y proteger el ambiente. Dosis excesivas pueden causar pérdidas al ambiente, reducir el rendimiento e incrementar los costos. Las dosis de N se deben manejar para:
 - Minimizar los residuos de NO_3 en el suelo, y para;
 - Reducir los riesgos de emisiones de N_2O (Halvorson et al., 2008b; McSwiney y Robertson, 2005), especialmente en suelos mal drenados.
- Implementar planes para el manejo de nutrientes que consideren las reservas de N en el suelo y la contribución de nutrientes de todas las fuentes utilizadas. Dar crédito a las fuentes de N disponible, como el proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), leguminosas, residuos, agua de riego y deposición atmosférica.



- Identificar las dosis de N requeridas para alcanzar la meta de rendimiento de acuerdo a las condiciones particulares del sitio. Procurar seguir las recomendaciones basadas en investigaciones o en comparaciones replicadas de dosis de N en el campo.
- Después de la cosecha, calcular el factor parcial de productividad (FPP), el balance parcial de nutrientes (BPN) y, en donde sea posible, determinar la eficiencia agronómica (EA) y la eficiencia de recuperación de N (ER) (Snyder y Bruulsema, 2007). Las oportunidades para refinar el manejo del N pueden identificarse a través de estos indicadores. Las evaluaciones pueden extenderse a zonas del campo claramente distintas e identificables que sean lo suficientemente grandes para permitir el manejo de nutrientes por sitio específico.
- Emplear evaluaciones durante y después del ciclo (ver aquellos mencionados anteriormente en la sección de Principios Generales) para evaluar la suficiencia, deficiencia o cualquier exceso en la nutrición con N de las plantas.

Epoca de aplicación de N

- Un adecuado cronograma de aplicación de N es un factor fundamental que influencia marcadamente la absorción de N por el cultivo y el potencial de elevado contenido de NO_3^- en el suelo, lo que aumenta el riesgo de emisiones de N_2O .
- No aplicar N antes de la siembra en suelos con alto potencial de pérdida de NO_3 por lixiviación o drenaje, como en suelos de textura gruesa o media bien drenados en regiones húmedas con lluvias anuales superiores a 1 000 mm.
- Evite la aplicación de fertilizantes nitrogenados antes de la siembra donde las condiciones del suelo permitan que se desarrollen las siguientes situaciones:
 - Rápida nitrificación (transformación de NH_4^+ a NO_3^-) generalmente asociada con temperaturas del suelo superiores a 21 °C con humedad adecuada (Schmidt, 1982);

- Significativa lixiviación de NO_3^- y/o pérdida por escorrentía;
- Significativo potencial de pérdida de N_2O por denitrificación (conversión microbiana de NO_3^- a NO_2^- , N_2 y gas N_2), condición asociada a espacios de poros saturados con agua (más de 60%), suplemento de compuestos de carbono (C) disponibles (por ejemplo materia orgánica) y temperaturas del suelo mayores a 21 °C por más de 2 a 3 días consecutivos.
- Planificar que las aplicaciones de N coincidan, tan práctica y logísticamente como sea posible, con la demanda para maximizar la absorción de N por el cultivo, minimizar el exceso de NO_3^- residual y evitar pérdidas al aire o al agua. Evitar la aplicación muy temprana o muy tardía de N en relación con la demanda del cultivo.
- Fraccionar la dosis total de N para sincronizar de esta manera el abastecimiento con la demanda del cultivo. El fraccionamiento de las aplicaciones de N puede incrementar la eficiencia de uso de N. Por ejemplo, trabajos de investigación han demostrado que en maíces tropicales es aconsejable dividir la dosis total de N en tres fracciones, 20% a la siembra, 40% a V6 y 40% a V10 (Ver artículo Pág. No. 9).
- Evitar la utilización de cualquier fuente de N en suelos muy húmedos o con agua estancada, especialmente durante períodos cálidos cuando el N de las fuentes usadas puede convertirse rápidamente en NO_3^- y ser susceptible a denitrificación y emisiones de N_2O . Una excepción es el cultivo de arroz inundado que por sus características fisiológicas y por su capacidad de absorber N rápidamente puede usar eficientemente el N aplicado a suelos saturados o inundados.
- Evitar aplicaciones de urea o fuentes de N amoniacal a la superficie de suelos húmedos o con agua estancada (excepto las aplicaciones de N en medio del ciclo del cultivo de arroz inundado) o en suelos secos en condiciones de alta humedad ambiental y con limitadas oportunidades de incorporación en el suelo por varios días después de la aplicación. Esto limita la volatilización de N como NH_3 .
- Usar inhibidores de nitrificación con fuentes de N amoniacal en ambientes donde existe un alto potencial de lixiviación de NO_3^- y/o emisiones de N_2O (Wolt, 2004; Hoef, 1984). Por ejemplo:
 - Ambientes con abundante lluvia;
 - Suelos pobremente drenados (> 60% poros saturados) o con humedad mayor al 60% de la capacidad de campo por varias semanas después de la aplicación del fertilizante nitrogenado;
- Cuando se aplican altas dosis de NH_4 (incluyendo fuentes que contienen urea) fuera del período de rápido crecimiento y absorción de nutrientes del cultivo.
- Usar inhibidores de ureasa con fuentes de N que contienen urea donde existe un alto riesgo de volatilización de NH_3 (siembra directa y labranza reducida). Generalmente para aplicaciones superficiales bajo las siguientes condiciones:
 - Donde existen altos niveles de residuos de cultivos en la superficie del suelo, temperaturas cálidas, alta humedad ambiental y vientos;
 - Donde el N se aplica a la superficie del suelo al voleo o en banda;
 - Donde sea poco probable, o no sea posible, lograr una completa incorporación al suelo por medio de la lluvia o el riego (por lo menos 0.5 a 1.0 cm), o por labranza dentro de 24 a 48 horas después de la aplicación.
- Usar fertilizantes de liberación lenta o controlada que ayuden a controlar la liberación de N de estos materiales para así reducir el riesgo de pérdidas por lixiviación de NO_3^- , pérdidas por volatilización de NH_3 y emisiones de N_2O (Blaylock et al., 2005; Burton et al., 2008; Halvorson et al., 2008a y 2008b; Merchan-Paniagua, 2006; Motavalli et al., 2008; Shaviv, 2000; Trenkel, 1997). Estas fuentes pueden actuar bien donde los riesgos de lixiviación de NO_3^- y/o las emisiones de N_2O son altamente probables al inicio del ciclo de crecimiento, por ejemplo en:
 - Ambientes con alta humedad ambiental y mucha lluvia;
 - Suelos con más del 60% de poros saturados (cerca o por encima de la capacidad del campo) varias semanas después de la aplicación de N o suelos muy húmedos por bastante tiempo del año.
- Es importante conocer las características de liberación de N de las fuentes de liberación lenta o controlada (obtener datos de experimentación de campo comprobada) para escoger la fuente más apropiada de acuerdo a un cultivo específico, su demanda de absorción de N, el régimen prevalente de humedad del suelo y las condiciones climáticas locales.

Localización del N

- Evitar la colocación de cualquier fuente de N en contacto directo con los residuos del cultivo anterior porque esto incrementa el riesgo de pérdidas de N_2O (Parkin y Kaspar, 2006).
- Evitar las aplicaciones al voleo o en banda de cualquier fuente de N en suelos muy húmedos que

no permitan una adecuada incorporación del fertilizante con la lluvia o el riego (por baja infiltración en el suelo) y en sitios donde exista significativo arrastre del fertilizante por escorrentía.

