

## EFFECTO DE LA NUTRICION CON LA MEZCLA AMONIO/NITRATO EN EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCION DE MAIZ\*

El nitrógeno (N) es el único de los nutrientes minerales que puede ser utilizado en dos formas distintas, como nitrato ( $\text{NO}_3$ ) o como amonio ( $\text{NH}_4$ ). Aun cuando en general se utiliza fertilizantes en forma amoniacal en la producción de maíz, el  $\text{NO}_3$  es la principal forma de N en el suelo debido a la nitrificación que transforma el  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$ . El  $\text{NO}_3$ , además de ser la forma más disponible para las plantas es también responsable de las pérdidas de N, ya que es susceptible a lixiviación o denitrificación. Por esta razón, el incrementar la proporción de  $\text{NH}_4$  en el suelo es una de las formas de minimizar los aspectos negativos (tanto económicos como ambientales) asociados con el uso de fertilizantes nitrogenados.

El incremento de  $\text{NH}_4$  en el suelo puede también mejorar la productividad ya que el maíz puede crecer más rápido y producir más grano cuando se aplica una mezcla de  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$  que cuando solo se aplica  $\text{NO}_3$  (Below and Gentry, 1987, Schrader et al., 1972). Aun cuando la mayoría de esta evidencia se ha obtenido en estudios de hidroponía, donde es posible controlar mejor las relaciones  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$ , existe también alguna evidencia de que el incremento de la disponibilidad de  $\text{NH}_4$  en el suelo es también benéfica (Huffman, 1989). Sin embargo, no se ha dilucidado cuales procesos fisiológicos son alterados en forma benéfica con la aplicación de una mezcla de  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$ . Estos procesos pueden involucrar algunos factores asociados con el crecimiento y desarrollo de la planta. El objetivo de esta investigación fue la de caracterizar el papel de la nutrición con una mezcla  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$  en el mejoramiento de la productividad del maíz.

### MATERIALES Y METODOS

Durante un período de seis años se condujeron una combinación de estudios hidropónicos y de campo, para examinar los efectos de la nutrición de maíz con una mezcla  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$  en comparación con la nutrición con solamente  $\text{NO}_3$ . En ambos tipos de experimentos se utilizaron híbridos genéticamente distintos y de alto rendimiento.

Los estudios hidropónicos utilizaron sistemas capaces de cultivar plantas hasta la madurez bajo regímenes de luz y temperatura similares a las plantas cultivadas en campo,

pero que permitían el control del suplemento de las formas de N. En estas condiciones el desarrollo morfológico y la apariencia de las plantas fue similar a aquellos obtenidos en el campo.

Las parcelas de campo se localizaron en un suelo altamente productivo de textura franco limosa con aproximadamente 3% de materia orgánica. Los tratamientos de N, se suplementaron en la etapa de tres hojas por medio de aplicaciones en banda de 200 a 225 kg/ha de N en forma granular, ya sea como nitrato de calcio (parcelas con solamente  $\text{NO}_3$ ) o urea (parcelas de la mezcla  $\text{NO}_3/\text{NH}_4$ ). En las parcelas de la mezcla de las dos formas de N se mantuvo el N en forma de  $\text{NH}_4$  mediante la aplicación de un inhibidor de nitrificación experimental aplicado junto con la urea. En todos los casos, los tratamientos con N fueron incorporados mediante remoción del suelo y con la aplicación de una lámina de agua de 2.5 mm.

En los dos tipos de parcelas se midieron varios parámetros asociados con el crecimiento y desarrollo de la planta durante el ciclo de crecimiento. Además se determinaron, a la madurez fisiológica del cultivo, el rendimiento y los componentes del rendimiento así como la acumulación y distribución de los constituyentes químicos en la planta.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los estudios hidropónicos, conducidos para manipular la forma de N, han incluido siempre un tratamiento de suplemento continuo de una mezcla de 50 % de  $\text{NO}_3$  y 50 % de  $\text{NH}_4$ , comparado con un tratamiento de suplemento continuo de  $\text{NO}_3$ . En estos estudios, las plantas que recibieron la mezcla de las dos formas de N produjeron siempre rendimientos más altos de grano que aquellos que recibieron  $\text{NO}_3$  (Tabla 1). El porcentaje de incremento en rendimiento fue relativamente consistente durante el período de cinco años (10-14%), a pesar de las grandes diferencias en rendimiento encontradas en los diferentes años y con los diferentes híbridos. El promedio de años a través de híbridos indicó que la nutrición con la mezcla de las dos formas de N produjo un incremento del 12% en el rendimiento de grano en comparación con el tratamiento de solamente  $\text{NO}_3$ .

