HERRAMIENTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE USO DE NUTRIENTES EN MAIZ

José Espinosa[1] y Juan Pablo García[2]

Introducción

En América Latina se cultivan anualmente millones de hectáreas de maíz, pero solamente Brasil y Argentina producen suficiente grano para exportarlo en forma constante. En los países ubicados en las zonas tropicales de América el grano se emplea para consumo de la población y para suministrar insumos a sectores avícolas, ganaderos y agroindustriales. Desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de fuentes de trabajo, este cultivo es estratégico para todos los países de la región. Hasta hace poco tiempo el cultivo del maíz en las áreas tropicales de América no era visto con mucho interés por diversos sectores debido a la posibilidad de importar grano a bajo precio. Los costos de producción locales son relativamente altos debido, en la mayoría de los casos, a los bajos rendimientos consecuencia de la poca tecnología de producción. La agresiva campaña de producción de etanol en Norteamérica en el año 2008 redujo significativamente la oferta de grano en el mercado internacional, logrando que los precios del grano suban apreciablemente y que la posibilidad de importar grano se haga difícil. Esto representaba una excelente oportunidad para los productores de maíz locales que finalmente podían ver a la producción de maíz como un negocio rentable. Sin embargo, los precios internacionales de maíz se redujeron nuevamente debido a la crisis económica que afectó el mundo durante el año 2009. Es consenso general que difícilmente los precios del maíz llegarán a los precios récord alcanzados en el año 2008, pero también se considera que los precios tampoco bajarán a los niveles vistos a inicios de esta década. El efecto de toda esta conmoción económica en el precio y disponibilidad del grano dejó inquietudes entre los gobiernos de la región. Quizá la inquietud más preocupante era la posibilidad real de sufrir desabastecimientos que pondrían en peligro la seguridad alimentaria de varios países de la región. Este hecho ha estimulado el desarrollo de programas agronómicos y de mercadeo en organizaciones gubernamentales y privadas que buscan incrementar rendimientos y lograr rentabilidad con el cultivo de maíz. La única forma como los agricultores pueden transformar la producción de maíz en una actividad rentable y sostenible es incrementando la producción a niveles competitivos.

En los países de América tropical, el cultivo de maíz ha tenido problemas de productividad que se atribuyen a la pérdida de fertilidad del suelo, al uso de variedades de baja producción o al mal uso de los nuevos híbridos de gran potencial de rendimiento. Sin embargo, se ha demostrado con investigación en varios sitios en América tropical que los rendimientos se pueden incrementar apreciablemente con el uso de adecuada tecnología en el manejo general del cultivo, particularmente con el manejo de la población y la nutrición (Espinosa y García, 2008).

La experiencia de trabajo de campo en los últimos años ha demostrado que las recomendaciones de fertilización utilizadas en la producción de maíz no logran satisfacer adecuadamente las necesidades nutritivas de los cultivos para lograr rendimientos altos y rentables. Estas recomendaciones a menudo consisten en una dosis predeterminada de nutrientes para una vasta área de producción. Estas recomendaciones asumen que la necesidad de nutrientes es igual para grandes áreas de producción sin tomar en cuenta las diferencias de clima y suelo.

El crecimiento vegetativo y el potencial de acumular rendimiento, y en consecuencia la necesidad de suplementar nutrientes, varían con las condiciones climáticas de los diferentes sitios donde se cultiva maíz. Esto es particularmente cierto en las zonas productoras de maíz de América tropical donde las diversas condiciones de clima resultan en diferentes condiciones de crecimiento y en consecuencia en diferente potencial de rendimiento. En áreas tropicales, el efecto de la latitud y la altitud en el clima es un factor de fundamental importancia en la acumulación de rendimiento y estas condiciones cambian en cortas distancias. Si las recomendaciones de fertilización se basan solamente en el análisis de suelos, esta herramienta no puede detectar el efecto del clima en la magnitud del rendimiento y la necesidad total de nutrientes.