- Incorporar al suelo la urea, o las fuentes que contienen urea, de la siguiente manera (Jones et al., 2007; Kissel, 1988):
 - Aplicación en banda por debajo de la superficie;
 - A través de la incorporación al suelo por medio de la lluvia o el riego (0.5 a 1.0 cm) o por labranza de 24 a 48 horas después de la aplicación.
- Los inhibidores de ureasa se discutieron en la sección de “Epoca de aplicación de N”.

Las siguientes prácticas de manejo ofrecen excelentes oportunidades para reducir las emisiones directas de GI y también reducir otras importantes pérdidas de (volatilización de NH_3 , lixiviación NO_3^- y arrastre por escorrentía) que pueden contribuir indirectamente a emisiones de GI. La implementación de estas prácticas puede reducir significativamente la contribución de los fertilizantes nitrogenados al PCG.

1. Estimar cuidadosamente las condiciones de suelo y clima del sitio para determinar el potencial del rendimiento y las posibles vías y magnitud de las pérdidas de N. Procurar aplicar dosis de N que sean suficientes, pero evitar excederse de lo requerido para el rendimiento óptimo y la buena calidad del cultivo. Se debe tomar en cuenta el suplemento de N del suelo y el aporte de todas las otras fuentes de N más allá del fertilizante nitrogenado.
2. Utilizar prácticas de manejo del cultivo que puedan optimizar la efectividad del N y minimizar sus pérdidas (adecuado y balanceado suplemento de todos los nutrientes esenciales, selección de variedades o híbridos de genética superior, uso de labranza de conservación, manejo adecuado de plagas, etc.).
3. Usar un apropiado cronograma de aplicaciones de N y seleccionar la fuente adecuada para minimizar emisiones directas e indirectas de N_2O y que también minimizan el potencial de pérdida de N por otras vías.
4. Usar otras tecnologías, como los inhibidores de ureasa y de nitrificación y fuentes de liberación lenta o controlada de N. Estas tecnologías generalmente reducen la probabilidad de pérdida de N e incrementan su efectividad, especialmente en situaciones donde el fraccionamiento de N presenta riesgos significativos de pérdidas de N.
5. Incorporar el fertilizante bajo la superficie cuando se utilizan fuentes que contienen urea, especialmente en condiciones conducentes a la pérdida de NH_3 .
6. Utilizar indicadores de desempeño, como el análisis

foliar, durante el ciclo del cultivo y análisis de suelos después del ciclo para evaluar la efectividad de las aplicaciones de N.

7. Tomar las decisiones sobre la fuente, dosis, época y localización del N considerando todas las formas de pérdida que puedan afectar el uso efectivo de este nutriente. Evitar enfocarse solamente en el manejo de las emisiones de N_2O , ya que otras vías de pérdida de N pueden ser más importantes en la reducción del uso eficiente del N, dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones específicas de cada sitio.

Conclusiones

La utilización de estas guías para la implementación de las MPM ayuda a mejorar la recuperación del N aplicado por el cultivo, incrementa el rendimiento y la captura de CO_2 y reduce los riesgos de emisión de GI y el PCG neto asociado con el uso de fertilizantes nitrogenados. Los agricultores deben buscar ayuda específica basada en investigación de manejo de N en sistemas de cultivos de consultores certificados, proveedores de fertilizantes, agentes de extensión e investigadores de universidades y centros de investigación. Está claro que el principio de aplicar el producto correcto, en la dosis, época y localización correctas permite minimizar las pérdidas de N. Se necesita más investigación para mejorar el conocimiento de los efectos de los fertilizantes nitrogenados en las emisiones de GI y otras pérdidas de N al ambiente bajo condiciones locales. También se necesita más investigación y monitoreo para medir el impacto de las MPM específicas para N en el desarrollo sostenible y en las metas económicas, sociales y ecológicas de las actuales y futuras generaciones.

Bibliografía

- Blaylock, A.D., G.D. Binford, R.D. Dowbenko, J. Kaufmann, and R. Islam. 2005. ESN[®], controlled-release nitrogen for enhanced nitrogen efficiency and improved environmental safety. pp. 381-390. *In Proc. 3rd International Nitrogen Conference Contributed Papers, October 12-16, 2004, Nanjing, China.* Z Zhu, K. Minami, and G. Xing, editors. Science Press and Science Press USA, Monmouth Junction, NJ.
- Burton, D.L., X. Li, and C.A. Grant. 2008. Influence of fertilizer nitrogen source and management practice on N_2O emissions from two Black Chernozemic soils. *Can. J. Soil Sci.* 88:219-227.
- Firestone, M.K. 1982. Soil nitrogen budgets. pp. 289-326. *In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils.* Agron. monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

Continúa en la página No. 14

FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARCIAL DE NITROGENO EN PAPA

V.K. Dua, P.M. Govindakrishnan, S.S. Lal, y S.M.P. Khurana

La papa ha emergido como uno de los cultivos alimenticios más importantes en India. Desde su independencia, este país ha incrementado casi 5 veces el área sembrada y aproximadamente 16 veces la producción global de papas. El incremento en la producción no se debe sólo al incremento en el área, sino también a la productividad, la cual se ha incrementado de un promedio de 6.6 t ha⁻¹ durante 1949-1950 a 19.8 t ha⁻¹ durante 2001-2002. Este incremento se ha conseguido gracias al uso de niveles más altos de insumos y de cultivares más eficientes de alto rendimiento. Sin embargo, a medida que los insumos se incrementan, generalmente se presenta una disminución en la eficiencia de uso de los mismos. Si esta tendencia no se contrarresta con el empleo de genotipos mejorados y con mejor manejo de nutrientes, es probable que se presenten problemas de contaminación y que también se reduzcan los retornos de la inversión. Por lo tanto, existe la necesidad de revisar periódicamente las eficiencias del uso de insumos en diferentes cultivos.

El nitrógeno (N) es el nutriente más importante en la producción de papa. Una baja eficiencia de uso de N promueve la lixiviación, volatilización, etc. de este nutriente. Para determinar la eficiencia de los nutrientes aplicados, Cassman et al. (1996) introdujeron el término Factor de Productividad Parcial (FPP). La ventaja de la utilización de este índice es que cuantifica el beneficio económico total de cualquier factor/nutriente en particular, en relación a la utilización de todos los recursos del sistema, incluyendo los nutrientes nativos del suelo y los nutrientes aplicados con los insumos. Por lo tanto, se pueden usar los cambios en FPP de N a través de los años para determinar la sostenibilidad del sistema de producción de papa.

Los datos de rendimiento de papa bajo diferentes niveles de N se obtuvieron de 107 artículos publicados que reportan experimentos ejecutados entre los años 1968 y 2000. Debido a que los diferentes investigadores utilizaron distintas dosis de N, éstas se clasificaron en 6 rangos: 20 a 60, 61 a 100, 101 a 140, 141 a 180, 181 a 220 y más de 220 kg de N ha⁻¹, además del testigo (cero N). El FPP y la Eficiencia Agronómica (EA) se calcularon de la siguiente manera:

FPP = R_f/N_a – expresado en kg producción por kg de N aplicado.

EA = $(R_f - R_t)/N_a$ – expresado en kg producción por kg de N aplicado.



En donde “R_f” representa el rendimiento de un lote fertilizado con N, “R_t” representa el rendimiento del lote testigo y “N_a” representa la cantidad de N aplicado en kg ha⁻¹. El FPP se calculó también por separado para las últimas tres décadas (1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000) y para diferentes cultivares.