\* Artículo resumido del original escrito por Below, F., E. Gentry, y D. Smiciklas. 1991. Role of mixed-nitrogen nutrition in enhancing productivity of maize. Memorias del Simposio: Effects of enhanced ammonium diets on growth and yield of wheat and corn. Foundation of Agronomic Research, Atlanta, Georgia.

**Tabla 1. Efecto de la nutrición de maíz con una mezcla de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> y solamente NO<sub>3</sub> en el rendimiento de grano y en los componentes del rendimiento de maíz, cultivado hasta la madurez en estudios hidropónicos y en un período de cinco años. Valores promediados a través de todos los híbridos evaluados.**

Tratam.	Año					Promedio
	1987	1988	1989	1990	1991	
NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	Rendimiento de grano (g/planta)					
100/0	158	187	203	165	181	179
50/50	181	208	224	186	203	200
	No. de granos/planta					
100/0	552	692	689	630	695	652
50/50	646	772	756	721	782	737
	Peso del grano (mg/grano)					
100/0	284	274	300	264	262	277
50/50	182	271	295	260	261	274

En todos los casos, la mezcla de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> indujo incrementos en el rendimiento que fueron el resultado de más granos por planta, ya que el peso seco de grano no fue afectado por los tratamientos de N (Tabla 1). El incremento en el número de granos con el tratamiento de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> fue posible al mejorar el llenado de la punta de las mazorcas (menos aborto de grano). Estos resultados sugieren un efecto fisiológico directo de la forma de N en el desarrollo del grano, ya que se supone que los dos tratamientos tienen un suplemento más que adecuado de N disponible. Estos resultados también implican que el efecto benéfico de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> se produce durante el período de desarrollo reproductivo.

Se condujeron otros estudios hidropónicos para evaluar más críticamente la etapa de crecimiento de maíz, en la cual el NH<sub>4</sub> debe estar presente para maximizar los incrementos en rendimiento asociados con la nutrición con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>. En este caso, se suplió a las plantas mezclas de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> durante períodos específicos de crecimiento aplicándose NO<sub>3</sub> en el resto del ciclo de crecimiento. El aplicar la mezcla hasta solamente el estado de crecimiento V7 no incrementó el rendimiento de grano en comparación con plantas cultivadas con solamente NO<sub>3</sub> (Tabla 2). Por el contrario el suplemento de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> hasta el estado de crecimiento V14, o más adelante, o entre V14 y R2 incrementó el rendimiento de grano en comparación con plantas

cultivadas con solamente NO<sub>3</sub> (Tabla 2). En relación a cuanto tiempo el amonio debe estar disponible, los resultados indican que las plantas que recibieron la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> hasta el estado R2 de crecimiento, produjeron esencialmente el mismo rendimiento que aquellas a las cuales se suplementó la mezcla durante todo el ciclo vegetativo. Estos datos sugieren que el mejoramiento en el rendimiento debido a la mezcla de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> ocurre después del crecimiento vegetativo temprano, pero antes de la finalización del llenado de grano. Este período corresponde al estado de crecimiento en el cual se determina el potencial reproductivo. Aun cuando la aplicación de la mezcla de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> aplicado a cualquier época durante este período incrementa el rendimiento parece que para obtener máximo rendimiento es necesario que NH<sub>4</sub> esté disponible durante todo el intervalo entre V7 y R2.

El examen de los componentes reproductivos permite deducir que el NH<sub>4</sub> incrementa el rendimiento al mejorar el desarrollo reproductivo. Aun sin tomar en cuenta la época de disponibilidad, la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> indujo incrementos en rendimiento que estuvieron asociados con más granos por planta (Tabla 2), ya que el peso de grano no cambió por efecto de los tratamientos de N. Igual como lo ocurrido con el rendimiento de grano, el número de granos se maximizó cuando la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> estuvo disponible hasta el estado R2. En todos los casos, el incremento en el número de granos observado en los tratamientos en los que se aplicó la mezcla, obedece a la reducción del aborto de grano ya que el potencial de formación de grano a nivel de óvulo fue similar para todos los tratamientos (Tabla 2). Se ha demostrado que

**Tabla 2. Efecto de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> (50/50), aplicada a diferentes épocas durante el crecimiento, en el rendimiento de grano y los componentes reproductivos del maíz cultivados hasta la madurez en experimentos hidropónicos. Valores promediados a través de todos los híbridos evaluados.**

Epoca de disponibilidad de N	Rendim. de grano	No. de granos	Ovulos poten.	Aborto granos
	g/planta	No./planta	%	
NO <sub>3</sub> continuo	181	695	952	27
Hasta V7	182	706	945	25
Hasta V14	191	725	915	21
Entre V14 y R2	192	733	943	22
Hasta R2	199	777	961	19
NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> continua	203	782	949	18

