

FISIOLOGIA, NUTRICION Y FERTILIZACION NITROGENADA DEL MAIZ

Fred E. Below*

Introducción

Entre los elementos minerales esenciales, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el crecimiento y el rendimiento del maíz. Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de N (de 1.5 a 3.5% de peso seco de la planta) y porque la mayoría de los suelos no tienen suficiente N en forma disponible para mantener los niveles deseados de producción. Debido a que la deficiencia de N puede disminuir el rendimiento y la calidad del grano, es necesario tomar medidas para asegurar que niveles adecuados de N estén disponibles para las plantas. Estimativos globales sugieren que los fertilizantes nitrogenados cubren el 80% del costo total de fertilizantes y el 30% de toda la energía asociada con la producción agrícola moderna de maíz (Stangel, 1984).

Los productores de maíz reconocen que son necesarias concentraciones adecuadas de N en la planta para obtener altos rendimientos, sin embargo, el dilema está en conocer que cantidades aplicar para lograr estas concentraciones. Este problema resulta del complejo ciclo del N en la naturaleza que posibilita pérdidas del nutriente cuando se desplaza por debajo del sistema radicular. La situación se complica más por problemas mecánicos asociados a aplicaciones de fertilizante nitrogenado y por la incertidumbre de las condiciones meteorológicas, especialmente la disponibilidad de agua. El N del fertilizante que no es aprovechado produce, además del perjuicio económico, daño ambiental por pérdida del nutriente a capas inferiores del perfil del suelo. Las pérdidas excesivas de fertilizante nitrogenado de los cultivos pueden contaminar las aguas profundas con nitrato (Carpenter et al., 1998; Burkart and James, 1999). Con el creciente interés de la opinión pública en la calidad ambiental aumentan también las presiones sobre los agricultores en mejorar el manejo del N. Con la adopción creciente de prácticas de conservación de suelos también aumentarán las prácticas relacionadas con mejor manejo del fertilizante nitrogenado.

Este artículo discute brevemente las relaciones del N con el crecimiento y el rendimiento de la planta de maíz y varias formas de mejorar el manejo de este nutriente.

Disponibilidad del nitrógeno

En condiciones naturales, el N entra al suelo como resultado de la fijación biológica y/o de la descomposición de residuos animales y vegetales. La mayor parte del N en los suelos está contenida en la materia orgánica (> 90%), en forma relativamente estable que no es directamente disponible para las plantas. Una porción del N en el material orgánico se torna disponible por mineralización promovida por los microorganismos del suelo. Las cantidades liberadas varían y dependen de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales. Sin embargo, la liberación es normalmente muy lenta para satisfacer las necesidades de un cultivo de maíz en crecimiento (solamente 2-3% de N del N total se convierte a formas disponibles cada año). Como resultado, se requiere añadir N a través de fertilizantes para optimizar el crecimiento y el rendimiento del maíz.

El N es el único de los nutrientes minerales que puede ser absorbido por las plantas en dos formas distintas: como anión nitrato (NO_3^-) o como catión amonio (NH_4^+). Los fertilizantes nitrogenados de uso común contienen relaciones variadas de NO_3^- y NH_4^+ , sin embargo, las bacterias del suelo oxidan rápidamente el NH_4^+ a NO_3^- en suelos bien aireados y de buena temperatura que favorecen el crecimiento del maíz. Por esta razón, el NO_3^- es la forma de N absorbida predominantemente por las plantas de maíz, independiente de la fuente de N aplicada.

Además de ser la forma más disponibles de N para la planta, el NO_3^- es también responsable por las mayores pérdidas de N en el suelo ya que es susceptible a lixiviación y denitrificación. También puede ser removido temporalmente de la reserva disponible del suelo a través de la absorción, fijación e inmovilización microbiana. Las implicaciones económicas de estas pérdidas de N son evidentes, especialmente cuando son lo suficientemente grandes para limitar la productividad del cultivo. Estas pérdidas también ayudan mucho a acentuar la incertidumbre asociada con el manejo de fertilizante nitrogenado y con el potencial daño ambiental.

* Tomado de: Below, F. 2002. Fisiología, Nutrição e abubação nitrogenada do milho. *Informações Agrônomicas. Potafos* 99: 7-12.