El promedio total de rendimiento de tubérculos mostró un incremento con el aumento del nivel de N hasta 220 kg de N ha⁻¹ durante el periodo 1968-2000 (**Tabla 1**). No se observaron incrementos en el rendimiento más allá de los 220 kg de N ha⁻¹ hasta 1980. En lo que concierne a la respuesta temporal de rendimiento, durante la década de 1970 se observó respuesta al N aplicado hasta los 180 kg de N ha⁻¹ (**Tabla 1**), mientras que en la década de 1980 la respuesta llegó hasta 220 kg de N ha⁻¹ y en la de 1990 la respuesta superó los 220 kg de N ha⁻¹.

El análisis reveló que a medida que se incrementaba la dosis de N aplicada se redujo el FPP (**Tabla 1**). En general, para todo el período (1968-2000) el FPP fue de 421 kg de tubérculos kg⁻¹ de N cuando se lo aplica en el rango de 20 a 60 kg de N ha⁻¹, el FPP se redujo a 130 kg de tubérculos kg⁻¹ de N cuando se aplicaron dosis que excedieron los 220 kg de N ha⁻¹. Similar tendencia se observó en las diferentes décadas. Esta tendencia refleja la ley del rendimiento decreciente – a medida que se aumenta la dosis de N aplicado, la respuesta al N disminuye. Esto también se confirma al calcular la EA, parámetro que describe la respuesta por unidad de N aplicado (**Tabla 2**). La EA mostró que la conversión de N aplicado en rendimiento fue mayor en los niveles más bajos de aplicación de N (20 a 60 kg ha⁻¹).

* Tomado de: Dua, V.K., P.M. Govindakrishnan, S.S. Lal, and S.M.P. Khurana. 2007. Partial Factor Productivity of Nitrogen in Potato. *Better Crops With Plant Food* 91(4):26-27.

Tabla 1. Rendimiento de la papa (t ha⁻¹) y factor de productividad parcial (FPP) de N (kg de tubérculos kg⁻¹ de N aplicado) para la papa en India.

Período	Promedio	----- Rango de los niveles de N, kg ha ⁻¹ -----					
		20-60	61-100	101-140	141-180	181-220	>220
1971-1980	FPP	428	277	211	158	134	111
	Rendimiento de tubérculos	22.1	22.6	25.4	26.5	26.8	27.0
	No. de estudios	21	19	25	22	1	4
1981-1990	FPP	399	253	206	177	154	114
	Rendimiento de tubérculos	22.0	23.7	24.8	28.6	30.8	28.3
	No. de estudios	61	43	38	62	16	20
1991-2000	FPP	409	329	235	188	155	148
	Rendimiento de tubérculos	22.0	28.0	29.4	30.7	31.8	35.0
	No. de estudios	19	23	18	31	3	19
1968-2000	FPP	421	282	220	178	156	130
	Rendimiento de tubérculos	22.9	25.0	26.8	29.1	31.3	31.4
	No. de estudios	109	88	86	120	21	44

Tabla 2. Eficiencia agronómica (kg de tubérculos kg⁻¹ de N aplicado) de N en papa bajo diferentes niveles de este nutriente.

Rango de los niveles de N kg ha ⁻¹		Eficiencia agronómica
20-60	Promedio	135
	No. de estudios	78
61-100	Promedio	102
	No. de estudios	58
101-140	Promedio	93
	No. de estudios	52
141-180	Promedio	75
	No. de estudios	78
181-220	Promedio	71
	No. de estudios	15
>220	Promedio	48
	No. de estudios	29

El examen detallado de los valores absolutos del FPP mostró que éste fue mayor durante la década de 1990 en comparación con la de 1970 y 1980 en todos los niveles de aplicación de N, a excepción de la categoría más baja (20 a 60 kg de N ha⁻¹) (**Tabla 1**). Los niveles de rendimiento también mostraron incrementos a través del tiempo a cualquier nivel de N, lo que implica que el cultivo demandó menos N durante la década de 1980 y aún menos durante la de 1990 para mantener el mismo nivel de rendimiento que el obtenido en la década de 1970. Esto ha sido posible gracias a la introducción de cultivares de alto rendimiento que son más eficientes en el uso de N como Kufri Badshah y Kufri Bahar durante la década de 1980 y Kufri Anand, Kufri Ashoka y Kufri Sutlej en la década de 1990 (Anonymous, 2001).

El análisis de la composición varietal en los experimentos conducidos durante las diferentes décadas mostraron que en los primeros años de la década de 1970 el cultivar precoz Kufri Chandramukhi y el cultivar Kufri Jyoti de madurez intermedia fueron evaluados en 67% de los experimentos, mientras que durante la década de 1980 y 1990 estos dos cultivares fueron evaluados en 62 y 42% de los experimentos, respectivamente. Estos dos cultivares tienen un menor potencial de rendimiento y un menor FPP (**Tabla 3**) que los otros cultivares importantes de papa evaluados en los experimentos. Estos otros cultivares tienen madurez intermedia (Kufri Jawahar y Kufri Bahar) o tardía (Kufri Badshah y Kufri Sindhuri) y niveles de rendimientos y FPP más altos en comparación con los cultivares Kufri Chandramukhi y Kufri Jyoti. La proporción de estos cultivares de alto rendimiento y de madurez intermedia y tardía en los experimentos se incrementó de 23% durante la década de 1980 a 42% en la de 1990. Por esta razón, el FPP tiende a incrementarse con el tiempo a niveles similares de N, condición que es un reflejo del comportamiento varietal.

La comparación del FPP de diferentes cultivares mostró grandes diferencias (**Tabla 3**). Sin embargo, el FPP de todos los cultivares mostró una tendencia a disminuir con el incremento de los niveles de N. En cuanto a las diferencias entre los cultivares, el Kufri Ashoka tuvo el FPP más alto (487) en el rango de 20 a 60 kg de N ha⁻¹, mientras que el Kufri Jyoti tuvo el menor FPP (392) a este nivel. A pesar de que el FPP disminuyó con el incremento en el nivel de N aplicado, la tasa de reducción varía con el cultivar.

Bajo las condiciones de India, la dosis óptima económica de N está generalmente en el rango de 181 a

Tabla 3. Factor de productividad parcial de N (kg de tubérculos kg⁻¹ de N aplicado) y rendimiento (t ha⁻¹) de algunos cultivares de papas populares en India.

Cultivar	Promedio	----- Rango de los niveles de N, kg ha ⁻¹ -----					
		20-60	61-100	101-140	141-180	181-220	>220
K. Chandra.	FPP	414	261	207	165	142	112
	Rendimiento de tubérculos	21.7	23.3	25.2	26.8	28.4	27.6
	No. de estudios	39	32	27	42	9	15
K. Jyoti	FPP	392	257	220	173	140	107
	Rendimiento de tubérculos	21.5	23.1	26.4	29.1	27.9	26.1
	No. de estudios	26	15	22	24	4	5
K. Sindhuri	FPP	451	254	230	185	195	135
	Rendimiento de tubérculos	26.9	23.3	27.7	30.8	39.0	31.6
	No. de estudios	10	11	12	11	2	4
K. Bahar	FPP	417	374	296	281	197	157
	Rendimiento de tubérculos	23.1	31.0	28.1	30.1	39.3	35.7
	No. de estudios	8	7	5	12	1	4
K. Ashoka	FPP	487	303	248	202	199	166
	Rendimiento de tubérculos	21.2	27.5	31.9	32.9	39.8	39.3
	No. de estudios	2	3	2	3	1	2
K. Badshah	FPP	444	387	229	207	202	152
	Rendimiento de tubérculos	26.7	31.4	27.5	33.6	40.4	35.6
	No. de estudios	5	5	4	9	1	6
K. Jawahar	FPP	428	372	233	176	-	140
	Rendimiento de tubérculos	22.3	33.5	29.4	31.7	-	35.0
	No. de estudios	3	1	3	3	-	3

220 kg de N ha⁻¹, y con esta dosis el cultivar Kufri Badshah tuvo el FPP más alto (202). Los cultivares Kufri Sindhuri, Kufri Jawahar y Kufri Ashoka no están muy atrás de este nivel, mientras que los cultivares Kufri Chandramukhi y Kufri Jyoti tuvieron un FPP muy bajo (142 y 140, respectivamente). Aún a niveles de N mayores a 220 kg ha⁻¹, los cultivares Kufri Badshah, Kufri Sindhuri, Kufri Jawahar y Kufri Ashoka tuvieron un FPP más alto que los cultivares Kufri Chandramukhi y Kufri Jyoti en el rango de 181 a 220 kg de N ha⁻¹.

