

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE POBLACIONES Y LÍNEAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EFICIENTES EN LA ASIMILACIÓN DE NITRÓGENO

Alexander Hernández¹, Venancio Barrientos², Alberto Chassaigne² y Jesús Alezones²

RESUMEN

El rendimiento en grano bajo estrés es el principal y más importante carácter para la selección en germoplasma de maíz y el uso de caracteres secundarios puede mejorar la eficiencia en la selección. El objetivo de este trabajo fue evaluar y seleccionar materiales potenciales en el uso eficiente del nitrógeno a partir del germoplasma élite de la Fundación para la Investigación Agrícola (DANAC), estado Yaracuy, Venezuela. Se evaluaron 5 poblaciones y 10 líneas (5 dentadas y 5 duras). En su primera fase, el ensayo se realizó en el umbráculo utilizando bolsas con un suelo franco arenoso con bajo contenido de nitrógeno. Se aplicaron dosis de nitrógeno equivalentes a 200, 100 ó 0 kg/ha. Los tratamientos se organizaron en un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones donde el nivel de N ocupó las parcelas principales y los genotipos las secundarias. En la segunda fase, este mismo diseño fue llevado a condiciones de campo. Se estableció un orden de selección en función de los mayores valores de biomasa, rendimiento de grano, contenido de nitrógeno foliar e índice de eficiencia de rendimiento de grano así como los menores intervalos entre floración masculina y femenina, y consumo de nitrógeno. Los siete materiales más eficientes fueron CIMCALI-SA6, Nitrodent, La Posta Sequía C3, Nitroflint, PC129L-4-⊗, Tuxpeño Sequía C8 y L25-1#1.

Palabras clave adicionales: Evaluación de germoplasma, biomasa foliar y radical, nutrición mineral

ABSTRACT

Evaluation and selection of populations and lines of corn (*Zea mays* L.) efficient in nitrogen assimilation

Grain yield under stress is the main and more important character during maize germplasm selection, and the use of secondary characters improves the efficiency of this selection. The objective of this work was to evaluate and select materials with efficient use of nitrogen from the elite germoplasma of the Foundation for the Agricultural Investigation (DANAC), Yaracuy State, Venezuela. Five populations and 10 lines were evaluated (5 dent and 5 flint). The first experiment phase was carried out in the shelter in bags filled with a sandy loam soil low in nitrogen. Three nitrogen doses were applied: 200, 100 and 0 kg/ha. The treatments were organized in a split-plot design with four replications, with N levels as main plots and genotypes as subplots. For the second phase, plants were taken to the field with the same experimental design. A selection order was established in function of the largest values of biomass, grain yield, leaf nitrogen content and efficiency index of grain yield; as well as the lowest intervals for male and female bloom, and nitrogen consumption. The seven more efficient materials were CIMCALI-SA6, Nitrodent, La Posta Sequía C3, Nitroflint, PC129L-4-⊗, Tuxpeño Sequía C8 and L25-1#1.

Additional key words: Germplasm evaluation, aerial and root biomass, mineral nutrition

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los cereales está directamente relacionado con el uso del nitrógeno (Hageman, 1979). Este nutrimento es el factor que con mayor frecuencia limita la productividad del maíz en las regiones tropicales aunque teóricamente puede

solucionarse con la adición de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, es un insumo costoso y muchas veces utilizado ineficientemente.

La agricultura moderna basada en fertilizantes químicos presenta problemas asociados al riesgo de contaminación de las aguas del suelo así como al alto consumo de

Recibido: Noviembre 28, 2002

Aceptado: Abril 28, 2003

¹ Dpto. de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: alexher55@hotmail.com

² Danac. Fundación para la Investigación Agrícola. Programa Maíz. San Javier, estado Yaracuy, Venezuela.

energía requerida para su elaboración (FAO, 1990). En tal sentido, un programa de mejoramiento enfocado al desarrollo de nuevos cultivares con alta capacidad de utilizar el nitrógeno podría disminuir el problema ambiental y económico asociado al uso de los fertilizantes nitrogenados inorgánicos.