**Tabla 3. Efecto de la forma de N aplicada al suelo en los parámetros de productividad en maíz cultivado hasta la madurez en parcelas de campo. Valores promediados a través de cinco híbridos y cinco años.**

Trat.	Rendimiento de grano	Acumulación en toda la planta		
		Materia seca	N	Índice de cosecha
		g/planta		%
NO <sub>3</sub>	182	351	3.7	52
NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	192**	366*	4.1*	53

\*, \*\*Significativos a nivel de 0.01 y 0.05 respectivamente. (Adaptado de Smiciklas, 1991).

incrementando el nivel de N de deficiente a suficiente también se incrementa el número de granos, más bien por descenso del aborto de grano que por afectar el potencial de los óvulos para producir grano (Lemcoff y Loomis, 1986). Aun cuando las plantas tratadas con la mezcla contienen niveles más altos de N que aquellas que se cultivaron solamente con NO<sub>3</sub> (Below and Gentry, 1987; Tabla 2), parece poco probable que el nivel de N fuese limitante en los cultivos hidropónicos ya que ambos tratamientos recibieron el mismo nivel de nutrientes en la solución nutritiva. Por lo tanto, parece que las plantas de maíz no pudieron absorber suficiente nitrógeno para obtener rendimientos más altos cuando se utilizó solamente NO<sub>3</sub>, o que el NH<sub>4</sub> tuvo un efecto directo sobre el desarrollo del grano.

#### ESTUDIOS DE CAMPO

Se instalaron ensayos de campo para determinar si es posible establecer tratamientos con distintas formas de N en el suelo y para determinar si se pueden duplicar en el campo los incrementos en rendimiento obtenidos con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> en cultivos hidropónicos. Después de la aplicación de los tratamientos a las parcelas de campo, se analizaron extractos de suelo para verificar si las parcelas de NO<sub>3</sub> contenían predominantemente esta forma de N, y que las parcelas de la

mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> contenían un porcentaje mayor de NH<sub>4</sub> durante la mayoría del ciclo de crecimiento.

Al comparar los tratamientos se observó que las parcelas que recibieron la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> presentaron, en promedio, rendimientos 5% mayores que las parcelas tratadas solamente con NO<sub>3</sub>. Este comportamiento fue asociado primeramente con la producción de materia seca de toda la planta (Tabla 3).

Cuando se examinaron individualmente los 5 híbridos evaluados en este estudio, se observó una interacción entre variabilidad específica de los híbridos y la respuesta a la forma de N aplicado. En 3 de los 5 híbridos se incrementó significativamente (5 % de probabilidad) la producción de grano cuando se aplicó la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> comparado con solamente NO<sub>3</sub>, y en uno de los híbridos se incrementó el rendimiento al 10 % de probabilidad (Tabla 4).

Aun cuando el potencial de rendimiento de grano varió entre los genotipos evaluados, tanto los híbridos precoces (LHE136xLH82) y los híbridos tardíos (B73xLH51) respondieron a la aplicación de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>. El incremento en productividad de los híbridos como respuesta a la aplicación de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> estuvo asociada con cambios en el desarrollo de la mazorca y el grano (Tabla 4). Por ejemplo, la nutrición con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> redujo la magnitud del aborto de granos en el híbrido B73xLH51 mientras que incrementó el número potencial de óvulos para producir grano en el híbrido LH74xLH82.

Aun cuando no se ha dilucidado completamente que procesos fisiológicos son alterados por la nutrición de la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>, los datos obtenidos en esta

**Tabla 4. Efecto de la forma de N aplicado en el rendimiento y los componentes de reproducción de cinco híbridos de maíz cultivados hasta la madurez en parcelas de campo. Valores promediados a través de dos años.**

Híbridos	Rendimiento de grano		Óvulos potenciales		Aborto de grano	
	Forma predominante de N					
	NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>
g/planta		No./planta		%		
LH74xLH82	165	173	1635	1920	29	29
B73xLH51	184	198	1081	1098	26	18
LHE136xLH123	194	196	1044	1169	26	30
DMS (0.05)	11		243		7	

(Adaptado de Smiciklas, 1991).

Tabla 5. Efecto de la forma de N y de la aspersión de citoquinina en los parámetros de productividad de maíz cultivadas hasta la madurez en parcelas de campo. Valores promediados a través de dos años.