Govindakrishnan et al. (1999) reportaron diferencias en la respuesta a N entre los cultivares. Estos investigadores encontraron que el cultivar Kufri Ashoka requiere de solo un tercio de la dosis de N aplicada al cultivar Kufri Chandramukhi para obtener el mismo nivel del rendimiento. Trehan (2004) también reportó que los cultivares Kufri Jawahar, Kufri Pukharaj, Kufri Sindhuri, Kufri Bahar y Kufri Sutlej tienen mejor eficiencia de uso de N que el Kufri Jyoti.

Con el transcurso de los años, los mejoradores de papa han desarrollado cultivares de alto rendimiento para poder explotar por completo los recursos climáticos incrementando a su vez la eficiencia de uso de N de estos nuevos cultivares. En consecuencia, la amplia adopción de estos cultivares por los agricultores

resultará en una mayor eficiencia en el uso de N.

Este estudio relevó que los cultivares de papa de alto rendimiento liberados regularmente en India son más eficientes en el uso de N que los cultivares viejos. En consecuencia, el objetivo de alcanzar más y más del rendimiento potencial no afectaría negativamente la eficiencia en el uso de N. Este estudio también resalta la utilidad del concepto del FPP para evaluar las implicaciones del desarrollo tecnológico en cualquier cultivo.

Los Drs. Dua, Govindakrishnan y Lal son agrónomos especialistas en papa y el Dr. Khurana fue el anterior Director del Instituto Central de Investigación de Papa en Shimla, Himachal Pradesh, India.

Bibliografía

- Anonymous, 2001. Annual Report 2000-2001, Central Potato Research Institute, Shimla, India.
- Cassman, K.G., et al. 1996. Field Crops Res. 47:1-12.
- Govindakrishnan, P.M., et al, 1999. Indian. J. Agril. Sci. 69:350-354.
- Trehan, S.P. 2004. Annual Report 2003-2004, Central Potato Research Institute, Shimla, India. ❖

RELACION DEL INDICE DE VERDOR CON LA APLICACION DE NITROGENO EN DIEZ HIBRIDOS DE MAIZ

Juan Pablo García¹ y José Espinosa²

Resumen

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción del cultivo del maíz en Colombia. Además, el contenido de N en la planta está asociado con el verdor en la hoja, en consecuencia, el índice de verdor podría utilizarse como herramienta para mejorar el manejo de N en los cultivos. El objetivo de esta investigación fue conocer los índices de verdor de diferentes híbridos de maíz utilizados en Colombia, en diferentes etapas fisiológicas para evaluar su uso como herramienta de apoyo para mejorar la eficiencia de uso del N en maíz. Los ensayos se establecieron en diferentes municipios de Colombia. El diseño estadístico utilizado fue de parcelas dos veces divididas organizadas en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El tratamiento principal fue la densidad de plantas, 55 000 y 65 000 plantas ha⁻¹, el sub tratamiento fueron los materiales genéticos (FNC 3056, FNC 514, FNC 114, DK 777, DK 234, SV 1127, P 30F83, DK 1040, DK 003, P 30F80) y el sub-sub tratamiento fueron cuatro niveles de N: 0, 75, 150 y 200 kg ha⁻¹. El índice de verdor se evaluó utilizando el Medidor de Clorofila SPAD-502 (MCF) y la Tabla de Comparación de Colores (TCC) desarrollada por el IRRI. En todas las localidades, el N incrementó significativamente la producción y las lecturas de índice de verdor realizadas con el MCF y la TCC presentaron correlaciones lineares altas. La eficiencia agronómica de N disminuyó significativamente cuando se incrementó la dosis de N.

Introducción

El N es el elemento nutritivo que más limita la producción del cultivo del maíz. En Colombia existen reportes de que la respuesta a la aplicación de N puede alcanzar hasta 7 t ha⁻¹ de grano. A pesar de que el maíz requiere cantidades altas de N, este nutriente es el que más fácilmente se pierde del agro-ecosistema. Por esta razón, un programa de manejo eficiente de N permite obtener incrementos significativos en la producción (Espinosa y García, 2008). Es común observar síntomas evidentes de la deficiencia de N en lotes comerciales de maíces jóvenes que presentan plantas de color verde amarillento de poco crecimiento. En plantas adultas, la deficiencia de N se presenta en las hojas maduras que pierden su color natural desde la punta hacia el limbo formando una "V" invertida de color amarillento,

mientras que los márgenes de las hojas mantienen su color verde. A medida que la deficiencia se hace más severa se produce el secamiento de todas las hojas adultas afectando seriamente la producción final de grano.

Un paso fundamental de un programa de manejo eficiente de N es el reconocer, durante el ciclo de crecimiento, si el cultivo presenta exceso o déficit de este nutriente. El número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera (que determinan la formación del número total de granos por mazorca) se definen durante las etapas vegetativas comprendidas entre V6 y V12 (Ritchie and Hanway, 1982).

El nivel nutricional, particularmente de N, que se presente durante este periodo es un importante regulador del número total de granos. El índice de verdor de las plantas depende en alta medida de la combinación entre el componente genético y el nivel de N absorbido. El objetivo del presente estudio fue determinar, en diferentes materiales genéticos, el índice de verdor para los estados fisiológicos comprendidos entre V6 y VT usando el MCF y la TCC (Witt et al., 2005) para evaluarlas como herramientas para manejo eficiente de N.

Materiales y métodos

Los ensayos se establecieron en los municipios de Obando, Buga, Bugalagrande, Bolívar, Montenegro, Concordia, Ibagué, San Juan, Espinal y Sabana de Torres en Colombia. El diseño estadístico utilizado fue de parcela dos veces dividida organizada en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El tratamiento principal fue la densidad de plantas, 55 000 y 65 000 plantas ha⁻¹, el sub tratamiento fueron los híbridos de maíz (FNC 3056, FNC 514, FNC 114, DK 777, DK 234, SV 1127, P 30F83, DK 1040, DK 003, P 30F80) y el sub-sub tratamiento fueron cuatro niveles de N: 0, 75, 150 y 200 kg ha⁻¹. En la **Tabla 1** se describe la distribución de los híbridos utilizados en cada una de las localidades.

Se tomaron lecturas del índice de verdor desde el estado de crecimiento V6 hasta VT, en la hoja más joven completamente expandida, utilizando el MCF y la TCC. Para las lecturas realizadas con la TCC entre los paneles 2 y 5 (**Figura 4**) se asumieron valores intermedios de 0.25, 0.50 y 0.75. Se eliminaron las

1 Director del Programa de Manejo de Suelos y Nutrición, FENALCE, Colombia. Correo electrónico: jgarcia@fenalce.org

2 Director del International Plant Nutrition Institute, IPNI. Oficina para el Norte de Latinoamérica. Correo electrónico: jespinoza@ipni.net

Tabla 1. Distribución por localidad de los híbridos de maíz utilizados en el estudio.