Manejo de nutrientes por sitio específico

El manejo de nutrientes en maíz en América tropical puede beneficiarse de nuevos métodos para desarrollar recomendaciones de fertilización que permitan ajustes en la aplicación de nutrientes que se acomoden a las necesidades específicas de cada región agroclimática y que hagan uso eficiente de los nutrientes aplicados. Una de estas metodologías es el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE). El MNSE es una metodología que busca entregar nutrientes a la planta como y cuando los necesita. Esta forma de manejo permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes para llenar afectivamente el déficit que ocurre entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el

[1] Director de la Oficina para el Norte de Latino América del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: jespinosa@ipni.net

[2] Federación Nacional de Cultivadores de Cereales de Colombia (FENALCE). Correo electrónico: juanpagar@yahoo.com

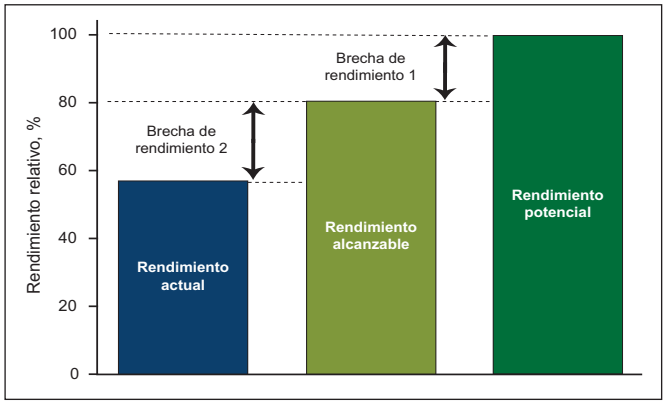

Figura 1. Representación esquemática del rendimiento potencial, rendimiento alcanzable y las brechas de rendimiento (Adaptado de Haishun et al., 2006).

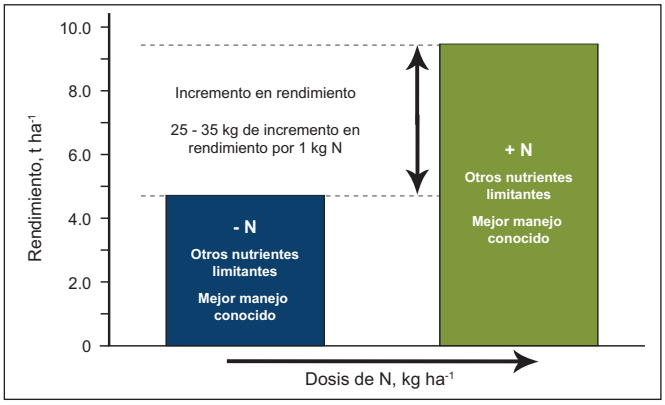

Figura 2. Representación esquemática de la determinación de las dosis de nutrientes utilizando la técnica de las parcelas de omisión (Witt et al., 2006).

aporte de los nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. Este déficit debe ser compensado con la aplicación de fertilizantes. Con esta forma de manejo se busca aplicar los nutrientes en dosis óptimas y al momento adecuado para obtener altos rendimientos y alta eficiencia de uso de los nutrientes por el cultivo. Para implementar un programa de MNSE es necesario seguir los tres pasos que se discuten a continuación:

Determinación del rendimiento potencial y del rendimiento alcanzable

La determinación del rendimiento potencial en condiciones ideales se logra utilizando modelos que simulan el crecimiento asumiendo condiciones óptimas para el cultivo. El rendimiento potencial se define como el rendimiento de un cultivo que crece en un ambiente al cual está adaptado, sin limitaciones de nutrientes y agua y con un efectivo control de plagas, enfermedades y malezas (Evans, 1993). Por esta razón, el rendimiento potencial de una variedad o híbrido, en un ambiente específico de crecimiento, está determinado por la cantidad de radiación solar, temperatura y densidad de siembra (que controla la tasa a la cual las hojas se desarrollan bajo una particular condición de radiación solar y temperatura). Uno de los modelos de simulación más versátiles es el Hybrid Maize desarrollado por la Universidad de Nebraska (Haishun et al., 2006).

Las decisiones de manejo, como la elección del material genético a sembrarse, la fecha de siembra y la población pueden afectar el potencial de rendimiento en un sitio específico al afectar la utilización de la luz solar disponible y las reservas de humedad en el suelo durante el ciclo de producción. El potencial de rendimiento también fluctúa de año a año debido a la normal variación de la radiación solar y de la temperatura.

