
Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz

Juan Pablo García¹ y José Espinosa²

Introducción

En los últimos años, el cultivo de maíz en América tropical 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 que los rendimientos se pueden incrementar apreciablemente con el uso de adecuada tecnología que incluye un mejor manejo de la población y la nutrición.

La nutrición es la práctica agronómica a la cual responde más el cultivo del maíz. Sin embargo, la experiencia de trabajo de campo en los últimos años ha permitido determinar que las recomendaciones de fertilización normalmente utilizadas no logran satisfacer adecuadamente las necesidades nutritivas del cultivo para lograr rendimientos altos y competitivos. En muchos lugares, la adición de nutrientes para satisfacer las necesidades del cultivo se ha manejado únicamente con el criterio de incrementar las dosis para lograr los rendimientos deseados. Al no conseguirse aumento en rendimiento, el simple aumento de las dosis puede ocasionar reducciones dramáticas en la Eficiencia Agronómica (EA) de los nutrientes utilizados. Una de las prioridades ambientales de la agricultura es incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes, en particular la del nitrógeno (N). Esto únicamente se logra incrementando la EA, es decir, la cantidad de grano obtenida por unidad de nutriente utilizado (kg grano kg^{-1} de nutriente aplicado).

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 de 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. Es importante entonces conocer el número de fracciones a utilizarse y la época de aplicación de las mismas. Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación a nivel nacional conducido por la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas de Colombia (FENALCE), con el objetivo de evaluar el efecto del fraccionamiento de la dosis total de N en el rendimiento de grano y en la EA de los macronutrientes.

¹ Director del programa de manejo de suelos y nutrición, FENALCE, Colombia. Correo electrónico: juanpagar@yahoo.com

² Director del International Plant Nutrition Institute. IPNI. Oficina para el Norte de Latino América. Correo electrónico: jespino@ipni.net

Materiales y métodos

La dosis total de nutrientes a aplicarse en cada localidad se estableció mediante la implementación previa de un programa de investigación de Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE) en maíz, siguiendo tres pasos básicos (Espinosa y García, 2008):

1. Establecimiento de la meta de rendimiento. La meta de rendimiento para un sitio en particular se estima del rendimiento de grano obtenido cuando se eliminan las limitantes de nutrientes (N, P, K, Mg y S), es decir el rendimiento de grano alcanzado con la aplicación de todos los nutrientes y con el mejor manejo conocido del cultivo para el sitio. La meta de rendimiento indica la cantidad total de nutrientes que el cultivo debe absorber para obtener dicho rendimiento.
2. Determinación del aporte de nutrientes provenientes 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.
3. 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 lograr 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 alcanzar la meta de rendimiento y el suplemento del nutriente proveniente del suelo, determinado por el rendimiento de la respectiva parcela de omisión. En la **Tabla 1** se presentan las dosis de nutrientes para cada sitio del estudio, obtenidas mediante la técnica de las parcelas de omisión.

Las dosis totales de N se aplicaron en diferentes fracciones y épocas de acuerdo a los siguientes tratamientos:

1. 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.
 2. 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.
-

3. 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.
4. 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.

Tabla 1. Dosis de nutrientes evaluadas por localidad.

Municipio	Estado	----- kg ha ⁻¹ -----				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
Bolívar	Valle del Cauca	150	90	90	50	60
Buga	Valle del Cauca	150	90	90	50	60
Concordia	Antioquia	150	90	90	50	60
Pereira	Risaralda	150	90	100	50	60
La Palestina	Caldas	130	80	100	44	60
Villa Nueva I	Santander	150	90	100	50	60
Granada	Meta	130	80	100	44	60
Sabana de Torres	Santander	150	70	100	50	60
San Jacinto	Bolívar	100	70	90	50	60
San Juan	Guajira	110	70	70	50	60
Villa Nueva II	Guajira	110	70	70	50	60
Sopetran	Antioquia	120	90	70	44	60
Espinal	Tolima	130	90	100	44	60
Campo Alegre	Huila	140	90	90	50	60
Garzón	Huila	150	90	90	50	60
Cereté	Córdova	140	90	70	50	60

Las fuentes de N utilizadas fueron fosfato diamónico (18-46-0) y urea (46-0-0). El fosfato de amonio fue también la fuente de fósforo (P). Las fuentes de potasio (K) fueron cloruro de potasio (0-0-60) y sulpomag (0-0-22-18-22), que también fue la fuente de magnesio (Mg) y azufre (S). El material genético utilizado fue el híbrido FNC 3056 sembrado a una densidad de 65.000 plantas ha⁻¹. El 100% de la dosis de P, K, Mg y S se aplicó en forma de banda incorporada al momento de la siembra.

El diseño experimental utilizado fue de tratamientos organizados en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El área de la unidad experimental fue de 96 m² (8 surcos de 15 m de largo espaciados a 0.80 m). La cosecha se realizó en los 4 surcos centrales de cada parcela.

Se calculó la eficiencia agronómica por localidad y tratamiento, utilizando los datos de rendimiento de las parcelas de omisión de N, P, K, Mg y S establecidas en todas las localidades.

Resultados

El efecto del fraccionamiento de N en el rendimiento fue estadísticamente significativo en todas las localidades, excepto en los municipios de Sabana de Torres, San Juan y Villa Nueva. Los rendimientos obtenidos con el fraccionamiento de N se presentan en la

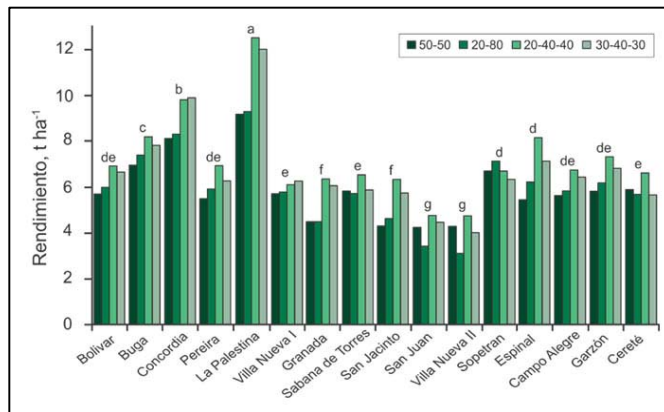


Figura 1. Efecto de cuatro estrategias de fraccionamiento de N en el rendimiento del híbrido FNC 3056.

Figura 1. En el análisis individual por localidad, los fraccionamientos triples superaron a los dobles, excepto en Sopetran.

En las localidades de Bolívar, Buga, Concordia, Espinal, Granada, La Palestina, Pereira, Villa Nueva I, San Jacinto, Campo Alegre y Garzón los tratamientos basados en fraccionamientos triples fueron estadísticamente superiores a los tratamientos basados en fraccionamientos dobles. Dentro

de los fraccionamientos triples, el tratamiento 20-40-40 presentó mayores rendimientos, los que fueron estadísticamente superiores al tratamiento 30-40-30 en La Palestina, Garzón, Cereté y Granada.

Dentro de los tratamientos basados en fraccionamientos dobles, únicamente en el municipio de Garzón el tratamiento 20-80 superó significativamente el tratamiento 50-50. Contrariamente, en las dos localidades estudiadas en el departamento de La Guajira, el fraccionamiento 20-80 fue inferior, observándose reducciones superiores a 1 t ha⁻¹ comparado con el fraccionamiento 50-50. En Cereté, el fraccionamiento 30-40-30 y los fraccionamientos dobles fueron significativamente inferiores al tratamiento 20-40-40.

En los municipios de Sabana de Torres, San Juan y Villa Nueva, a pesar de que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre fraccionamientos, se observó una diferencia agronómica a favor del fraccionamiento 20-40-40 que produjo 6.5, 4.8 y 4.8 t ha⁻¹ de grano en cada sitio, respectivamente, comparado con 5.7, 3.3 y 3.2 t ha⁻¹ obtenidas con el fraccionamiento 20-80 en los mismos sitios.

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) 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.

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 mecanizada de N entre V8 y V9 podría todavía presentar ventajas económicas en rendimiento.