Localidad	Híbridos de Maíz									
	FNC 3056	FNC 514	FNC 114	DK 777	DK 234	SV 1127	P 30F83	DK 1040	DK 003	P 30F80
Obando			X					X	X	X
Buga	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Bugalagrande	X	X		X	X	X	X			
Bolívar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Montenegro	X	X		X	X	X	X			
Concordia	X	X		X	X	X	X	X	X	
Ibagué	X	X		X	X	X	X	X	X	
San Juan	X	X		X	X	X	X	X	X	
Espinal	X	X		X	X	X	X	X	X	
Sabana de Torres	X			X	X	X	X	X	X	

Tabla 2. Análisis de varianza por localidad del rendimiento de grano, eficiencia agronómica de nitrógeno e incremento de rendimiento (respuesta, diferencia de rendimiento entre la parcela con N y el de la parcela sin N) de los 10 híbridos de maíz evaluados en el estudio.

Localidad	Rendimiento, t ha ⁻¹			EAN ¹ (kg de grano kg ⁻¹ N aplicado)				Respuesta, t ha ⁻¹						
	D ²	H ³	N ⁴	D*H	D*N	N*H	D*H*N	D	H	N	D*H	D*N	N*H	D*H*N
Buga	**	**						**			**			
Bugalagrande	**	**						**			**			
Bolívar	**	**						**		**	**		**	
Obando	**	**						**			**			
Montenegro	**	**									**			
Concordia	*	**		*	**						**	**	**	*
Sabana de Torres	**	**	**	**	**			**	**	**	**	**	**	**
Ibagué	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Espinal	**	**	**	**	**			**			**	**	**	**
San Juan	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

¹ EAN, Eficiencia Agronómica de Nitrógeno (kg de grano kg⁻¹ N aplicado) ² Densidad ³ Híbrido ⁴ Nitrógeno
 * Significancia al 5% ** Significancia al 1%

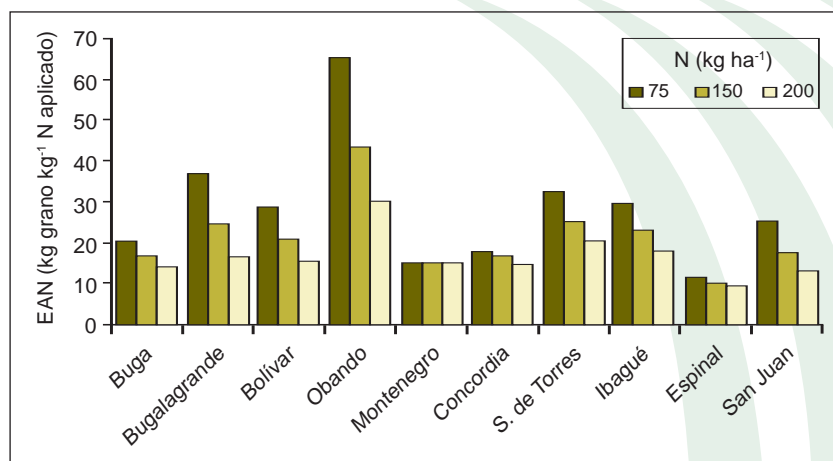


Figura 1. Efecto de la dosis en la eficiencia agronómica de N en diferentes localidades (promedio de los híbridos utilizados en cada localidad).

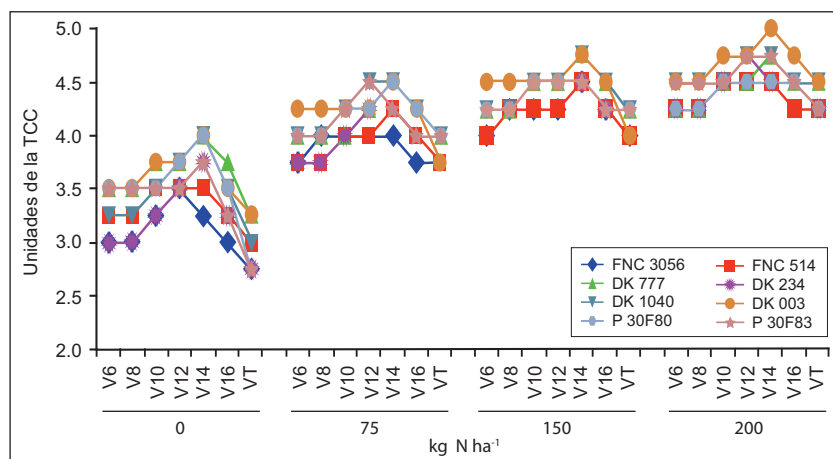
lecturas del MCF que reportaron valores superiores a 60 unidades SPAD. En cada parcela se tomaron cinco lecturas del MCF y la TCC.

Todas las parcelas recibieron una fertilización básica consistente en 100, 90, 50 y 60 kg ha⁻¹ de K₂O, P₂O₅, MgO y S, respectivamente. Las fuentes de potasio (K) fueron cloruro de potasio y sulpomag, las fuentes de

fósforo (P) fueron superfosfato triple (para las parcelas de nivel 0N) y fosfato diamónico y la fuente de azufre (S) y magnesio (Mg) fue sulpomag. La fertilización básica se aplicó a la siembra en forma de banda incorporada.

El área de cosecha de cada sub-sub parcela fue de 4.8 m² (dos surcos centrales de 3 m de largo). El rendimiento de grano fue corregido al 15.5% de humedad y se calificó el porcentaje de desgrane en cada sub-sub parcela. Se evaluó la eficiencia agronómica de N (EAN) (kg de grano producidos por kg de N aplicado) tomando como base el rendimiento obtenido en las sub-sub parcelas de 0N, el que indica el

rendimiento obtenido con el suplemento de N nativo del suelo, restando este valor del rendimiento para cada nivel de fertilización con N y dividiendo por la cantidad de N aplicado. La diferencia entre el rendimiento con cada nivel de N y el nivel de referencia se denominó la “respuesta”. El análisis estadístico se condujo utilizando PROC MIXED en el sistema SAS (SAS Inc., Cary, North Carolina).



relacionadas con el rendimiento. Por otro lado, las diferencias entre híbridos fueron significativas para todas las localidades y casi todas las variables analizadas, indicando las diferencias en el potencial de rendimiento obtenible controladas por la oferta ambiental. La producción de grano aumentó significativamente, en todas las localidades, con el incremento de N. La **Tabla 3** muestra los rendimientos de grano por híbrido y por dosis de N. El efecto simple del híbrido fue significativo en todas las localidades excepto en Obando. Los híbridos DK 003 en Buga y San Juan, P 30F83 en Montenegro e Ibagué, SV 1127 en Bugalagrande y Concordia, DK 1040 en Bolívar, FNC 514 en Espinal y DK 234 en Sabana de Torres obtuvieron rendimientos significativamente superiores a los restantes híbridos por localidad.