Nitrógeno en la planta

Independientemente de la forma como haya sido absorbido, una vez dentro de la planta, el N inorgánico tiene que ser asimilado (incorporado) a formas orgánicas, comúnmente aminoácidos. El N se incorpora en numerosos compuestos esenciales a la planta, pero la mayoría (> 90%) está presente en las proteínas. A pesar de lo complejo, el impacto del metabolismo del N en el crecimiento y rendimiento del maíz se puede resumir en dos funciones generales: 1) establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética y 2) desarrollo y crecimiento de los sumideros reproductivos (Below, 1995).

El establecimiento de la capacidad fotosintética se logra asegurando que la provisión de N no limite el desenvolvimiento del complejo sistema que controla la fotosíntesis (enzimas, pigmentos y otros compuestos). Dentro de ciertos límites, el incremento en la disponibilidad de N aumenta el crecimiento y vigor de la planta, mientras que la deficiencia resulta en plantas pequeñas y de color pálido. La deficiencia de N afecta la captación solar, en consecuencia la fotosíntesis y en última estancia el rendimiento de granos. Las deficiencias de N se reconocen rápidamente en el campo debido a la coloración verde amarillenta del cultivo, sin embargo, es mucho más difícil identificar el nivel adecuado y excesivo de N en el cultivo.

Para alcanzar altos rendimientos, se necesita no solamente establecer la capacidad fotosintética de la planta, sino también que la fotosíntesis continúe durante la formación y crecimiento del grano. Esta fase es particularmente importante debido a que la acumulación de materia seca en el grano de maíz depende de la fotosíntesis que ocurra en esta etapa. La mayor parte del N en las hojas de maíz está asociada con las proteínas del cloroplasto (alrededor de 60% del total de N en la hoja). Estas proteínas están sujetas a desdoblamiento y los aminoácidos resultantes se removilizan dentro de la planta. La capacidad fotosintética de las hojas disminuye con el envejecimiento y con esto también se reduce el suplemento de asimilados de la fotosíntesis y el rendimiento de grano. Cuando existe deficiencia de N esta reducción ocurre más rápidamente y en consecuencia se forman mazorcas más pequeñas con menos granos.

Otra función importante del N, necesaria para asegurar la alta productividad, es la de establecer la capacidad productiva de la planta de maíz. A pesar de que la capacidad productiva está en función del número y del tamaño del grano, en maíz el número de granos por planta está normalmente más relacionado con el rendimiento que cualquier otro factor de la producción. Muchos estudios demuestran que el incremento en el rendimiento inducido por N es fundamentalmente el

resultado de más granos por planta (Below, 1995; Uhart and Andrade, 1995). Los datos de las Figuras 1 y 2 ilustran este hecho. Se observa que el incremento en las dosis de N causó menor impacto en el peso individual del grano que en el número total de granos. La aplicación de N aumentó el peso del grano en apenas 10% y este incremento se logró con la primera dosis de N (67 kg N/ha). Por otro lado, el incremento en las dosis de N produce un mayor número de granos, en un patrón muy parecido a la típica curva de respuesta de rendimiento al suplemento de N (Figura 1).

En el maíz, el suplemento de N afecta al número de granos debido principalmente al menor aborto (Figura 2). El número potencial de óvulos es determinado al inicio del desarrollo de la planta (estadio de hoja 12) y el abastecimiento de N altera poco esta condición. Sin embargo, el suplemento de N si afecta substancialmente la proporción de granos abortados o de granos que detienen su desarrollo (Figura 2).

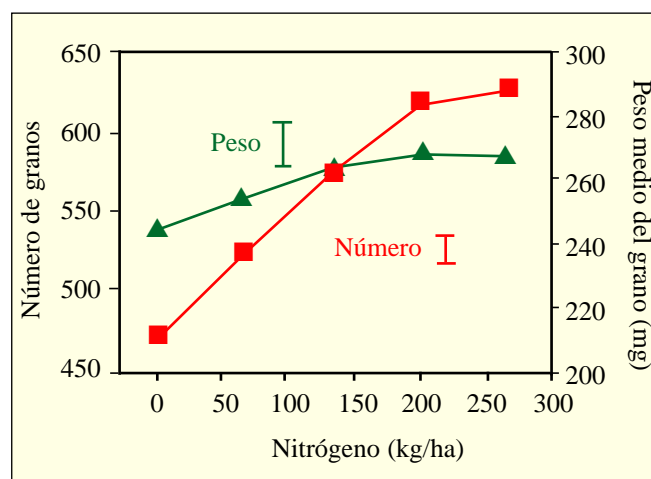


Figura 1.- Efecto de dosis de N en los componentes de la producción de maíz. Valores promedio de dos híbridos en dos años. Las barras indican el DMS a un nivel de probabilidad del 5% para la comparación entre dosis de N.

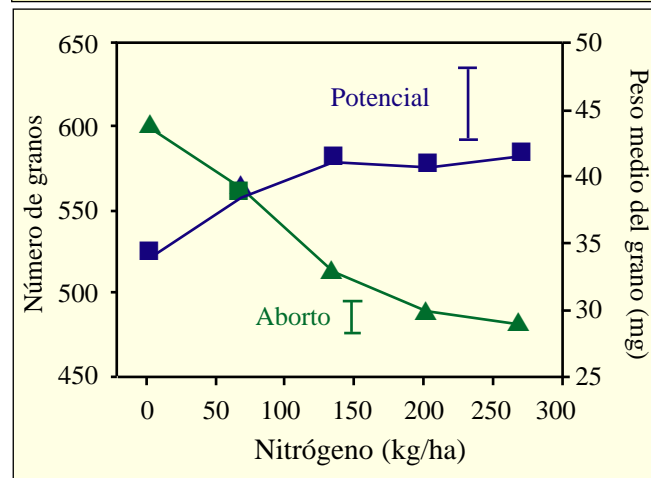


Figura 2.- Efecto de dosis crecientes de N en el número de granos en maíz. Las barras indican el DMS a un nivel de probabilidad del 5% para la comparación entre dosis de N.

Como otros síntomas de estrés, el aborto de granos inducido por la deficiencia de N ocurre principalmente en la punta de la mazorca (Figura 2). No se conoce todavía si este efecto es el resultado directo de la cantidad de N que llega a la mazorca o el resultado indirecto de una limitación de la fotosíntesis inducida por la falta de N. Experimentos que evaluaron el efecto del sombreado y la deficiencia de N conducidos por Uhart y Andrade (1995) sugieren que la deficiencia de N afecta el rendimiento al alterar la intercepción de luz y la fotosíntesis de las hojas. Investigación con maíz in vitro y en soluciones nutritivas indican que al menos una porción del efecto del N en el desarrollo de los granos y en el rendimiento se debe a una modificación del metabolismo de los granos en respuesta al supresión del suplemento de N (Below et al., 2000).

Manejo de la fertilización con nitrógeno

La respuesta del maíz a la adición de N es afectada por factores ambientales, culturales y de suelo. Por esta razón, las curvas de respuesta pueden variar bastante de sitio a sitio. De igual manera, en un suelo fértil con alto contenido de N residual, la aplicación de fertilizantes nitrogenados puede tener baja respuesta o aun puede reducir los rendimientos. Existen también otros factores aparte del N, como la falta de humedad en el suelo o la deficiencia de otro nutriente(s), que pueden limitar la respuesta a las aplicaciones de N y no aumentan el crecimiento o el rendimiento aun cuando el contenido de N en el suelo es bajo. La dosis óptima económica de N depende también de otros factores, como la fuente de N, la época de aplicación y las prácticas culturales usadas en el sistema de producción. La parte final de este artículo examina brevemente estos factores y usa algunos resultados de investigación como ejemplos.

En los Estados Unidos, las recomendaciones de N normalmente se basan en la historia del lote que toma en cuenta el cultivo anterior y una meta de rendimiento establecida. En algunos sitios se usan también fórmulas para estimar la capacidad del suelo para mineralizar N de la materia orgánica. Sin embargo, las necesidades de fertilizante nitrogenado son también afectadas por otros factores como las prácticas culturales utilizadas y la relación costo/beneficio del fertilizante. Los problemas con las recomendaciones de fertilización con N pueden surgir de metas irreales de rendimiento o de la errónea evaluación de la capacidad del suelo para sostener el cultivo. Además, es un hecho conocido que las recomendaciones de N pueden variar considerablemente de zona a zona, en algunos

casos en zonas adyacentes sin razón o explicación aparente. Encuestas recientes indican que muchos productores aplican más N que la recomendación habitual. Estas aplicaciones excesivas ocurren por varias razones, principalmente por el deseo de buscar altos rendimientos y por aplicar N extra por seguridad.