El mejoramiento de plantas hasta años recientes se enfocó a la selección de genotipos con altos potenciales de rendimientos en condiciones de altos niveles de nitrógeno en el suelo. La variación genética en la demanda y utilización del nitrógeno entre las especies cultivadas han sido reportadas para varios cultivos (Hageman, 1979). La utilización de variedades mejoradas que posean elevadas tasas de absorción, asimilación y/o redistribución de nitrógeno desde las estructuras vegetativas hacia las reproductivas puede ser un elemento tecnológico fundamental en los sistemas agrícolas.

Andrade et al. (2002) encontraron relación entre el bajo nivel de N en el suelo y el número de granos en la mazorca lo cual afectó directamente el rendimiento. Cabrera et al. (1996), en un estudio sobre caracterización fisiológica de cultivares tropicales, demostraron que existe a nivel de plántulas una respuesta diferencial en varios caracteres morfo-fisiológicos dependiente del cultivar y vinculada con la absorción y el nivel de N lo cual les permitió identificar cultivares con mayor potencialidad de absorción de N.

La variabilidad genética de los parámetros antes mencionados ha sido ampliamente documentada en maíz (Pollmer et al., 1979; Muruli y Paulsen, 1981; Eghball y Maranville, 1991), existiendo la posibilidad de realizar selecciones para obtener cultivares eficientes en el uso del nitrógeno (Shannon et al., 1994; Cabrera et al., 1996). Edmeades et al. (1996) demostraron que la selección recurrente para sequía y baja fertilidad incrementó el rendimiento en maíz tropical. Así, la población La Posta Sequía incrementó el rendimiento al pasar 1,91 t/ha en el C₀ a 2,53 t/ha en el C₃. De igual manera, la población Tuxpeño Sequía pasó de 1,75 t/ha en C₀ a 2,39 t/ha en C₈.

El rendimiento en grano bajo estrés es el principal y más importante carácter durante la selección, y la eficiencia de ésta es mejorada con

el uso de caracteres secundarios (Eghball y Maranville, 1991). El objetivo de este trabajo fue evaluar y seleccionar materiales de maíz provenientes de un banco de germoplasma promisorio en el uso eficiente del nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado en el ensayo estuvo formado por 5 poblaciones y 10 líneas (5 con granos dentados y 5 duros), las cuales pertenecen al germoplasma elite de la Fundación para la Investigación Agrícola (DANAC), ubicada en San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. La primera fase del trabajo se realizó en el umbráculo, usando bolsas con un suelo de textura franco arenosa con muy bajo contenido de nitrógeno. El suelo se fertilizó uniformemente con fósforo y potasio de manera de llevarlo al equivalente de 100 y 90 kg/ha de P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Se aplicaron dosis diferenciales de nitrógeno de aproximadamente 200 (+N), 100 (N) ó 0 (-N) kg/ha. El material vegetal y los tratamientos de N se organizaron en un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones en donde el nivel de nitrógeno en el suelo fue el factor principal y los 15 genotipos el factor secundario. Las plantas fueron regadas diariamente durante los 40 días de esta fase del ensayo. Las condiciones del umbráculo se ajustaron a una temperatura promedio de 29 °C y una humedad relativa de 70%. Las características evaluadas fueron biomasa aérea (peso seco foliar-PSF) y biomasa radical (peso seco radical-PSR), concentración de N en la lámina foliar (% N), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y eficiencia en el consumo de nitrógeno (concentración de N en la planta/ N aplicado al suelo). El mismo diseño experimental de esta fase fue llevado al campo del DANAC (10° 21' N, 68° 39' W y 107 msnm). Cada parcela estuvo formada por dos hileras de 5 m de largo separadas a 0,80 m con plantas separadas a 0,20 m. Se aplicó 0, 100 ó 200 kg de N/ha (-N, N y +N), según el tratamiento respectivo. Las características evaluadas en el experimento de campo fueron rendimiento del grano (Rend), intervalo entre floración masculina y femenina (ASI), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM) y el índice

de eficiencia del rendimiento del grano [(Rend en -N/ promedio experimental del Rend en -N) x (Rend en +N/ promedio experimental en +N)].

Los resultados se evaluaron mediante análisis de varianza y separación de medias según la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ensayo del umbráculo los genotipos y niveles de nitrógeno utilizados mostraron diferencias para todas las características de biomasa y de contenido de N foliar (Cuadro 1). En el experimento de campo los niveles de nitrógeno no permitieron diferenciar para altura de planta y altura de mazorca pero sí se observó una diferencia significativa para ASI e influyó significativamente en el rendimiento del grano. La fuente genotipo para todas las características evaluadas fue

altamente significativa.

La interacción genotipo por nitrógeno (GxN) tanto en el ensayo como en el experimento no fue significativa, indicando que el nivel bajo de nitrógeno afectó en igual proporción a los genotipos aún cuando cada genotipo fue diferente a los otros en la magnitud de su respuesta ante el factor estrés.

La discriminación de las medias y el orden de selección se muestran en el Cuadro 2. Para el peso seco foliar (PSF) los genotipos superiores fueron Nitrodent, La Posta Sequía C3, CIMCALI-SA6 y Nitroflint con valores entre 18,3 y 17,4 g/planta. Los genotipos con mayor materia seca radical (PSR) fueron Nitrodent y Nitroflint. Los materiales con mayor intervalo estigma-antesis fueron PC160-1, D07-7, P21-104, D25, F04 y F27 con valores entre 1,78 y 1,66 días.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza para los diferentes caracteres (siglas identificadas previamente) evaluados a nivel de umbráculo y campo en quince genotipos de maíz

	Umbráculo					
	gl	AP	DT	PSF	PSR	% N
G	14	307,62 **	13,46 **	37,90 **	1,27 **	0,01 *
N	2	433,23**	30,23 **	118,52 **	1,76 **	0,05 **
GxN	28	28,86 ns	2,56 ns	4,90 ns	0,11 ns	0,003 ns
C.V.		12,58	13,15	14,50	6,19	3,75
	Campo					
	gl	AP	AM	ASI	Rendimiento	
G	14	1677,29 **	619,80 **	0,194 **	2079,64 **	
N	2	62,39 ns	133,18 ns	0,29 *	1813,90 **	
GxN	28	180,92 ns	107,80 ns	0,04 ns	82,05 ns	
C.V.		10,90	16,71	15,50	14,67	

* y **: Significativo para $P \leq 0,05$ y $0,01$, respectivamente

En el Cuadro 3 aparecen las correlaciones entre caracteres. Las características de biomasa (PSF y PSR) estuvieron correlacionadas positiva y significativamente con el rendimiento del grano tanto en condiciones de -N como de +N ($r=0,85^{**}$, $r=0,86^{**}$ N=60 para PSF y $r=0,69^{**}$, $r=0,77^{**}$ N=60 para PSR). Estos resultados concuerdan con los resultados de Cabrera et al. (1996). Para la característica ASI se encontró una correlación negativa y significativa con el rendimiento del grano en -N y +N ($r=-0,62^{**}$, $r=-0,74^{**}$ N=60). Este comportamiento se corresponde con los resultados de Bolaños et al. (1993), Edmeades et al. (1995) y San Vicente et

al. (1996). El contenido de nitrógeno foliar, a los 40 días después de la siembra (fase de umbráculo), no se correlacionó con el rendimiento del grano a los niveles de nitrógeno aplicados al suelo.

Los materiales con mejor índice de eficiencia de rendimiento del grano aparecen la Figura 1A. Se observa que los mejores materiales fueron CIMCALI-SA6, Nitrodent, La Posta Sequía C3, Nitroflint y PC129L-4-⊗. En la Figura 1B se representa el índice de consumo mostrado por los quince genotipos evaluados; resaltan como los más consumidores de nitrógeno los genotipos La Posta Sequía C3, L20-2#10, P21-

104, PC129L-4-⊗, Tuxpeño Sequía C8 y F20, con valores superiores a 0,96.

Los siete materiales más eficientes, después de establecer el orden de selección, fueron las poblaciones CIMCALI-SA6, Nitrodent, La Posta Sequía C3, Nitroflint y Tuxpeño Sequía C8, y las líneas PC129L-4-⊗ y L25-1#1. Todas las poblaciones estudiadas demostraron su buen

potencial en la eficiencia de la asimilación del nitrógeno; todas ellas corresponden a ciclos avanzados de mejoramiento para sequía y déficit de nitrógeno en programas conducidos en el CIMMYT (México) y EMBRAPA (Brasil). De las diez líneas élites evaluadas, se observa que sólo dos mostraron potencialidad en la eficiencia de asimilación del nitrógeno.

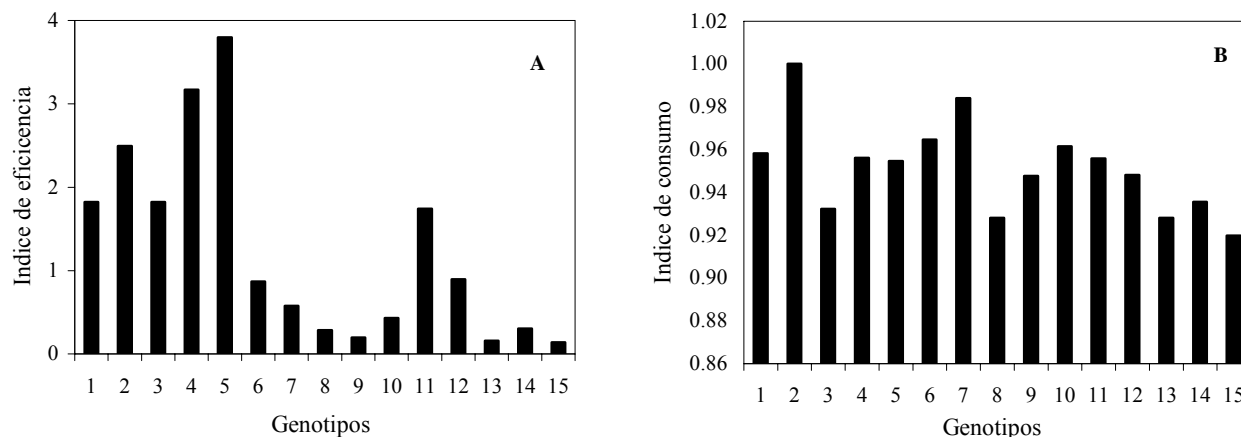


Figura 1. Índice de eficiencia de rendimiento de grano en -N y +N (A) e índice de consumo de nitrógeno (B) en 15 genotipos de maíz (identificación de genotipos según Cuadro 2)

Cuadro 2. Discriminación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan y orden de selección para diferentes características evaluadas en 15 genotipos de maíz

Número	Genotipos	PSF (g) ¹	PSR (g) ¹	DT (mm)	% N ¹	ASI (d) ¹	Rend (kg/ha) ¹	Orden Selección
1	Tuxpeño Sequia C8	16,2 bc	7,36 ef	14,3 abc	1,87 abc	1,60abcde	69,49 b	6
2	La Posta Sequia C3	17,5 ab	7,79 cd	15,4 ab	1,93 a	1,35f	75,90 ab	3
3	Nitroflint	17,4 ab	8,12 ab	14,1 abc	1,87 abc	1,63abcde	70,44 b	4
4	Nitrodent	18,3 a	8,30 a	15,7 a	1,89 abc	1,53bcdef	78,08 ab	2
5	CIMCALI- SA 6	17,5 ab	7,97 bc	15,7 a	1,87 abc	1,45cdef	81,27 a	1
6	L25-1#1	16,3 bc	7,79 cd	13,9 bc	1,91 ab	1,41ef	60,91 c	7
7	L20-2#10	14,0 def	7,33 ef	14,4 abc	1,93 a	1,63abcde	51,19 de	9
8	D07-7	13,4 ef	7,36 ef	12,0 d	1,85 bc	1,76ab	41,80 f	13
9	D25	12,2 f	7,54 de	13,5 cd	1,87 abc	1,69abc	36,86 f	15
10	P21-104	14,3 de	7,37 ef	13,3 cd	1,89 abc	1,70ab	43,53 ef	12
11	PC129L-4-⊗	16,6 abc	7,61 de	15,6 a	1,87 abc	1,59abcde	69,49 b	5
12	F20	16,2 bc	7,79 cd	14,5 abc	1,87 abc	1,44def	58,03 cd	8
13	F04	13,7 def	7,56 de	13,7 c	1,84 bc	1,67abcd	36,81 f	11
14	F27	12,9 ef	7,34 ef	15,5 ab	1,88 abc	1,66abcd	37,14 f	10
15	PC160-1	15,4 cd	7,12 f	14,3 abc	1,82 c	1,78 a	41,98 f	14