Las dosis de N afectaron significativamente la EAN (**Figura 1**) en todas las localidades excepto en Montenegro y Concordia. Los incrementos en la dosis de N redujeron los valores de EAN. En Obando se presentaron las mayores eficiencias por cada dosis de N, indicando que en este sitio existe un bajo suplemento de N nativo del suelo y en consecuencia una alta respuesta a la aplicación de este nutriente. Al contrario, en Espinal se obtuvieron los valores de EAN más bajos, valores que no superaron los 11 kg de grano kg⁻¹ N aplicado en ninguna de las dosis de N probadas. En todas las localidades, la respuesta en grano se vio afectada significativamente por la dosis de N, obteniéndose respuestas de hasta 13 t ha⁻¹ en Concordia con la dosis de 200 kg de N ha⁻¹.

En Sabana de Torres, Espinal e Ibagué, los híbridos DK 234, FNC 514 y FNC 3056 presentaron valores de EAN de 34, 21 y 31 kg de grano por kg de N aplicado, respectivamente. En San Juan, el híbrido DK 777 presentó valores de EAN de 6 kg de grano kg⁻¹ N aplicado.

El material genético y el N afectaron significativamente las lecturas con el MCF y la TCC en todas las localidades y en todas las etapas vegetativas. El incremento en las dosis de N aumentó los valores de las lecturas con el MCF y la TCC, sin embargo, la magnitud en los incrementos fue mayor cuando se aplicaron dosis de 75 y 150 kg de N ha⁻¹. Los incrementos obtenidos cuando se paso de 150 a 200 kg

Figura 2. Efecto del material genético y de la dosis de N en la variación de unidades de lectura de la TCC en diferentes estados fisiológicos del maíz. Buga, Colombia, 2007.

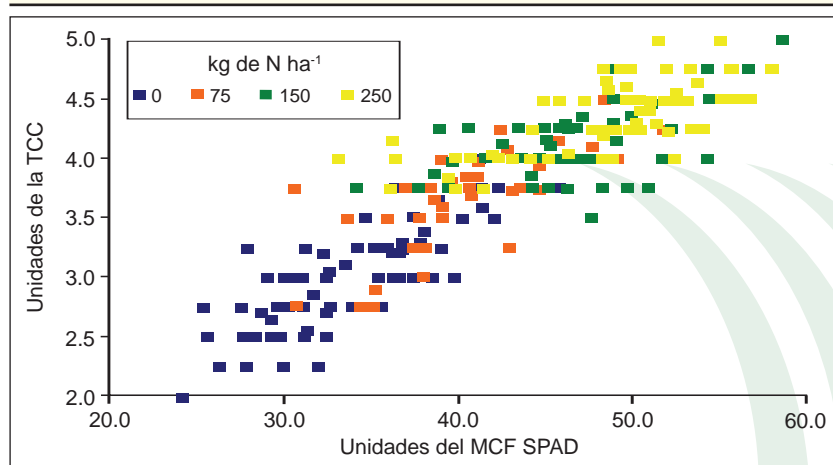


Figura 3. Correlación entre las unidades de lectura de la TCC y el MCF. Cada punto es el promedio de 10 lecturas.

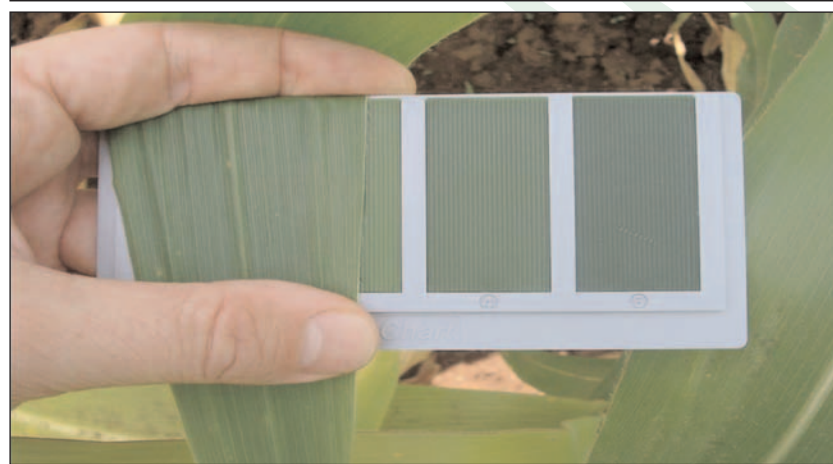


Figura 4. Tabla de Comparación de Colores (TCC) desarrollada por el IIRRI usada para medir el índice de verdor en maíz. Los valores intermedios entre unidades se estiman en intervalos de 0.25 unidades de cada panel.

Resultados

El análisis de varianza de los resultados experimentales de las diferentes localidades se presenta en la **Tabla 2**. La densidad de siembra no fue significativa, excepto en dos localidades y solamente con una de las variables

Tabla 3. Efecto de la dosis de N en el rendimiento de algunos híbridos comerciales sembrados en diferentes regiones de Colombia.

Híbrido	N kg ha ⁻¹	Buga	Bugalagrande	Bolívar	Obando	Montenegro	Concordia	S. Torres	Ibagué	Espinal	San Juan
		Rendimiento, t ha ⁻¹									
FNC 3056	0	6.21	4.42	4.98		5.17	6.07	1.88	2.24	3.96	5.39
	75	7.99	7.59	7.21		6.56	7.59	4.43	5.38	4.67	7.75
	150	8.20	7.74	8.09		8.67	8.44	5.28	6.82	5.15	8.24
	200	9.68	8.30	9.37		10.75	9.19	6.81	7.50	7.37	8.74
FNC 514	0	5.49	4.25			5.90	5.91		1.56	4.31	5.20
	75	7.33	7.06			6.69	7.50		4.40	6.05	7.05
	150	9.17	9.17			7.90	9.91		5.64	7.90	7.35
	200	10.12	8.85			9.66	10.27		6.87	8.31	7.88
FNC 114	0				1.76						
	75				5.59						
	150				7.67						
	200				8.23						
DK 777	0	6.07	4.24			3.91	7.70	2.05	2.58	4.28	5.24
	75	7.67	6.35			4.82	8.84	4.77	3.82	4.54	5.25
	150	8.05	7.69			5.54	10.05	6.36	4.46	5.78	6.84
	200	9.00	8.20			6.44	11.91	7.66	5.37	6.83	7.07
DK 234	0	6.29	4.97			4.39	6.69	2.31	1.67	5.18	4.93
	75	7.58	6.89			5.42	7.25	5.32	4.18	5.67	6.33
	150	8.36	7.46			6.48	9.27	6.91	6.15	6.30	7.16
	200	10.13	9.20			7.52	9.21	9.66	7.11	6.79	8.62
DK 1040	0	8.31		6.57	0.70		6.74	1.33	2.16	4.85	5.10
	75	9.35		7.68	5.71		7.61	3.70	4.96	5.50	7.28
	150	10.23		9.92	7.58		9.52	4.95	5.67	5.81	8.16
	200	11.39		10.92	9.83		10.35	5.96	6.49	6.30	9.00
DK 003	0	8.10		6.43	1.00		7.23	1.88	2.38	3.85	5.30
	75	9.90		8.65	6.34		8.93	3.26	4.03	4.43	8.00
	150	10.56		9.20	8.08		9.03	4.85	5.88	4.96	8.41
	200	10.92		9.48	8.71		11.24	5.23	7.23	5.46	9.00
P 30F80	0	6.29		4.65	1.35			3.05	2.87	4.15	5.51
	75	8.13		7.69	6.71			4.89	4.18	5.09	7.56
	150	9.59		7.97	7.74			6.61	4.52	6.32	7.84
	200	10.00		8.11	8.38			8.22	6.04	7.25	8.31
P 30F83	0	6.49	5.19			6.83	7.69		2.9	4.64	4.69
	75	7.54	8.36			8.14	9.43		5.21	5.02	7.29
	150	8.90	9.50			8.91	10.05		7.16	5.24	8.58
	200	10.07	9.26			10.3	9.81		8.14	5.54	9.05
SV 1127	0		5.38			5.19	7.36	1.83			
	75		8.67			6.48	8.81	4.94			
	150		9.06			7.10	10.69	5.81			
	200		9.72			8.83	12.91	7.08			

de N ha⁻¹ fueron mínimos. Adicionalmente, los híbridos FNC 3056 y FNC 514 presentaron los valores más bajos en las lecturas con el MCF y la TCC cuando no se aplicó N y el híbrido DK 777 fue el que presentó los mayores valores en ausencia de N. Con las dosis altas de N, los híbridos DK 777 y DK 003 presentaron los valores más altos en unidades del MCF y de la TCC y los híbridos FNC 3056 y FNC 514 los más bajos.