En el estado de Illinois, la recomendación actual para maíz es de 21.4 kg de N por tonelada de producción esperada (media de 5 años más 5% por mejoras genéticas anticipadas), menos el crédito de N dejado por la leguminosa del cultivo anterior y cualquier otro N aplicado (fertilizantes de arranque o aplicaciones de estiércol). Cuando el cultivo anterior fue soya (que es el caso de más del 90% del maíz cultivado en Illinois), se acreditan 17 kg de N por tonelada de soya cosechada, hasta un máximo de 45 kg, y esta cantidad se sustrae de las necesidades calculadas de N.

Sin embargo, la evidencia experimental sugiere que la exigencia de N en el maíz es más una función del tipo de suelo que del nivel de rendimiento producido (Vanotti and Bundy, 1994a, 1994b) y que el crédito del N de la soya puede ser mayor al usado en las recomendaciones actuales (Bundy et al., 1993; Schoessow et al., 1996). Los datos presentados en la Tabla 1 resumen las respuestas de N en experimentos de maíz seguido de soya conducidos en campos altamente productivos en Champaign, Illinois, en un periodo de cinco años. Durante este periodo, las máximas producciones de grano variaron de 8.0 a 13.2 t/ha, con un rendimiento medio de 12.5 t/ha y con dosis óptimas económicas de N que van de 130 a 180 kg de N/ha. Usando la media del rendimiento de cinco años (10.5 t/ha) y con un crédito de N de la soya de 45 kg de N/ha, la recomendación calculada en Illinois sería de 191 kg de N/ha para máximo rendimiento. Es interesante anotar que en ningún año fueron necesarios los 191 kg de N para un rendimiento óptimo, y en dos

Tabla 1.- Dosis óptima económica y requerimiento de N para máximo rendimiento en maíz cultivado en el mismo campo por un periodo de 5 años. Todos los valores fueron calculados a partir de la curva de respuesta en rendimiento a la aplicación de N. La soya siempre fue el cultivo anterior y se reconoció un crédito de 45 kg de N/ha que se incluyó en el cálculo del requerimiento de total de N.

| Año | Rendimiento de grano t/ha | Dosis óptima de N kg/ha | Requerimiento de N kg N/t |
|------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1995 | 8.0 | 135 | 22.4 |
| 1996 | 10.7 | 170 | 19.9 |
| 1997 | 11.2 | 180 | 20.0 |
| 1998 | 9.5 | 130 | 18.8 |
| 1999 | 13.2 | 180 | 16.9 |

años (1995 y 1998) se requirió mucho menos N (alrededor de 55 kg menos). Otros experimentos de respuesta a N, conducidos en otros sitios del estado de Illinois, mostraron resultados similares (datos no presentados).

El requerimiento de N calculado (que incluye el crédito de 45 kg de N/ha de la soya) también fue menor que las recomendaciones actuales (21.4 kg de N/t de grano) en todos los años, menos en el que presentó menor rendimiento (Tabla 1). De esta forma, al contrario de lo que piensa la mayoría de los productores, los requerimientos de N fueron más bajos en el año de mayor productividad y más altos en el año de menor productividad. Aparentemente, cuando el ambiente es favorable para altos rendimientos, también es favorable para que se produzcan altas tasas de mineralización de N del suelo. Estos datos refutan las razones dadas por los productores para usar más N del necesario (el deseo de obtener altos rendimientos y la idea de aplicar N extra para asegurar el suplemento) y sugieren que las recomendaciones de N actuales son conservadoramente elevadas.

Adicionalmente, la aseveración de que los híbridos de maíz modernos pueden usar N con mayor eficacia (y requerir menos fertilizante nitrogenado) se confirma por el incremento continuo del rendimiento promedio de maíz en Illinois durante los últimos 25 años, aun cuando las cantidades de fertilizantes nitrogenados usadas permanecen relativamente constantes.

Existe un claro beneficio al cultivo de maíz después de soya, conocido como crédito de N de la soya. La estimación del crédito de N se obtienen normalmente comparando las dosis de N requeridas para producir un mismo rendimiento en maíz continuo y en rotación de maíz/soya, conocidas también como valor de sustitución de N (Hesterman, 1998). Estimativos experimentales del crédito de N de la soya difieren notablemente entre sitios y años y varían de 22 a 210 kg de N/ha (Bundy et al., 1993). A pesar de la variabilidad entre estados, la mayor parte de los sistemas de recomendación de N en los Estados Unidos seleccionó empíricamente un crédito máximo de 45 kg de N/ha. De igual manera, otro factor que puede conducir a excesivas aplicaciones de N es subestimar el crédito de N en la soya.

El rendimiento de maíz en función del cultivo anterior y de las dosis de N, en un suelo altamente productivo de Illinois, se muestra en la Figura 3. En este experimento, el rendimiento de maíz continuo fue menor que el de maíz en rotación, a cada dosis de N probada. Se necesitaron alrededor de 135 kg/ha de N exigidos para optimizar el rendimiento del maíz en

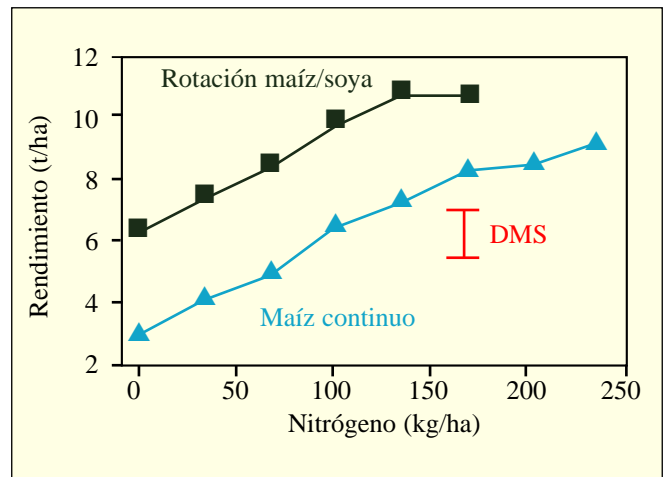


Figura 3.- Efecto del cultivo anterior en la respuesta del maíz a dosis de N. Los datos para maíz después de soya se obtuvieron en 1999 y para maíz continuo en 1998. Los dos cultivos crecieron en campos adyacentes. Las barras indican un nivel de DMS de 5% de probabilidad al comparar la respuesta del cultivo anterior a una determinada dosis de N.

rotación con soya, mientras que el requerimiento de maíz continuo aumentó a 235 kg de N/ha. Basándose en la técnica del valor de sustitución de N, a partir desde los datos se puede calcular un crédito de 97 kg de N/ha proveniente de la soya, que es el doble del normalmente usado en las recomendaciones de N.

En cuanto a las fuentes de N, los agricultores en los Estados Unidos tienen varias fuentes de donde escoger. Estas fuentes difieren en el porcentaje total de N y en el porcentaje de N como NH_4 o NO_3 (Tabla 2). Se puede usar cualquiera de estas fuentes en labranza convencional o en siembra directa, sin embargo, algunas requieren de consideraciones especiales para maximizar su eficiencia.

Algunas fuentes de N se pueden aplicar en la superficie (que el método de fertilización lógico en cultivos con mínimo movimiento de suelo), pero otras están sujetas a pérdidas cuando se aplican de esta forma. Las pérdidas por aplicación a la superficie es mayor con la urea o en fertilizantes que contienen urea, debido a que este material forma rápidamente NH_4 y CO_2 por la acción de la enzima ureasa presente en el suelo y en los residuos de la planta. Esta conversión promueve altos niveles de NH_4^+ y pH elevado en el sitio de aplicación, dos condiciones que contribuyen para la pérdida de N por volatilización como NH_3 (amoníaco) gaseoso. El sulfato de amonio, por no exhibir relación alcalina en el suelo, no está sujeto a pérdidas de N por volatilización de NH_3 , pero es mucho más acidificante que la mayoría de las otras fuentes de N.