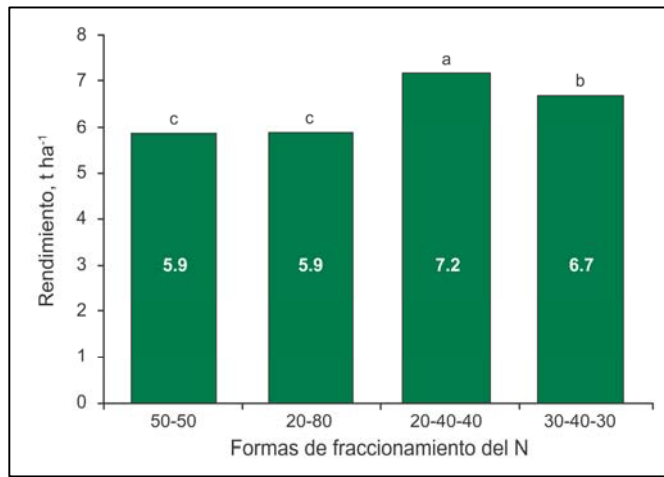


Figura 2. Análisis combinado del efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N, a través de localidades, en el rendimiento del híbrido FNC 3056.

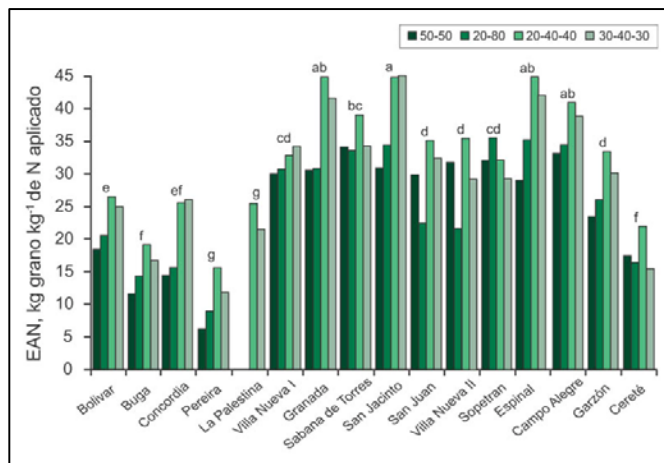


Figura 3. Variación en la EAN entre cuatro fraccionamientos de N estudiados con el híbrido FNC 3056.

Los resultados de rendimiento presentados en la **Figura 1** muestran el diferente potencial de rendimiento de las diferentes zonas productoras de maíz en Colombia. Estas diferencias se deben al efecto del clima en la acumulación del rendimiento. Los sitios con días cálidos y noches frías permiten acumular mayor rendimiento de grano, mientras que los sitios con días y noches cálidos tienen siempre un potencial de rendimiento menor. Por esta razón, la meta de rendimiento es diferente en los diferentes sitios y en consecuencia la recomendación de fertilización es también diferente (**Tabla 1**). Este es el concepto de nutrición por sitio específico. Cuando se realizó el análisis combinado entre localidades se observan diferencias estadísticamente significativas (**Figura 1**). Las mayores producciones se lograron en La Palestina y las menores en San Juan y Villa Nueva II. El análisis estadístico combinado, a través de sitios, demuestra que el fraccionamiento 20-40-40 es estadísticamente superior a los restantes tres fraccionamientos (**Figura 2**).

Adicionalmente, el fraccionamiento triple del N no solamente beneficia la producción, sino que aumenta la Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN). La EAN se define como la cantidad de grano producido por cada kg de N aplicado ($\text{kg de grano kg}^{-1}$ de N aplicado) y se calcula de la diferencia entre el rendimiento de la parcela con fertilización completa y el rendimiento de la parcela de omisión de N, todo dividido para la dosis de N utilizada $[(R_{\text{completo}} - R_{\text{N omitido}})/\text{dosis de N}]$.

En la **Figura 3** se comparan las EAN de los sitios estudiados. Solamente en Sopetran los tratamientos basados en fraccionamientos triples no incrementaron la EAN. En Bolívar, Buga, Espinal, Granada, La Palestina, Pereira, Villa Nueva I, Concordia, Campo Alegre, Garzón y San Jacinto las menores EAN se obtuvieron con el fraccionamiento 50-50, mientras que en San Juan, Villa Nueva II y Sabana de Torres las menores EAN se observaron con el fraccionamiento 20-80. En el municipio de La Palestina no hubo respuesta a los fraccionamientos dobles, existiendo únicamente respuesta a los fraccionamientos triples y el fraccionamiento 20-40-40 presentó los mayores valores de EAN.