Como se ha mencionado anteriormente, para alcanzar el rendimiento potencial el cultivo debe tener un suplemento óptimo de agua y nutrientes y debe estar completamente protegido del ataque de plagas y enfermedades, invasión de malezas y de la incidencia de otros factores que puedan afectar el crecimiento. Es obvio que estás condiciones muy raras veces se encuentran en el campo, sin embargo, la determinación del rendimiento potencial de un sitio es un excelente marco de referencia que ayuda a identificar la magnitud de las brechas de rendimiento.

La diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzable dimensiona la primera brecha de rendimiento. El rendimiento alcanzable para el sitio se logra utilizando toda la tecnología disponible para eliminar los factores limitantes, ya sea conduciendo investigación de campo o por compilación de datos del rendimiento obtenido en lotes de productores con muy buen manejo. Esta brecha será tan grande como lo determine el efecto del manejo en el rendimiento. El rendimiento alcanzable demostrado en un sitio establece la meta de rendimiento de áreas homogéneas (dominio de recomendación) en el siguiente ciclo de producción. Con lo aprendido en el primer ciclo se afina el manejo para incrementar el rendimiento obtenible y reducir la primera brecha de rendimiento. Esto no solamente permite lograr más rendimiento, sino que permite una mejor eficiencia de utilización de los nutrientes y de otros insumos. El proceso continúa en los siguientes ciclos.

Es importante determinar el rendimiento alcanzable para cada dominio de recomendación porque la cantidad de nutrientes absorbida por el cultivo está directamente relacionada con el rendimiento. En otras palabras, el rendimiento alcanzable determina la cantidad total de nutrientes que el cultivo debe absorber para obtener ese rendimiento y establece claramente la real demanda de nutrientes. Esta información es imprescindible para desarrollar la recomendación de fertilización. El análisis de suelos no permite este tipo de análisis.

La segunda brecha de rendimiento es la que se produce entre el rendimiento actual de los agricultores en el campo y el rendimiento potencial y el rendimiento alcanzable. La meta final del MNSE es lograr que los productores reduzcan la brecha de rendimiento y logren acercarse con sus rendimientos al rendimiento alcanza-

ble en un sitio. El esquema conceptual de las brechas de rendimiento se presenta en la **Figura 1** y en la **Tabla 1** se presenta el rendimiento potencial, rendimiento obtenible y el rendimiento actual de varios sitios localizados en importantes áreas de producción de maíz en América tropical.

Determinación del aporte de nutrientes provenientes del suelo

El MNSE hace uso efectivo de los nutrientes nativos del suelo. El suplemento de nutrientes nativos del suelo es aquel que proviene de otras fuentes menos los fertilizantes (materia orgánica, residuos del cultivo, agua de riego, etc.). La evaluación del aporte de los nutrientes nativos del suelo se logra mediante la técnica de las parcelas de omisión. Esta técnica determina el suplemento de nutrientes nativos del suelo por su acumulación en el cultivo sin fertilizar con el nutriente de interés, pero fertilizado en cantidades suficientes con los otros nutrientes para asegurarse que la ausencia de éstos no limite el rendimiento.

Determinación de las dosis de nutrientes necesarias para completar el déficit entre las necesidades del cultivo y el suplemento de nutrientes nativos del suelo

Para establecer la meta de rendimiento es necesario aplicar fertilizantes para completar los requerimientos de nutrientes del cultivo que no son satisfechos por los nutrientes nativos del suelo. La dosis total de un nutriente aplicado con los fertilizantes depende del déficit entre la necesidad total del nutriente para obtener la meta de rendimiento y el suplemento del nutriente proveniente del suelo, determinado en la respectiva parcela de omisión. El esquema presentado en la **Figura 2** se resume los pasos necesarios para determinar las dosis de nutrientes utilizando la técnica de las parcelas de omisión (Witt et al., 2006).

Tabla 1. Rendimiento potencial determinado utilizando el Modelo de Simulación Hybrid Maize (Haishug et al., 2006) y rendimiento obtenible determinado por investigación de campo en algunos sitios en América Latina.

Sitio	Rend. potencial[4]	Población simulada[5]	Rend. alcanzable[6]	Población real[7]	Altitud	Tipo de suelo	Textura	Híbrido	Fecha siembra[8]	Madurez fisiológica
	t ha^{-1}	Plantas ha^{-1}	t ha^{-1}	Plantas ha^{-1}	msnm					días
Granada[1]	8.10	75 000	4.41	60 000	322	Inceptisol	F	FNC3056	04-abr	87
Campoalegre[1]	8.50	75 000	6.84	75 000	526	Inceptisol	FA	FNC3056	04-abr	92
Obando[1]	8.90	75 000	7.74	75 000	940	Mollisol	F Ar	P 30F80	18-sep	91
Cañaveral[1]	9.30	75 000	5.56	55 000	222	Inceptisol	F Ar	FNC514	25-ago	85
Sopetran[1]	9.50	75 000	5.06	70 000	588	Vertisol	F Ar	FNC3056	26-mar	88
Espinal[1]	9.60	75 000	6.17	60 000	367	Inceptisol	FA	FNC3056	26-mar	90
Aguachica[1]	10.50	75 000	6.84	70 000	211	Inceptisol	ArA	FNC3056	16-mar	79
Bolívar[1]	10.52	75 000	9.61	70 000	1 052	Entisol	Ar	FNC3056	24-abr	94
Pichilingue[2]	11.90	75 000	8.95	70 000	86	Andisol	F	AG-003	26-dic	105
Gualipe[2]	12.10	75 000	10.86	70 000	131	Andisol	F	AG-003	12-ene	110
Come Gallo[2]	11.80	75 000	10.92	70 000	92	Andisol	F	AG-003	09-ene	110
Cereté[1]	11.20	75 000	5.33	60 000	30	Inceptisol	Ar	FNC3056	15-abr	89
Buga[1]	11.50	75 000	6.20	75 000	946	Mollisol	Ar	FNC514	30-sep	92
Villanueva[1]	11.50	75 000	5.00	55 000	221	Inceptisol	F Ar	FNC514	23-ago	86
Toluca[3]	13.74	75 000	10.00	75 000	2 372	Inceptisol	F Ar	H-47	26-may	140
Bugalagrande[1]	13.86	75 000	9.90	75 000	940	Mollisol	Ar	FNC3056	16-abr	95
Palestina[1]	14.10	75 000	13.51	60 000	1 690	Vertisol	F	FNC3056	08-sep	120
Montenegro[1]	15.50	75 000	8.11	65 000	1 224	Inceptisol	F	FNC514	20-sep	105
Celaya[3]	24.00	120 000	17.00	120 000	1 800	Vertisol	F Ar	DK-2027	30-abr	150

[1] Colombia
[2] Ecuador
[3] México
[4] Rendimiento potencial calculado usando el modelo de simulación Hybrid Maize y los datos climáticos de la NASA, promedio de 10 años
[5] Población utilizada en la simulación
[6] Rendimiento alcanzable en campo con la tecnología disponible
[7] Población en los experimentos de campo
[8] Todos los sitios son cultivo de temporal con excepción de Celaya que es totalmente irrigado

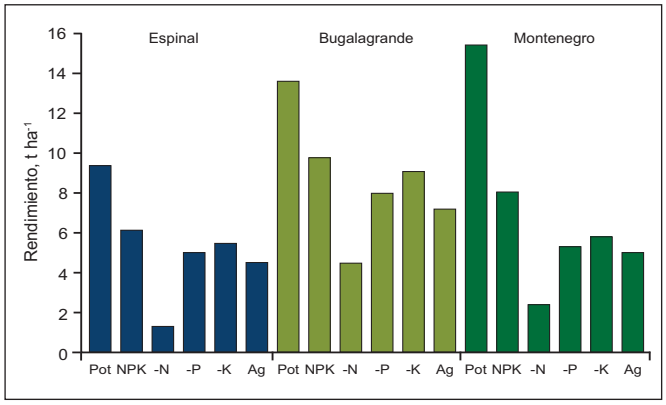

Figura 3. Rendimiento potencial, rendimiento alcanzable, rendimiento de las parcelas de omisión de N, P, K y rendimiento del agricultor en tres sitios con diferente clima en Colombia.