Tabla 2.- Diferentes fuentes de N en uso en los Estados Unidos. Nótese el variado contenido de N así como de amonio o nitrato.

| Fuente | N total | Amonio | Nitrato |
|--------------------|---------|--------|---------|
| | ----- | % | ----- |
| Amoniaco anhidro | 82 | 100 | 0 |
| N Líquido 28 | 28 | 75 | 25 |
| Urea | 46 | 100 | 0 |
| Sulfato de amonio | 21 | 100 | 0 |
| Nitrato de amonio | 35 | 50 | 50 |
| Nitrato de potasio | 14 | 0 | 100 |

Tabla 3.- Efecto de la forma de N en el rendimiento y en los parámetros fisiológicos del maíz cultivado hasta madurez en medio hidropónico. Los valores son medias de todos los híbridos estudiados durante seis años.

| Parámetros | Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ | |
|--------------------------------------|--|-------|
| | 100/100 | 50/50 |
| Rendimiento de grano (t/ha) | 12.3 | 13.8 |
| Número de granos por planta | 652 | 737 |
| Absorción de N por la planta (kg/ha) | 279 | 343 |

La diferente proporción de NO_3^- o NH_4^+ en las fuentes de N también puede afectar en el manejo de N, debido a que el N en forma de NH_4^+ se pierde mucho menos por lixiviación, denitrificación o volatilización. El aumento o la supresión del NH_4^+ en el suelo puede afectar el desempeño de la planta, como se ha observado en numerosas especies que absorben más N y crecen más rápidamente cuando se suplementa el N en una mezcla NO_3^- y NH_4^+ que cuando se añade solamente NO_3^- (Below, 1995). Como es imposible mantener 100% de NH_4^+ en condiciones normales de producción, se cambia la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ principalmente aumentando o suprimiendo NH_4^+ por encima de la cantidad que normalmente estaría presente en el suelo. Este concepto se denomina "suplemento acentuado de amonio" o "nutrición nitrogenada mixta".

Los datos de experimentos en hidroponía, donde se puede controlar estrictamente la forma de N, indican que se producen rendimientos de maíz consistentemente mayores (variaciones de 10 a 14% con una media de 12%) cuando las plantas crecieron en una solución mixta de N que cuando crecieron solamente en NO_3^- (Tabla 3). A pesar de que estos incrementos en rendimiento se lograron en hidroponía, donde es posible un mayor control de las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$, se han observado moderados incrementos de rendimiento (6 a 10%) en algunos híbridos en condiciones de campo donde se utilizaron fuentes amoniacales e inhibidores de la nitrificación para aumentar el suplemento de N como NH_4^+ (Smiciklas and Below, 1992).

En todos los casos, los incrementos en rendimiento inducidos por la mezcla de formas de N se debieron a la presencia de más granos por planta, promovida principalmente por el menor aborto de granos en la punta de la mazorca (Tabla 3). Estos resultados sugieren que existe un efecto fisiológico directo de la forma de N en el desarrollo de los granos ya que ambos tratamientos tuvieron adecuado N disponible para satisfacer las necesidades de la planta. A pesar de que todavía no se conoce exactamente la base fisiológica que conduce al menor aborto de grano, parecer estar implicado el hecho de que existe una acumulación adicional de N en la planta, condición que se observa en el tratamiento con las mezclas de formas de N en comparación con el tratamiento que solamente recibió NO_3^- (Tabla 3). Estos efectos se observaron en plantas cultivadas en hidroponía y en condiciones normales en el suelo (Smiciklas and Below, 1992) y sugiere que las plantas de maíz son incapaces de absorber suficiente N para máxima producción cuando el N se suplementa en su mayoría como NO_3^- .

La época de aplicación de N también puede influenciar la eficiencia de uso de N y la producción. La ciencia indica normalmente que cuando más cercana sea la aplicación de N al momento de absorción por la planta más eficiente será el uso del nutriente. Sin embargo, esta práctica no siempre es posible en el estado de Illinois por restricciones de tiempo y una considerable cantidad de N se aplica en otoño. Además, algunas fuentes de N, particularmente el sulfato de amonio, se aplican a la superficie del suelo congelado en invierno. Esta práctica es particularmente atractiva para productores que utilizan siembra directa y que quiere evitar la compactación del suelo.