Los valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

¹. Valores transformados a la forma $\sqrt{(x+1)}$

Se busca con estas líneas incorporar adaptabilidad y excelencia en atributos agronómicos. Con estos siete materiales identificados se podrían formar dos poblaciones básicas que respondan al patrón heterótico

dentado por duro, con las cuales iniciar un programa de selección recurrente recíproca para aumentar el potencial de eficiencia a la tolerancia a bajo nitrógeno y ensamblar híbridos que respondan a este atributo.

Cuadro 3. Correlación entre caracteres relacionados con la eficiencia de absorción de nitrógeno de 15 genotipos de maíz evaluados con tres niveles de nitrógeno

	Rendimiento del grano		
	-N	N	+N
Contenido de N	0,29 ns	0,37 ns	0,43 ns
PSF	0,85**	0,93**	0,86**
PSR	0,69**	0,72**	0,77**
ASI	-0,62**	-0,72**	-0,74**

N= 180 ** Significativo al nivel 0,01

CONCLUSIONES

A nivel de umbráculo se encontraron respuestas diferenciales de los caracteres dependientes del genotipo que guardan relación con la absorción de nitrógeno a los niveles aplicados.

En el experimento de campo se confirmó la correlación de caracteres secundarios con el rendimiento de grano en las condiciones de bajo nitrógeno.

Se estableció un orden de selección que facilita la escogencia de los progenitores de la población básica con la cual se puede iniciar un programa de selección recurrente para tolerancia a condiciones de escasez de nitrógeno.

LITERATURA CITADA

1. Andrade F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science* 42:1173-1179.
2. Bolaños, J. G. Edmeades y L. Martínez. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. III Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. *Fields Crop Res.* 31:269-286.
3. Cabrera E., M. Núñez y F. San Vicente. 1996. Caracterización Fisiológica de Cultivares Tropicales de Maíz en Venezuela. *Simposium on Developing Drought and Low N Tolerant Maize.* CIMMYT, México.
4. Edmeades, G., S. Chapman, J. Bolaños, M. Banzinger y H. Laffitte. 1995. Recent evaluations of progress in selection for drought tolerance in tropical maize. *Proceeding of the Fourth Eastern and South African Regional Maize Conference.* Harare, Zimbabwe.
5. Edmeades G., M. Banzinger, S. Pandey, S. Chapman, A. Ortega, H. Lafitte y K. Fischer. 1996. Recurrent selection under managed drought stress improves grain yields in tropical maize. *Simposium on Developing Drought and Low N Tolerant Maize.* CIMMYT, México
6. Eghball, B. y J. Maranville. 1991. Interactive effects of water and nitrogen stresses on nitrogen utilization efficiency, leaf water status and yield of corn genotypes. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 22:1367-1382.
7. FAO. 1990. *Fertilizer yearbook.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
8. Hageman, R. 1979. Integration of nitrogen assimilation in relation to yield. *In:* E. J. Hewitt y C.V. Cutting (eds.). *Nitrogen Assimilation of Plants.* Academic Press, N.Y. pp. 591-611.

9. Muruli, B. y G. Paulsen, 1981. Improvement of nitrogen use efficiency and its relationship to other traits in maize. *Maydica* 26:63-73.
10. Pollmer W., D. Eberhard, D. Klein y B. Dhillon. 1979. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop Sci.* 19:82-86.
11. San Vicente F., S. Vasal, S. Mclean, M. Banziger, S. Ramanujam y M. Barandiaran. 1996. Performance of promising tropical late yellow imbred lines under water stress conditions. *Symposium on Developing Drought and Low Nitrogen Tolerant Maize.* CIMMYT, México.
12. Shannon, J., H. Lafitte y G. Edmeades. 1994. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. I. Selection criteria. *Field Crop Res.* 39: 1-14.