El suplemento de N nativo del suelo de los sitios Granada, Espinal, Sabana de Torres, Campo Alegre y San Jacinto es muy bajo ($0.5, 1.1, 0.7, 0.9$ y 1.0 t ha^{-1} , respectivamente), indicando que en estos sitios la adición de N permite respuestas altas en rendimiento y

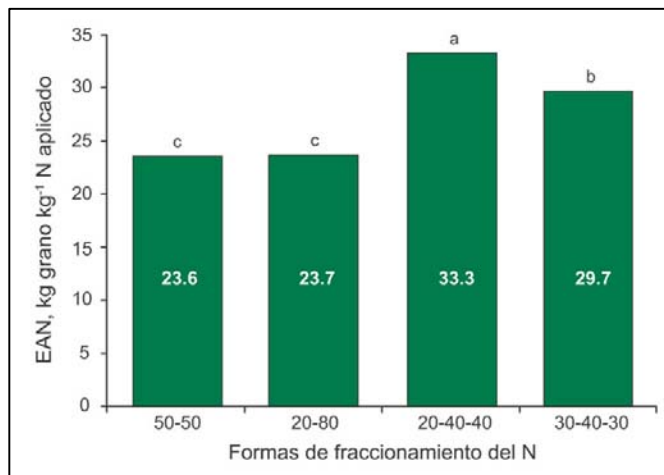


Figura 4. Análisis combinado del efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N en la EAN.

excelente EAN. En La Palestina, Buga, Concordia, Pereira y Bolívar sucede lo contrario, es decir el suplemento de N nativo es alto y la respuesta a las aplicaciones del nutriente es baja. En sitios donde la respuesta a N es baja la estrategia de manejo debe estar enfocada a incrementar la EAN, cosa que se logra reduciendo y fraccionando la dosis de N.

En general, cuando se realiza el análisis estadístico combinado, a través de los sitios, es evidente el efecto del fraccionamiento triple 20-40-40 en la EAN,

alcanzado valores de $33 \text{ kg de grano kg}^{-1}$ de N aplicado, que es un nivel aceptable de recuperación de N (**Figura 4**).

La Eficiencia Agronómica del Fósforo (EAP) y la del Potasio (EAK) 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 5**).

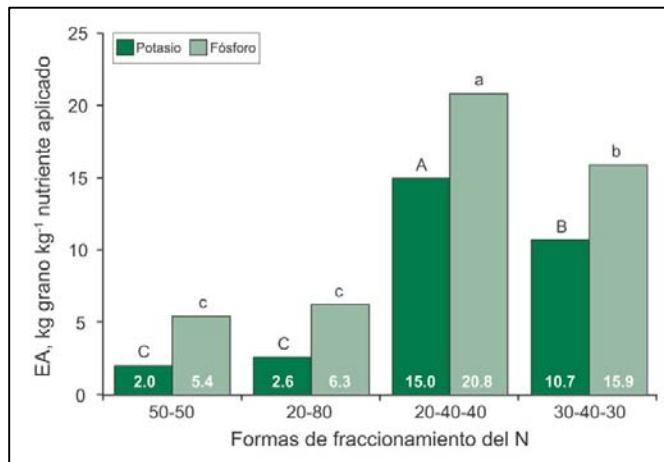


Figura 5. Efecto de cuatro diferentes fraccionamientos de la dosis total de N en la EAK y EAP. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre EAP y letras mayúsculas indican diferencias significativas entre EAK

demuestran que el fraccionamiento triple de la dosis total de N para el sitio, en proporción 20-40-40, en las etapas fisiológicas V0-V6-V10, respectivamente, permite incrementos significativos en el rendimiento y en la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados.

Bibliografía

Espinosa, J., y J.P. García. 2008. High fertilizer prices: what can be done. *Better Crops* 92(3):8-10.

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

Conclusiones

Por razones económicas y ambientales, un programa eficaz de nutrición del maíz no solo requiere incrementar la producción de grano, sino que también debe buscar incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados a través de una recuperación más alta de los nutrientes provenientes de fertilizantes utilizados. Es indispensable planificar las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados basándose en las etapas fisiológicas de máxima demanda de nutrientes. Los datos de investigación