Se evaluó la mejor época de aplicación de N utilizando sulfato de amonio en un experimento de aplicación superficial de N en 10 sitios, por un periodo de tres años, en dosis consideradas adecuadas para obtener máximos rendimientos de maíz. Estos sitios se seleccionaron de modo que representen las variadas prácticas de cultivo incluyendo siembra directa, labranza reducida y labranza en fajas. A pesar de las variaciones anuales, se observó en la media una notable reducción de rendimiento cuando se aplicó el N en otoño o en invierno, en comparación con las aplicaciones en primavera (Tabla 4). Las diferencias en magnitud de esta reducción de rendimiento fueron atribuidas a la diferencia de precipitación en la primavera durante el periodo del estudio (datos no presentados). En los sitios de baja precipitación en

Tabla 4.- Efecto de la época de aplicación de N en el rendimiento de maíz en Illinois. El N se aplicó en presiembra a la superficie como sulfato de amonio a intervalos mensuales, en dosis consideradas adecuadas para óptimo rendimiento. Los valores que representan a otoño son medias de los rendimientos obtenidos con las aplicaciones de octubre y noviembre, para invierno de los meses de diciembre, enero y febrero y para primavera de los meses de marzo y abril (tres sitios en 1997 y 1998 y cuatro sitios en 1999).

| Epoca de aplicación | Año | | | Promedio |
|---------------------|------------------|------|------|----------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | |
| | ----- t/ha ----- | | | |
| Testigo sin N | 8.0 | 5.8 | 7.0 | 6.9 |
| Otoño | 9.4 | 8.5 | 8.6 | 8.8 |
| Invierno | 9.3 | 9.4 | 9.2 | 9.3 |
| Primavera | 9.7 | 10.0 | 9.6 | 9.8 |

Tabla 5.- Efecto del sistema de labranza en la respuesta del maíz a dosis de N (valores promedio de tres sitios en 1999).

| Dosis de N kg/ha | ----- Rendimiento de maíz (t/ha) ----- | | |
|---------------------|--|-------------------|-------------------|
| | Siembra directa | Labranza en fajas | Labranza reducida |
| 0 | 6.4 | 7.4 | 8.0 |
| 45 | 8.9 | 9.6 | 9.8 |
| 90 | 11.2 | 11.2 | 12.0 |
| 135 | 12.5 | 12.7 | 12.4 |
| 180 | 13.4 | 13.6 | 13.6 |
| 246 | 13.6 | 13.9 | 13.9 |

primavera la época de aplicación de N no afectó notablemente el rendimiento de granos y lo opuesto se observó en los sitios de alta precipitación en primavera. Dosis adicionales de N, sobre las dosis normal utilizada, aumentaron los rendimientos en los sitios donde las aplicaciones de otoño e invierno fueron menos efectivas, sin embargo, estas aplicaciones no aumentaron el rendimiento al nivel obtenido con las dosis normales aplicadas en primavera (datos no presentados). Es interesante indicar que la práctica de labranza no afectó la respuesta a la época de aplicación de N (datos no presentados).

Además de los factores previamente mencionados, las prácticas culturales (selección del híbrido, manejo del suelo, control de plagas, etc.) también pueden influenciar la respuesta del maíz al N. La labranza puede afectar la disponibilidad de N, y su uso por el cultivo, por alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se iniciaron recientemente experimentos para investigar el impacto del manejo del suelo sobre las exigencias de N por el maíz. Algunos datos preliminares se presentan en la Tabla 5. Se evaluaron las tres prácticas de labranza más comunes al momento en Illinois. Estas prácticas son la labranza reducida (escarificación en otoño seguida de

una rastra en la primavera), labranza en fajas (se labra el suelo solamente donde se sembrará el cultivo) y siembra directa (sin labranza del suelo). La labranza reducida deja poco o nada de residuos del cultivo en la superficie del suelo cuando el cultivo anterior es soya y menos de 30% de cobertura cuando el cultivo anterior fue maíz y no se lo considera como una práctica de conservación. La labranza en fajas y la siembra directa (cero labranza) dejan más de 30% de residuo de cobertura y son consideradas prácticas conservacionistas.