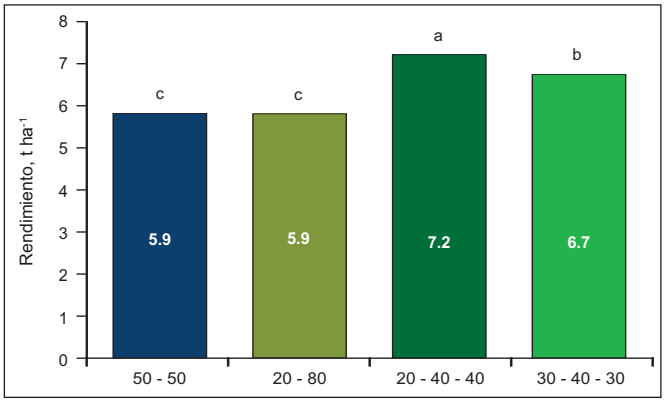

Figura 4. Análisis combinado del efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N, a través de localidades, en el rendimiento del híbrido FNC 3056 en Colombia.

Discusión del concepto de MNSE con ejemplos puntuales

Como se ha mencionado anteriormente, el MNSE es un método basado en la planta que utiliza la técnica de las parcelas de omisión para determinar el rendimiento obtenible con las reservas del suelo (parcelas de omisión) y el rendimiento alcanzable cuando no existe limitación de nutrientes. El rendimiento alcanzable sin limitación de nutrientes pasa a ser la meta de rendimiento para el siguiente ciclo de crecimiento. Los requerimientos de nitrógeno (N) se calculan entonces de la diferencia de rendimiento entre la parcela de tratamiento completo y la parcela de omisión de N basándose en una eficiencia agronómica de N (EA_N) de 25 a 35 (EA_N = kg de grano por kg de N utilizado). Los requerimientos de fósforo (P) y potasio (K) se calculan basándose en la meta de rendimiento, respuesta en rendimiento a la aplicación del nutriente y remoción del nutriente. La recomendación obtenida en ese ciclo de producción es probada y ajustada en el siguiente ciclo de producción junto con otras prácticas de manejo (población, fraccionamiento de nutrientes, etc.) que pueden mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Sin embargo, esta dosis puede ser usada por los agricultores localizados en el dominio de recomendación del sitio del experimento como una primera aproximación para evaluar una recomendación que se basa en una meta de rendimiento alcanzable para el sitio. Este es un método simple pero efectivo que permite obtener rendimientos altos y rentables en áreas donde no se utiliza con regularidad el análisis de suelos. Un ejemplo de la utilización del método en Colombia se presenta a continuación.

En la **Figura 3** se presenta el rendimiento potencial calculado con los datos climáticos de la NASA, el rendimiento con el tratamiento completo (rendimiento alcanzable), el rendimiento de las parcelas de omisión de N, P y K y el rendimiento del agricultor de tres sitios diferentes en Colombia con diferente potencial de rendimiento. Esta situación es común en los trópicos donde los microclimas pueden influenciar marcadamente el potencial de rendimiento. El Espinal está localizado en el fondo del valle del río Magdalena y se caracteriza por tener altas temperaturas diurnas y nocturnas que limitan la acumulación de rendimiento. Los otros dos sitios, Bugalagrande y Montenegro, están ubicados a mayor altitud y tienen noches más frías, condiciones que permiten un mayor rendimiento potencial. Los rendimientos del tratamiento completo del año 2007 definen el rendimiento alcanzable que en turno define la meta de rendimiento para el siguiente ciclo de cultivo. Esta es una meta razonable porque refleja el efecto del clima en la acumulación de rendimiento. La meta de rendimiento también define la magnitud del requerimiento de nutrientes. En la **Tabla 2** se presenta el cálculo del requerimiento de nutrientes para lograr los rendimientos alcanzables en los tres sitios descritos.

Mejoramiento de la eficiencia del uso de nutrientes

Uno de los objetivos del MNSE es incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes, en particular la del N. Esto únicamente se logra incrementando la EA, es decir, la cantidad de grano obtenida por unidad de nutriente utilizado. En maíz, el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera (los que determinan la formación del número total de granos por mazorca) se definen durante las etapas vegetativas comprendidas entre la hoja 6 (V6) y la hoja 12 (V12) (Ritchie et al., 2002). El nivel nutricional, particularmente del N, que se presente durante este periodo es un importante regulador del número total de granos y en consecuencia de la acumulación total del rendimiento. Para hacer más eficiente la utilización del N es necesario fraccionar la dosis total de este nutriente durante el periodo de mayor absorción. La planta necesita de una pequeña cantidad de N para soportar el crecimiento inicial, pero demanda cantidades mayores durante el periodo comprendido entre V6 y V12. Aplicaciones posteriores de N no son económicas. Una vez definida la dosis de N a aplicarse,

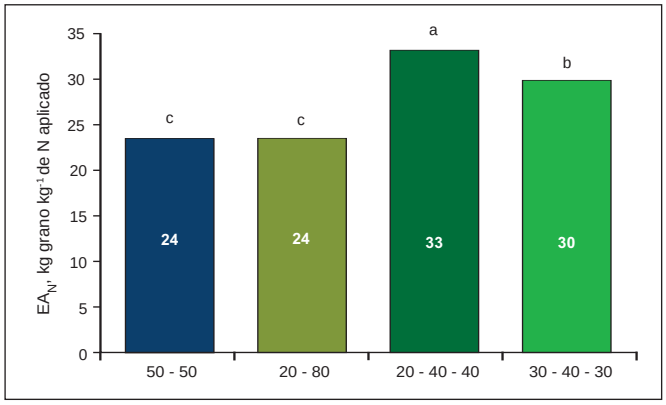

Figura 5. Análisis combinado entre localidades del efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N en la eficiencia agronómica de nitrógeno.

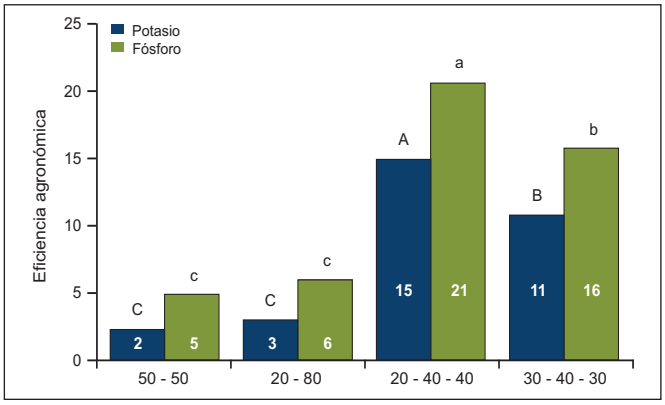

Figura 6. Efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N en la eficiencia agronómica de potasio y fósforo.

es importante conocer el número de fracciones a utilizarse y la época de aplicación de las mismas.

Investigación conducida en Colombia en 16 sitios de diferente potencial de rendimiento demostró el efecto claro del fraccionamiento de las aplicaciones de N en el rendimiento y en la eficiencia agronómica de N, P y K (García, 2009). Se probaron las siguientes formas de fraccionamiento de N:

- Fraccionamiento 50-50: Aplicación del 50 % de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 50 % al estado fisiológico V6 en forma de banda superficial.
- Fraccionamiento 20-80: Aplicaciones del 20 % de la dosis total al momento de la siembra en forma de banda incorporada y el restante 80 % al estado fisiológico V6 en forma de banda superficial.
- Fraccionamiento 20-40-40: Aplicaciones del 20 % de la dosis al momento de la siembra en forma de banda incorporada, 40 % de la dosis al estado fisiológico V6 y el restante 40 % al estado fisiológico V10 en forma de banda superficial.
- Fraccionamiento 30-40-30: Aplicaciones del 30 % de la dosis al momento de la siembra en forma de banda incorporada, 40 % de la dosis al estado fisiológico V6 y el restante 30 % al estado fisiológico V10 en forma de banda superficial.

Los resultados del análisis combinado de todas las localidades indicaron que el efecto del fraccionamiento de N en el rendimiento fue estadísticamente significativo en todos los sitios, demostrando que los fraccionamientos triples superaron a los fraccionamientos dobles. El análisis combinado del fraccionamiento de N, a través de sitios, se presenta en la **Figura 4**.

La respuesta al fraccionamiento triple se explica porque las aplicaciones de N coinciden con las etapas fisiológicas de máxima demanda de nutrientes en el maíz. En la etapa fisiológica V6 (planta de maíz con seis hojas con lígula visible) el punto de crecimiento emerge de la superficie del suelo, se inicia la diferenciación del primordio de la espiga y el tallo comienza su mayor elongación. En la etapa fisiológica V10 (planta de maíz con diez hojas con lígula visible) el primordio de la mazorca define el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera y la planta comienza un rápido y sostenido incremento en el consumo de nutrientes y en acumulación de materia seca (Ritchie et al., 2002).

La dinámica del N en el suelo no permite que aplicaciones tempranas de fertilizantes nitrogenados garanticen la disponibilidad de este nutriente durante el periodo cuando se necesita mayor absorción, principalmente en las etapas vegetativas antes y después de V10. Este potencial déficit de N puede reducir significativamente la producción. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la etapa V10 es una práctica que difícilmente se puede mecanizar y para su adopción se debe considerar el costo extra de la aplicación manual de N. Una tercera aplicación de N a V8-V9 por razones de mecanización podría todavía presentar ventajas en rendimiento.

El fraccionamiento triple del N no solamente beneficia la producción, sino que aumenta la eficiencia agronómica de los nutrientes (EA). La EA se define como la cantidad de grano producido por cada kg de nutriente aplicado y se calcula de la diferencia entre el rendimiento de la parcela con fertilización completa y el rendimiento de la parcela de omisión, todo dividido para la dosis del nutriente utilizado [($R_{completo}$ – $RN_{omitido}$)/dosis del nutriente]. En la **Figura 5** se comparan la EA del N de los sitios estudiados. Cuando se realiza el análisis estadístico combinado, a través de los sitios, es evidente el efecto del fraccionamiento triple 20-40-40 en la EA_N, alcanzado valores de 33 kg de grano kg^{-1} de N aplicado, que es un nivel aceptable de recuperación de N. La eficiencia agronómica del P (EA_P) y la del K (EA_K) fueron también afectadas significativamente por el fraccionamiento de N. Los mayores valores se obtuvieron con el fraccionamiento 20-40-40 y los menores con los fraccionamientos dobles (**Figura 6**).

Tabla 2. Rendimiento de las parcelas de omisión, el tratamiento completo y los requerimientos de nutrientes calculados para tres sitios localizados en diferentes ecosistemas en Colombia.

Tratamientos	Rendimiento, t ha^{-1}	Incremento en rendimiento, t ha^{-1} $R - R_0$
	Espinal	
-N	1.5	4.7
-P	5.0	1.2
-K	5.5	0.7
NPK	6.2	
Agricultor	4.4	
Meta de rendimiento = 6.2 t ha^{-1}		
Recomendación para alcanzar la meta de rendimiento = 157 N – 61 P_2O_5 – 56 K_2O		
	Bugalagrande	
-N	4.5	5.4
-P	7.9	2.0
-K	9.3	0.6
NPK	9.9	
Agricultor	7.6	
Meta de rendimiento = 9.9 t ha^{-1}		
Recomendación para alcanzar la meta de rendimiento = 180 N – 102 P_2O_5 – 48 K_2O		
	Montenegro	
-N	2.5	5.6
-P	5.2	2.9
-K	5.4	2.7
NPK	8.1	
Agricultor	4.0	
Meta de rendimiento = 8.1 t ha^{-1}		
Recomendación para alcanzar la meta de rendimiento = 187 N – 148 P_2O_5 – 217 K_2O		

EA_N = 30 (kg maíz kg^{-1} N)
EA_P = 45 (kg maíz kg^{-1} P)
EA_K = 15 (kg maíz kg^{-1} K)
R = rendimiento del tratamiento completo
R_0 = rendimiento de la parcela de omisión.

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 et al., 2002). 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. Se puede medir el índice de verdor en los estados fisiológicos del maíz comprendidos entre V6 y V12 usando el Medidor de Clorofila SPAD-502 (MCF) y la Tabla de Comparación de Colores desarrollada por el IRRI (TCC) (Witt et al., 2005) para utilizarlas como herramientas de apoyo que permitan mejorar la eficiencia de N.

Los datos de un estudio conducido en Colombia con varios híbridos de maíz en 11 sitios con diferente potencial de rendimiento demostraron que existe buena correlación entre el índice de verdor determinado con Medidor de Clorofila SPAD-502 (MCF) y la TCC desarrollada por el IRRI (Witt et al., 2005), indicando que la calibración del índice de verdor de los diferentes híbridos utilizando la TCC es viable.

El índice de verdor fue afectado significativamente por

Tabla 3. Niveles críticos de índice de verdor con la TCC para algunos híbridos tropicales.

Híbrido	Estado fisiológico	Concordia	Sabana Torres	Bolívar	Buga	B/grande	M/negro	Obando	Cereté 1	Cereté 2	C/alegre	Espinal
		Nivel crítico de unidades TCC										
FNC3056	V6	3.25	3.5	3.5	4	4	3.5	-	-	3.75	3.75	4
	V10-V12	4	4.25	4.25	4.25	4.5	4.5	-	-	4.5	4.35	4.5
FNC514	V6	3.25	-	-	4	4	3.75	-	-	-	3.5	3.75
	V10-V12	4.25	-	-	4.5	4.25	4.25	-	-	-	4.5	4.25
FNC114	V6	-	-	-	-	-	-	3.75	3.75	-	-	-
	V10-V12	-	-	-	-	-	-	4.5	4.75	-	-	-
DK777	V6	3.25	4.25	-	4.25	4.25	4	-	-	4	4.25	4
	V10-V12	4.25	4.75	-	4.75	4.5	-	-	-	4.75	4.75	4.5
DK234	V6	3.25	4	-	4.25	4	3.75	-	-	3.5	4	3.75
	V10-V12	4	4.5	-	4.5	4.25	4.25	-	-	4.5	4.5	4.25
DK1040	V6	3	4	3.75	4.25	-	-	3.75	3.75	-	3.75	3.75
	V10-V12	4	4.25	4.25	4.25	-	-	4.25	4.75	-	4.5	4.5
DK003	V6	3.50	4	4	4.25	-	-	3.5	3.75	-	4.25	4
	V10-V12	4.25	4.5	4.5	4.5	-	-	4.5	4.75	-	4.75	4.5
P30F80	V6	-	3.75	4	4.25	-	-	3.75	3.5	-	4	3.75
	V10-V12	-	4.25	4.5	4.5			4.25	4.5	-	4.5	4.25
P30F83	V6	3	-	-	4.25	4.25	3.75	-	-	3.5	-	3.75
	V10-V12	3.75	-	-	4.5	4.75	4.25	-	-	4.75	-	4.25
SV1127	V6	3.25	4	-	-	4.25	3.5	-	-	-	-	-
	V10-V12	4	4.5	-	-	4.5	4.25	-	-	-	-	-

el estado fisiológico, la dosis de N y el hibrido utilizado. En general, los mayores índices de verdor se presentaron entre los estados fisiológicos comprendidos entre V12 y V16. Los menores índices de verdor se registraron en V6 y R2. Los índices de verdor se incrementaron significativamente con el incremento de la dosis de N y la magnitud del incremento fue mayor cuando se pasa de 75 a 150 kg N ha^{-1} que cuando se pasa de 150 a 200. Los niveles de índice de verdor medidos con la TCC para los tratamientos sin aplicación de N estuvieron comprendidos entre 2.25 y 3.25, para los tratamientos con 75 kg N ha^{-1} entre 3.5 y 4.25, para 150 entre 3.75 y 4.25 y para 200 entre 4 y 4.75. De esta manera fue posible determinar los niveles críticos de índice de verdor para la TCC para cada híbrido estudiado en los estados fisiológicos V6 y V10, reconocidos como etapas fisiológicas de elevada demanda de nutrientes **Tabla 3**.

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 EA_N. En general, índices de verdor superiores a 4 indican suficiencia de N y valores iguales o superiores a éste en el estado vegetativo V12 garantizan producciones altas 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.

Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation, and yield. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

García, J.P. 2009. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de maíz en Colombia. FENALCE, Bogotá.

Haishun, Y., A. Dobermann, K. Cassman, and D. Walters. 2006. Hybrid-Maize (ver 2006). A Simulation Model for Corn Growth and Yield. Nebraska Cooperative Extension CS 9. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE.

Ritchie, S., H. John, and B. Garren. 2002. Como se desarrolla una planta de maíz. Spanish edition. Iowa State University.

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.

Witt, C., J.M. Pasuquin, and A. Dobermann. 2006. Toward a site specific nutrient management approach for maize in Asia. Better Crops with Plant Food. 90(2):28-31.