Los valores de índice de verdor expresados en unidades del MCF y de la TCC para la localidad de Buga se presentan en la **Tabla 4** y las curvas de índice de verdor

medidas con la TCC se presentan en la **Figura 2**.

La tendencia de las curvas para cada una de las medidas de índice de verdor fue similar, alcanzando los valores máximos entre las etapas vegetativas comprendidas entre V12 y V14 y mínimas entre VT y V6. Sin embargo, la magnitud de los valores fue diferente para cada material genético.

En general, la correlación entre los valores de las lecturas con el MCF y la TCC es alta como se observa en la **Figura 3**, indicando que la TCC es una herramienta

Tabla 4. Efecto del material genético y la dosis de N en los valores de las lecturas con la TCC y el MCF (SPAD) en diferentes estados fisiológicos del maíz. Buga, Colombia, 2007.

Híbrido	N kg ha ⁻¹	----- Unidades TCC -----							----- Unidades SPAD -----						
		V6	V8	V10	V12	V14	V16	VT	V6	V8	V10	V12	V14	V16	VT
FNC 3056	0	3.00	3.00	3.25	3.50	3.25	3.00	2.75	36.2	36.8	37.7	38.2	37.6	35.2	33.6
	75	3.75	4.00	4.00	4.00	4.00	3.75	3.75	43.0	44.2	45.6	46.6	46.9	45.2	44.7
	150	4.00	4.25	4.25	4.25	4.50	3.25	4.00	48.4	48.9	49.0	48.6	53.1	50.2	48.7
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	49.1	48.9	48.9	50.7	52.8	51.9	49.7
FCN 514	0	3.25	3.25	3.50	3.50	3.50	3.25	3.00	36.6	37.2	37.8	39.3	36.5	32.7	31.9
	75	3.75	3.75	4.00	4.00	4.25	4.00	3.75	42.8	43.5	44.7	47.0	48.4	47.2	46.1
	150	4.00	4.25	4.25	4.25	4.50	4.25	4.00	47.2	47.5	47.8	49.7	52.2	51.4	49.8
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	48.9	49.2	50.6	49.7	51.7	51.0	50.9
DK 777	0	3.50	3.50	3.75	3.75	4.00	3.75	3.25	39.5	39.8	40.2	42.4	46.0	44.2	41.1
	75	4.00	4.00	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	45.3	46.7	47.0	51.2	53.6	52.8	51.4
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.25	49.9	50.6	51.0	52.2	54.9	53.2	52.7
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.50	51.2	51.9	52.8	52.8	55.9	54.9	53.8
DK 234	0	3.00	3.00	3.25	3.50	3.75	3.25	2.75	35.3	36.7	38.8	38.9	39.6	38.7	34.2
	75	3.75	3.75	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	42.1	44.2	45.3	47.9	50.7	48.7	47.1
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	47.4	49.7	51.2	51.2	53.1	51.7	50.9
	200	4.25	4.25	4.50	4.75	4.50	4.50	4.25	50.3	51.0	52.8	53.5	53.7	52.1	51.0
DK 1040	0	3.25	3.25	3.50	3.75	4.00	3.50	3.00	38.7	39.1	40.6	43.0	42.6	41.4	41.0
	75	4.00	4.00	4.25	4.50	4.50	4.25	4.00	45.0	45.5	46.8	51.8	54.0	52.7	51.9
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.25	49.5	48.3	49.0	54.4	55.4	53.7	52.7
	200	4.50	4.50	4.50	4.75	4.75	4.50	4.50	51.9	51.4	51.8	54.5	55.0	54.2	53.2
DK 003	0	3.50	3.50	3.75	3.75	4.00	3.50	3.25	37.6	38.5	39.6	42.0	42.4	40.0	38.7
	75	4.25	4.25	4.25	4.25	4.50	4.25	3.75	47.6	49.3	51.8	52.8	53.5	52.1	50.9
	150	4.50	4.50	4.50	4.50	4.75	4.50	4.00	52.5	53.0	53.8	55.2	57.0	56.4	53.2
	200	4.50	4.50	4.75	4.75	5.00	4.75	4.50	54.1	55.1	56.0	58.1	57.0	55.2	54.1
P 30F80	0	3.50	3.50	3.50	3.75	4.00	3.50	2.75	37.5	37.8	38.0	40.3	41.5	38.4	36.8
	75	4.00	4.00	4.25	4.25	4.50	4.25	4.00	45.4	46.1	46.9	50.7	52.7	51.0	48.7
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	49.6	49.7	50.5	52.8	55.2	53.2	51.0
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.50	4.25	50.8	52.4	53.7	53.7	54.3	53.2	52.0
P 30F83	0	3.50	3.50	3.50	3.50	3.75	3.25	2.75	37.7	38.1	39.1	40.3	40.7	40.0	37.6
	75	4.00	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	4.00	45.5	46.0	47.1	52.1	49.9	47.6	45.0
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	50.5	51.0	51.8	54.8	51.3	51.0	49.0
	200	4.50	4.50	4.50	4.75	4.75	4.50	4.25	52.7	52.9	53.8	57.6	54.6	53.4	52.7
	D ¹								**	**	**				
	N ³	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	H ²	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	D*N	**		**					**	**	**	**			
	D*H			**											
	H*N			**		**						**			
¹ Densidad	² Híbrido	³ Nitrógeno	** Significancia al 1%												

válida en el diagnóstico del índice de verdor del cultivo del maíz. Las lecturas del índice de verdor pueden entonces utilizarse como herramienta de apoyo para ajustar las aplicaciones fraccionadas de N durante el periodo de mayor sensibilidad al estrés por falta de N que se ubica entre los estados fenológicos de V6 y V12.

Datos de estudios de fraccionamiento de N conducidos en Colombia han demostrado que se logra mayor eficiencia de uso de N aplicando 20% del N a la siembra,

40% a V6 y 40% a V10. Usando la TCC de colores se puede ajustar la cantidad de N a aplicarse, si la lectura a V6 es mayor a 4 se debe aplicar la cantidad de N definida y que corresponda al 40% del total de N, lo mismo sucede a V10 si la lectura de la TCC es más de 3.5. Si las lecturas con la TCC son menores a 4.0 en V6 y menos que 3.5 en V10 es aconsejable utilizar un 10% más de la cantidad de N requerida para esa aplicación.

Conclusiones

El conocimiento del estado nutricional del maíz, particularmente el del N, en las diferentes etapas vegetativas del cultivo es importante para el productor que desea utilizar el N aplicado con los fertilizantes en forma eficiente. Las lecturas del índice de verdor utilizando la TCC en las etapas más susceptibles a estrés por falta de N (V6 a V12) permiten afinar la dosis de N a ser aplicada y consecuentemente incrementa la EAN. En este periodo es cuando se determinan el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera, factores determinantes en la producción final del cultivo. En general, índices de verdor superiores a 4 indican suficiencia de N y valores iguales o superiores a este en

el estado vegetativo V12 garantizan rendimientos altos si las condiciones climáticas son adecuadas en los estados reproductivos comprendidos entre R1 y R3, etapas donde se determina el peso final del grano.

Bibliografía

- Espinosa, J., and J.P. García. 2008. High fertilizer prices: what can be done. *Better Crops* 92(3):8-10.
- Ritchie, S.W., and J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- Witt, C., J.M.C.A. Pasuquin, R. Mutters, and R.J. Buresh. 2005. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. *Better Crops With Plant Food* 89(1):36-39. ❖

Las MPM de los fertilizantes nitrogenados...

Bibliografía

- Fixen, P.E. 2007. Can we define a global framework within which fertilizer best management practices can be adapted to local conditions? pp. 77-86. *In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.
- Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008a. Nitrogen fertilization effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. pp. 28-33. *In Proc. of 2008 Great Plains Soil Fertility Conference*, March 4-5, 2008, Denver, CO.
- Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008b. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.* (accepted for publication).
- Harrison, R. and J. Webb. 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Adv. Agron.* 73:65-108.
- Hoeft, R.G. 1984. Current status nitrification inhibitor use in U.S. Agriculture. Ch. 37 pp. 561-570. *In Nitrogen in Crop Production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Jones, C.A., R.T. Koenig, J.W. Ellworth, B.D. Brown, and G.D. Jackson. 2007. Management of urea fertilizer to minimize volatilization. EB 173. Montana State University Extension and Washington State University Extension.
- Kissel, D.E. 1988. Management of urea fertilizer. North Central Region Extension Publication. #326. Kansas State University. Manhattan, KS.
- McSwiney, C.P. and G.P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biology*. 11:1712-1719.
- Merchan-Paniagua, S. 2006. Use of slow-release N fertilizer to control nitrogen losses due to spatial and climatic differences in soil moisture conditions and drainage in claypan soils. M.S.Thesis. 104 pp. University of Missouri-Columbia.
- Motavalli, P.P., K.W. Goynes, and R.P. Udawatta. 2008. The environmental impacts of enhanced efficiency nitrogen fertilizer. *Crop Management* (in review). Plant Management Network. St. Paul, MN.
- Parkin, T.B. and T.C. Kaspar. 2006. Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the Midwest. *J. Environ. Qual.* 35:1496-1506.
- 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: General Principles. Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.
- Schmidt, E.L. 1982. Nitrification in soil. pp. 253-288. *In F.J. Stevenson* (ed.) *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.
- Shaviv, A. 2000. Advances in controlled release fertilizers. *Advances in Agronomy* 71:1-49.
- Snyder, C.S. and T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. 4 pp. International Plant Nutrition Institute. June 2007. Reference # 07076. Norcross, GA, U.S.A. (www.ipni.net).
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, and T.L. Jensen. 2007. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influences of fertilizer management – a literature review. International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, U.S.A. (<http://www.ipni.net/ppiweb>)
- Trenkel, M.E. 1997. Improved Fertilizer Use Efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizer in agriculture. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. (www.fertilizer.org)
- Wolt, J.D. 2004. A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in Midwestern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69:23-41. ❖

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

EFFECTO DE LA APLICACION DE SILICATO Y CARBONATO EN LA NUTRICION, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA PAPA BAJO CONDICIONES DE ESTRES

Pulz, A.L., C.A. Costa, L.B. Lemos e R. Peres. 2008. Influencia de silicato e carbonato na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. R. Bras. Ci. Solo, 32:1651-1659.

La aplicación de silicato de Ca y Mg puede reducir la acidez del suelo y aumentar la disponibilidad de Ca, Mg, P y Si para las plantas. Aun cuando el Si no es un elemento esencial, su aplicación es beneficiosa para el crecimiento y desarrollo de la planta, principalmente bajo condiciones de estrés. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la nutrición, rendimiento y calidad de la papa en suelos enmendados con carbonato y silicato, bajo dos condiciones de humedad en el suelo. Los tratamientos consistían en la aplicación de cal dolomítica y silicato de Ca y Mg en dosis calculadas para elevar la saturación de bases a 60% y a dos tensiones de agua en el suelo: 0.020 MPa (sin estrés de agua) y 0.050 MPa (estrés de humedad). El experimento se condujo en un invernadero Botucaçu, Sao Paulo, Brasil en macetas que contenían 50 kg dm⁻³ de un suelo Acrortox. Se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial de 2 x 2 con 8 repeticiones. El estrés de humedad tuvo poco efecto en la nutrición de la papa, pero redujo marcadamente el rendimiento de tubérculos. La aplicación de silicato de Ca y Mg logró el mismo efecto de enmienda que la cal dolomítica logrando además mayor disponibilidad P y Si en el suelo y

mayor absorción de estos nutrientes en este oxisol desilicificado. El suplemento de Si produjo mayor altura de plantas, redujo el volcamiento y produjo mayores rendimientos.

EFFECTO DE LA APLICACION DE NITROGENO Y POTASIO EN BANANA USANDO FERTIGACION Y FERTILIZACION CONVENCIONAL EN EL ESTADO NUTRICIONAL DE LA PLANTA Y LA PRODUCCION DE FRUTO

Teixeira, L.A.J, W. Natale, and A.L.M., Martins. 2007. Nitrogen and potassium application on banana plant by fertigation and conventional fertilization-nutritional - status of banana plants and fruit production. Revista Brasileira de Fruticultura. 29(1):153-160.

Se condujo un experimento de campo en Pindorama, Estado de Sao Paulo, Brasil, con el objetivo de investigar los efectos de las aplicaciones de N y K a través de fertigación y fertilización convencional en plantas de banana durante dos ciclos de cultivo. Se evaluaron el crecimiento de la planta, estado nutricional y la producción de frutos. La fertilización acortó el ciclo productivo. Los fertilizantes aplicados por fertigación o fertilización convencional cambiaron el contenido de N y K en la hoja. La producción de frutos varió en función del tratamiento en los dos ciclos de cultivo. La producción de frutos (t ha⁻¹ año⁻¹) obtenida con el 80% de las dosis de N y K en fertigación fue comparable con la producción de frutos obtenidos con el 100% de la dosis de fertilizante aplicado de manera convencional.

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. Conferencia Latinoamericana de Fertilizantes 2009

Organiza : British Sulphur
Lugar y Fecha : Panamá - Panamá
 Enero 18-20, 2009
Información : British Sulphur
 Tel.: 44 20 7903 2410
www.crugroup.com/events
sandra.napientek@cruproup.com

2. XVIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo

Organiza : UNESUR
Lugar y Fecha : Santa Bárbara de Zulia
 Venezuela
 Marzo 9-13, 2009
Información : UNESUR
 Tel.: 424 719 7817
svcs@svcs.org.ve
www.svcs.org.ve/eventos.htm

3. XVI Coloquio Internacional de Nutrición de Plantas

Organiza : IPNC
Lugar y Fecha : Sacramento, California,
 USA
 Agosto 26-30, 2009
Información : IPNC
<http://ipnc.ucdavis.edu/>
IPNC@plantsciences.ucdavis.edu

4. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - ACCS
Lugar y Fecha : San José - Costa Rica
 Noviembre 16 - 20, 2009
Información : SLCS - ACCS
 Tel.: 506 2253 7631
 Fax.: 506 2253 2932
info@clacs2009.com
www.clacs2009.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