Los datos iniciales indican que la labranza puede influenciar la respuesta del maíz al N, particularmente a dosis bajas cuando el suplemento de N es limitante (Tabla 5). En los tratamientos que no recibieron N, donde el suplemento de todo el N para el cultivo provino de la mineralización el N orgánico, existió una clara ventaja de la labranza reducida sobre la labranza en fajas y de ésta sobre la siembra directa. Este efecto puede deberse a mejor aeración y mayor temperatura en el suelo causadas por la labranza que permiten la descomposición más rápida de los residuos de las cosechas y de la materia orgánica del suelo. Esta diferencia persiste con las dosis más bajas de N que no permitieron obtener rendimientos óptimos (45 y 90 kg de N/ha), sin embargo, el efecto no se observó cuando la dosis de N estaba por encima de aquella necesaria para buen rendimiento. Estos datos preliminares muestran que la labranza puede afectar la respuesta en rendimiento a la aplicación de N, sin embargo, no dan idea si se deberían alterar las prácticas de fertilización con N de acuerdo con sistema de labranza utilizado.

En resumen, el N desempeña varios roles importantes en la planta de maíz que finalmente se expresan en el incremento en rendimiento por la reducción del aborto de los granos. Las necesidades de N son variables de acuerdo al año y al sitio, sin embargo, el requerimiento de N para rendimiento máximo rara vez excede los 20 kg de N por tonelada de grano producida. Cuando la soya es el cultivo que antecede al maíz, las necesidades de N se reducen significativamente. El suplemento de N como una mezcla de NO_3^- y NH_4^+ también puede incrementar la producción. Cuando más próxima sea la aplicación de N a la etapa de mayor requerimiento de la planta mayor es el rendimiento. La labranza, a pesar de afectar la producción cuando el suplemento de N es limitante, no afecta las dosis necesarias para obtener rendimientos máximos.

Literatura citada

- Below, F.E. 1995. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: Pressarakli, M. (ed.) Handbook of Plant and Crop Physiology. New York: Marcel Dekkar, Inc., p.275-301.
- Below, F.E., J.O. Cazetta, and J.R. Seebauer. 2000. Carbon/nitrogen interactions during ear and kernel development of maize. In: Physiology and Modeling Kernel Set in Maize. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.15-24. (CSSC Spec. Pub. N° 29)
- Bundy, L.G., T.W. Andpaski, and R.P. Wolkowski. 1993. Nitrogen credits in soybean-corn crop sequences on three soils. *Agronomy Journal* 85: 1061-1067.
- Burkart, M.R., and D.E. James. 1999. Agricultural-nitrogen contributions to hypoxia in the Gulf of Mexico. *Journal of Environment Quality* 28: 850-859.
- Carpenter, S.R., N.E. Caraco, D.L. Correll, R.W. Howarth, A.N. Sharpley, and V.H. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Applic.* 8: 559-568.
- Hesterman, O.B. 1988. Exploiting forage legumes for nitrogen contribution in cropping systems. In: Hargrove, W.L. (ed.) *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.155-166. (ASA Spec. Pub. N° 51).
- Schoessow, K.A., K.C. Killian, and L.C. Bundy. 1996. Site-specific prediction of soybean nitrogen contributions. In: North Central Ext. Indus. Soil fert. Conf., St. Louis, MO., 20-21, Nov. *Proceedings* p.27-40.
- Smiciklas, K.D., and F.E. Below. 1992. Role of nitrogen form in determining yield of field-grown maize. *Crop Science* 32: 1220-1225.
- Stangel, P.J. 1984. World nitrogen situation, trends, outlook, and requirements. In: Hauck, R.D. (eds.) *Nitrogen in Crop Production*. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.23-54.
- Uhart, S.A., and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: 11. Carbon nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science* 35:1384-1389.
- Vanotti, M.B, and L.G. Bundy. 1994a. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. *J. Prod. Agric.* 7: 243-249.
- Vanotti, M.B, and L.G. Bundy. 1994b. Corn nitrogen recommendations based on yield response data. *J. Prod. Agric.* 7: 249-256. 🌾