Citoquinina exógena	Forma de N predominante	Rend. de grano	Número de granos	Índice de cosecha
		g/planta	No./planta	%
Control	NO <sub>3</sub>	157	549	53
	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	174	599	56
Foliar	NO <sub>3</sub>	171	629	57
	NO <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub>	169	586	56
DMS (0.05)		12	44	2

(Adaptado de Smiciklas, 1991)

investigación indican que los resultados se deben al mejoramiento en el desarrollo del proceso de reproducción y a una mejor distribución de los productos de la fotosíntesis hacia el grano. Un incremento en el suplemento de citoquininas puede ser el responsable parcial de estos cambios, debido a que las citoquininas juegan un rol importante en la formación de tejido reproductivo. Por esta razón, se condujeron estudios de campo para examinar los procesos fisiológicos alterados por la nutrición con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> y para investigar el rol de las citoquininas en inducción del incremento en el rendimiento de maíz. Se aplicó citoquinina foliarmente durante el ciclo de crecimiento vegetativo (6 aplicaciones de 22 µm de 6-benzylaminopurina en los estados de crecimiento V4, V6, V8, V10, V14 y V18) en plantas que crecieron en parcelas de campo tratados con NO<sub>3</sub> y con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>.

En las plantas del tratamiento control (sin aspersión foliar), la nutrición con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> incrementó el rendimiento de grano en 11% hecho que estuvo asociado con un alto índice de cosecha y un mayor número de granos (Tabla 5). En forma similar a observaciones previas, la nutrición con la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>, de plantas sin aplicación de citoquininas, incrementó la acumulación de N en toda la planta y redujo la magnitud de aborto de granos.

Las aplicaciones de citoquinina no afectaron el rendimiento de grano, el número de granos o la distribución de la materia seca en las parcelas que recibieron la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> (Tabla 5). Por el contrario, las aplicaciones de citoquinina en las parcelas que solamente recibieron NO<sub>3</sub> incrementaron los rendimientos de grano a rendimientos iguales a los producidos en las parcelas que recibieron la mezcla de formas de N. Esto último es el resultado del incremento

del número de granos y la distribución de la materia seca. El mayor número de granos obtenido en las parcelas que recibieron solamente NO<sub>3</sub>, a las cuales se aplicó citoquinina, estuvo también asociado con una reducción en el aborto de granos.

El hecho de que los incrementos en rendimiento como resultado de los tratamientos con citoquinina en las plantas cultivadas en parcelas que solo recibieron NO<sub>3</sub> son similares a aquellos obtenidos en parcelas que recibieron la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> sin citoquinina (mejor distribución de la materia seca y decrecimiento del aborto de grano), sugiere que el incremento en productividad de las plantas que

recibieron la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> puede deberse a un mejoramiento en el suplemento de citoquininas endógenas.

## RESUMEN

Aun cuando los incrementos en rendimiento varían en función del genotipo y de los métodos culturales, los resultados de estos experimentos hidropónicos y de campo produjeron suficiente evidencia que indica que la nutrición con una mezcla de NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> incrementa la producción de maíz. Este incremento ocurre como resultado de alteraciones de importantes procesos fisiológicos como el desarrollo reproductivo, adquisición de N, producción de materia seca y la distribución de los asimilados. El suplemento de citoquininas endógenas puede también jugar un importante papel. Para mejorar el rendimiento al máximo, la mezcla NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> debe estar disponible durante todo el período durante el cual se determina el potencial reproductivo (entre los estados de crecimiento V7 y R2). Aun cuando es necesario más trabajo en esta área de investigación, la perspectiva de utilizar la nutrición NO<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub> para mejorar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados es alentadora.

## BIBLIOGRAFIA

- Below, F.E., and L.E. Gentry. 1987. Effect of mixed N nutrition on nutrient accumulation, partitioning, and productivity of corn. *J. Fert. Issues* 4:79-85.
- Below, F.E., and L.E. Gentry. 1991. Maize productivity as influenced by mixed N supplied before or after anthesis. *Crop Sci.* (in press).
- Below, F.E., and J.A. Heberer. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield of wheat. *J. Plant Nutri.* 13:667-676.

---

Huffman, J.R. 1989. Effects of enhanced ammonium nitrogen availability for corn. *J. Agron. Educ.* 18:93-97.

Lemcoff, J.H., and R.S. Loomis. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26:1017-1022.

Schepers, J.S., and F.E. Below. 1987. Influence of corn hybrids on nitrogen uptake and utilization efficiency. p. 172-186. In D. Wilkinson (e.d.) *Proc. Corn and Sorghum Industry Res. Conf.*, 42nd, Chicago, IL 10-11 Dec. American Seed Trade Association, Washington, D.C.

Schrader, L.E., D. Domska, P.E. Jung, and L.A. Peterson. 1972. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 64:690-695.

Smiciklas, K.D. 1991. Physiological role of mixed nitrogen nutrition in enhancing productivity of maize. Ph. D. thesis. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign.