

Evaluación de poblaciones F2 de maíz de alta calidad de proteína en los Llanos Orientales de Colombia

Evaluation of maize genotypes with high quality protein for the Eastern Plains of Colombia

¹Claudia Milena Pérez P. ²Luis Alberto Narro L. y ³Óscar Eduardo Checa C.

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. claudiaperez_10@yahoo.es

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) Suramérica. l.narro@cgiar.org

³Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño, cicagrarias@hotmail.com

Recibido: 12-02-09 Aceptado: 10.12.09

Resumen

Doscientas cincuenta y tres familias F2 de alta calidad de proteína (ACP) provenientes del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) fueron evaluadas en dos ensayos diferentes en Menegua, una localidad ubicada en el departamento del Meta de los Llanos Orientales de Colombia. El diseño experimental utilizado fue de alpha lattice con 2 repeticiones y en cada ensayo se incluyó testigos ACP y normales. Los datos fueron analizados siguiendo el método REML (Restricted maximum Likelihood Method) del procedimiento GLM de SAS 9.1.3. Los criterios principales de selección fueron rendimiento de grano y textura de grano. Se seleccionaron 44 F2s con rendimiento superior al del testigo ACP y comparable al rendimiento de los testigos normales. La textura de grano de las familias seleccionadas fue semi-cristalino con buena dosis de genes modificadores lo que indica que el gen *o2* está presente. El paso siguiente será seguir el proceso de autofecundación de las familias F2 hasta llegar a F5 en que se hará los cruzamientos con probadores a fin de identificar líneas deseables para la formación de híbridos y sintéticos.

Palabras clave: *Zea mays* L., suelo ácido, poblaciones F2, gen opaco 2, rendimiento de grano, suelo ácido, Llanos Orientales de Colombia

Abstract

The objective of the work was to select genotypes with high quality protein maize (QPM) and adapted to acid soils. Corn populations F2 of QPM were evaluated in the eastern plains of Colombia, by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) México. Populations were divided in two groups of 70 and 90 genotypes. The experimental designs consisted on a Alpha Lattice of 10x7 and 10x9, with two repetitions, were. The main criteria of selection were grain yield (t/ha) and texture of endosperm, as indicator of modifier genes. The experiments were analyzed using the procedures MIXED and GLM with the Maxima method Restricted Probability (REML) of SAS 9.1.3. With the Alpha Lattice of 10x7, the results indicated that under conditions of acidity, the best genotype, accession 54 with 4,86t/ha, was similar to the commercial hybrid H-108 check. This material showed good texture also. In the Alpha Lattice of 10x9, the commercial material with greater yield was HEZC- 318 (7.57 t/ha) and the best accession, 33 and 77 did not out yield it, but the texture was good. The evaluation for modification of endosperm with the light table, 44 families F2 showed the presence of the gene *opaque 2* that transfers the ACP characteristics and high yield.

Key words: *Zea mays* L, acid soils, F2 populations, gene opaque 2, grain yield, Eastern plain Colombia.

Introducción

Los suelos ácidos (Oxisoles y Ultisoles) en el mundo comprenden 3.950 millones de hectáreas y constituyen una de las pocas áreas de expansión de la frontera agrícola. La toxicidad por aluminio, el bajo pH del suelo y la baja disponibilidad de fósforo son los principales limitantes de la producción en estos suelos. A nivel mundial se siembra 157 millones de hectáreas de maíz (Crop Life, 2009) de las cuales 26 millones están en suelos ácidos (Von Uexküll y Mutert, 1995). En Suramérica se dispone de 808 millones de hectáreas con suelos ácidos, de las cuales el 71% se encuentra en Brasil, 8.3% en Colombia, 6.9% en Perú, 6.4% en Venezuela, 4.9% en Bolivia. El maíz es parte de los sistemas de producción con potencial para desarrollo en estos ecosistemas.

Las variedades de maíz (*Zea mays*) de alta calidad de proteína (ACP) se vienen investigando desde la década de 1960. Actualmente se dispone de materiales de maíz ACP con rendimientos y características agronómicas similares a los de maíces comerciales normales. Las variedades ACP se caracterizan por la presencia de un gen recesivo opaco 2 (o2) en el cromosoma 7 que determina que el contenido de lisina y triptófano sea el doble en los maíces ACP comparado con los maíces normales. Adicionalmente, existen otros genes involucrados en la calidad de la proteína y la textura del grano. Algunos de estos genes determinan un endospermo suave que es un carácter agronómicamente desfavorable, asociado con menor potencial de rendimiento y mayor predisposición a daños de insectos en almacenamiento. Por tanto, es necesario seleccionar por textura vítrea (cristalina) del grano, carácter que está asociado con genes modificadores de ésta. Los trabajos de investigación en este sentido fueron realizados durante veinte años en el CIMMYT obteniendo líneas, híbridos y variedades (sintéticos) de maíz ACP con textura de grano similar a los maíces normales, así como potencial de rendimiento y otras características agronómicas similares o superiores a los maíces comerciales disponibles en el mercado (CIMMYT, 2000).

En estudios hechos en Colombia, Guatemala, Perú, y más recientemente en Ghana,

niños mal nutridos recuperaron la salud gracias a que se incluyó ACP en sus dietas. Los estudios de nutrición con cerdos, aves de corral y otros animales domésticos mostraron una ventaja considerable como resultado del empleo del ACP en su alimentación. (CIMMYT, 2000).

La actual calidad agronómica y nutritiva de los maíces ACP se debe en gran parte al trabajo realizado por Surinder K. Vasal, genetista del CIMMYT, y Evangelina Villegas, bioquímica ex investigadora del CIMMYT (Mendoza et al., 2008). Al comparar el maíz de ACP con el normal no se observan diferencias en palatabilidad, rendimiento/ha, resistencia a plagas y enfermedades.

En la década de 1970 y anterior, el rendimiento de maíz grano en los suelos ácidos era menor que 0.4 t/ha. Luego de un trabajo de selección para la generación de variedades mejoradas realizado por el CIMMYT, en colaboración con entidades nacionales de varios países, en la década de 1990 fue liberada la variedad ICA-Sikuani V-110, siendo la primera tolerante a suelos ácidos con un potencial de rendimiento de 3 t/ha (Narro et al., 2001). A comienzos de la década de 2000 se dispuso de los primeros híbridos Corpoica H-108 y Corpoica H-111 (Bernal et al., 2007) con un potencial de rendimiento de 4.5 t/ha. Actualmente, se dispone de híbridos con un potencial de 10 t/ha. (Pandey et al., 2007). Esta información es para maíces normales (no-ACP) y la meta inmediata es generar materiales de ACP con altos rendimientos, buenas características agronómicas y tolerantes a suelos ácidos (Narro et al., 2001).

Es importante destacar, que los suelos ácidos ofrecen un gran potencial para la seguridad alimentaria de Colombia y de América Latina. Uno de los retos de Colombia ha sido volver más productivos y sostenibles los 17 millones de hectáreas que conforman los Llanos Orientales (CIAT, 2008).

El objetivo del presente trabajo fue identificar las mejores familias F2 de maíz con ACP con base en rendimiento y otras características agronómicas de la planta, así como el grado de modificación del endospermo medido en mesa de luz (Vivek et al., 2008) con el fin de utilizarlas en el programa de generación

de líneas y desarrollo de cultivares mejorados en los programas del CIMMYT.

Materiales y métodos

En condiciones de suelos ácidos en los Llanos Orientales de Colombia se evaluaron 153 familias F2 de maíz segregantes para el gen *o2* que confiere alta calidad de proteína al maíz, provenientes del CIMMYT. Para tal fin, estas familias fueron divididas en dos ensayos. En el Ensayo 1, se incluyeron 86 familias y 4 testigos, mientras que en el Ensayo 2 se tuvieron 67 familias y 3 testigos. Entre los testigos se incluye a un híbrido ACP (H112) y los híbridos normales (H108, H111 y HEZC 318). Cada uno de estos ensayos se evaluó utilizando el diseño experimental Alpha Lattice con dos repeticiones. La unidad experimental fue de 1 surco de 5 m de largo y 0.80 m de ancho. En cada surco se sembraron 33 semillas, con raleo a 22 plantas distanciadas 25 cm entre ellas. El área útil fue de 4 m².

Los ensayos fueron sembrados en el sitio Menegua (departamento del Meta, Colombia), ubicada a 182 m.s.n.m. con una temperatura promedio 25 °C, precipitaciones de 2100 y 2800 mm/año. Los suelos en el sitio experimental son ácidos con pH de 4.59, 85% de saturación de aluminio, 1.5 mg/kg de fósforo y 3.37% de materia orgánica (Arcos et al., 2007).

A la siembra se aplicaron 1.6 t de cal dolomítica para disminuir la saturación de Al de 85% a 60%; para incrementar el contenido de P en el suelo de 11 a 15 mg/kg se aplicaron 155 kg/ha de superfosfato triple. El nitrógeno, el potasio y los microelementos fueron aplicados de acuerdo con los requerimientos del cultivo. Las labores agronómicas de siembra a cosecha fueron las normales para el cultivo en la zona (Manrique, 2008).

Las características evaluadas fueron: rendimiento de grano (RG), tomando en cuenta el peso de campo, la humedad de cosecha, el porcentaje de desgrane y el área de parcela cosechada. Se utilizó la fórmula siguiente:

$$RG = PC * \frac{100-HC}{86} * 0.8 * \frac{10}{A}$$

donde: *RG* = rendimiento de grano en t/ha al 14% de humedad, *HC* = porcentaje de humedad del grano a la cosecha, *A* = área neta de parcela cosechada; 86 = valor que se utiliza cuando se calcula el rendimiento de grano al 14%, 0.8 = porcentaje de desgrane, se utiliza una cantidad constante cuando no se dispone de la información para cada parcela.

Además se evaluaron: días a floración (DF) desde la siembra hasta el inicio de la emisión de polen, altura de planta (AP) medida desde el cuello de la planta hasta la base de la hoja bandera, altura de mazorca (AM) medida desde el cuello de la planta hasta el punto de inserción de la mazorca superior en el tallo, acame de tallo (AT) como porcentaje de plantas quebradas debajo del nudo donde se inserta la mazorca superior, pudrición de mazorca (PM) referido al porcentaje de mazorcas con pudrición, cobertura de mazorca (CM) o porcentaje de plantas con cobertura de mazorca deficiente y textura de grano (TG) utilizando una escala propuesta por el CIMMYT (Cuadra, 2009), de la forma siguiente: (1) cristalino = 1 - 1.5; (2) semicristalino = 2 - 2.5; (3) semidentado = 3 - 3.5; y (4) dentado = 4 - 5.

Para el análisis estadístico se utilizó un esquema de modelo mixto en el cual los bloques y las repeticiones fueron considerados efectos aleatorios y los genotipos efectos fijos. El método empleado fue el REML (máxima verosimilitud restringida) del SAS 9.1.3 (SAS, 2003) y las medias se ajustaron por los efectos del modelo antes de ser comparadas.

La comparación entre promedios de las familias F2 se hizo tomando en cuenta el valor de la DMS (0.05) para identificar el 50% de familias con mayor rendimiento. Dentro de estas familias se escogieron aquellas que mostraron la mejor modificación de grano (granos más cristalinos); es decir, aquellas que mostraron granos tipo 3 en la prueba de mesa de luz (Vivek et al., 2008) de acuerdo con la escala propuesta por el CIMMYT: 1 = no es opaco, 2 = 25% de opacidad, 3 = 50% de opacidad, 4 = 75% de opacidad, 5 = 100% de opacidad.

Resultados y discusión

Ensayo 1

En este ensayo se incluyeron 90 familias F2 clasificadas como ACP. Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre familias para la mayoría de las características evaluadas (Cuadro 1).

Los testigos H108, H111 y HEZC318 produjeron rendimientos de maíz (RG) que variaron entre 5.89 y 7.57 t/ha, aunque sin diferencias significativas con las mejores F2s que produjeron alrededor de 6.5 t/ha (Cuadro 2). Es interesante observar el alto rendimiento del híbrido triple HEZC318 (7.57 t/ha) seleccionado para condiciones de suelos sin problemas de acidez. La buena producción de los testigos H108 (5.89 t/ha) y H111 (6.24 t/ha) se debió a su tolerancia a suelos ácidos. El testigo H112 es un híbrido de alta calidad de proteína, pero no adaptado a suelos ácidos y por tanto, su rendimiento (3.92 t/ha) fue bajo en comparación con los híbridos anteriores. Las F2s 33 y 77 de maíz ACP con más alto rendimiento produjeron 6.50 y 6.25 t/ha, respectivamente. En consecuencia, en el proceso de autofecundación de los individuos F2 es posible identificar algunas líneas que en cruzamiento con otras líneas pueda dar origen a híbridos y sintéticos adaptados a los suelos ácidos de Colombia.

Al comparar el rendimiento del mejor testigo (7.57 t/ha) con el de las familias F2 y teniendo en cuenta el valor de DMS ($P < 0.05$) equivalente a 1.92 t/ha (Cuadro 1), se observa que las familias (F2) 33, 51, 73 y 77 tuvieron un rendimiento similar a HEZC318

y 57 familias F2 mostraron igualmente rendimientos similares al de los híbridos testigo tolerantes a suelos ácidos (Cuadro 2). De acuerdo con estos resultados, estas familias deben ser seleccionadas para evaluar las modificaciones del endospermo y otras características agronómicas, con el fin de identificar aquellas que continuarán en el proceso de autofecundación.

La pudrición de mazorca (PM) es una característica importante no sólo por las pérdidas del valor comercial que representa sino también por los efectos dañinos en la salud humana. El promedio de PM fue de 13.8% (Cuadro 2); aunque el error experimental fue alto, lo que se refleja en el gran coeficiente de variación (39.38%) (Cuadro 1). No obstante, se puede observar que la PM en los testigos normales (no ACP) fue $< 10\%$, mientras que en el testigo de ACP fue de 23.1% (Cuadro 2). Dieciséis familias F2 presentaron una PM $< 10\%$ y en las familias 22, 37 y 81 fue $< 5\%$. Entre genotipos no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$).

La arquitectura de planta, medida por la relación entre altura de mazorca y altura de planta (AM/AP), es una característica importante desde el punto de vista agronómico y es deseable que la inserción de la mazorca esté en el tercio medio de la planta que coincide con un valor AM/AP de 0.5. Tanto los testigos como las familias F2 de mayor rendimiento presentaron AM/AP próximo a 0.5 con diferencias ($P < 0.05$) entre familias y una tendencia a que las familias F2 de menor rendimiento tengan también menor relación AM/AP.

Cuadro 1. Cuadrados medios del Anova para características morfológicas de noventa familias F2 de maíz con alto contenido de proteína. **Ensayo 1.**

FV	GL	Característica morfológica							
		RG	DF	AP	AM	AM/AP	PM	CM	AT
Familias	89	105.34*	7.16*	181.03*	155.16*	0.002*	0.016ns	0.043*	0.019*
Rep.	1	33.6ns	1.42ns	1881.80*	1560.55*	0.013ns	0.0001ns	0.071*	0.038ns
Bloq. (rep.)	18	154.52*	4.60*	222.90*	178.52ns	0.002ns	0.016ns	0.012ns	0.018ns
Error	71	68.60	1.88	89.97	90.15	0.001	0.017	0.012	0.010
CV		23.98	2.31	5.59	12.33	9.60	39.38	128.92	161.85
DMS (0.05)		1.92	3.07	20.30	20.4	0.099	15.0	10.5	8.03

a: RG = rendimiento de grano, DF = días a floración, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, PM = pudrición de mazorca, CM = cobertura de mazorca, AT = acame de tallo.

H0: No hay diferencia entre familias. H1: hay diferencia entre familias.

*= Se rechaza la hipótesis nula con confiabilidad del 95%.

ns = Se acepta la H0.

Cuadro 2. Promedios para características agronómicas de los genotipos F2s ACP seleccionados en los Llanos Orientales de Colombia. (Ensayo 1).

Genotipos seleccionados	Característica morfológica								
	RG (t/ha)	DF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AM/AP	AT (%)	PM (%)	CM (%)	TG (1-5)
3	5.24	58	173.8	86.3	0.5	11.4	26.5	9.6	2.1
4	4.18	59	184.0	81.3	0.5	4.0	10.2	4.6	2.1
5	4.63	62	167.5	81.8	0.5	1.5	18.6	0.0	2.2
8	4.20	58	189.3	91.8	0.5	17.2	18.4	2.4	2.0
12	5.00	61	172.5	83.5	0.5	0.5	25.4	0.0	2.3
14	4.71	61	182.6	86.0	0.5	2.9	8.4	4.4	2.5
15	4.53	62	166.8	77.7	0.5	8.2	13.1	0.0	1.7
16	4.45	61	182.0	83.8	0.5	1.9	21.4	0.0	2.0
17	4.62	60	176.5	78.1	0.5	0.3	14.8	0.0	1.8
18	5.61	62	165.8	70.9	0.5	1.5	19.6	0.0	1.6
19	5.12	61	192.6	95.5	0.5	10.8	19.1	0.0	1.8
21	4.44	60	182.3	88.5	0.5	0.3	11.6	0.0	1.8
23	4.01	58	169.3	75.5	0.5	2.8	11.1	0.0	1.6
27	4.63	58	158.1	65.9	0.4	1.3	12.5	0.0	1.8
29	4.61	61	182.9	81.2	0.5	2.5	10.2	2.1	2.1
30	4.45	61	154.8	70.5	0.5	1.3	14.3	0.0	2.0
31	4.08	60	178.3	83.1	0.5	1.3	10.7	0.0	2.0
32	4.03	60	182.7	83.1	0.5	1.7	12.1	0	2.2
33	6.50	61	188.6	90.1	0.5	5.3	9.4	2	2.2
34	5.50	62	177.1	89.3	0.5	1.1	27.1	2	1.8
37	4.82	57	182.3	79.7	0.4	0.3	2.6	0	2.3
38	4.72	61	175.5	78.4	0.5	1.1	10.9	0	2.3
39	4.95	58	181.5	72.6	0.4	3.7	11.1	0	2.0
41	4.42	60	169.6	73.5	0.5	0.1	10.5	0	1.8
44	4.53	59	177.8	76.8	0.5	4.2	15.7	0	2.7
45	4.34	60	183.5	81.4	0.5	2.9	13.3	0	2.5
46	4.21	61	169.6	64.7	0.4	4.8	15.6	0	1.8
48	4.70	62	156.1	63.9	0.4	0.9	5.9	3	2.0
49	4.45	61	169.3	80.6	0.5	0.7	16.1	0	2.0
51	5.65	60	186.6	83.9	0.5	1.5	11.7	5	2.2
52	4.29	57	165.5	56.0	0.4	1.1	10.9	0	2.0
53	4.23	58	174.5	91.4	0.5	8.7	10.4	0	2.0
56	4.54	59	180.4	86.4	0.5	0.1	19.1	0	1.5
57	4.58	60	186.3	90.1	0.5	13.6	14.7	0	1.8
59	4.16	57	165.3	78.1	0.5	1.9	10.8	0	1.7
60	3.99	57	184.8	75.9	0.4	0.3	22.7	0	1.6
61	4.46	57	168.7	81.0	0.5	1.9	14.1	23	1.7
63	4.14	56	163.9	78.0	0.5	0.3	12.9	9	1.6
64	4.21	57	175.8	82.2	0.5	8.9	14.2	0	1.5
65	4.23	58	179.6	90.5	0.5	17.5	16.7	9	1.8
66	4.56	58	172.8	75.5	0.5	1.9	7.1	0	1.8
67	4.93	61	166.6	70.5	0.5	0.5	9.1	0	2.8
68	4.38	60	181.1	72.7	0.4	0.9	14.6	0	2.0
71	4.44	60	181.3	75.2	0.4	1.1	8.7	0	2.0
72	4.34	57	168.6	78.8	0.5	6.8	10.2	0	2.1
73	5.98	57	186.5	99.3	0.6	0.3	7.0	0	2.0
74	4.59	60	182.9	75.1	0.4	0.1	11.8	0	1.6
76	5.56	60	177.0	77.6	0.5	7.2	9.9	0	2.3
77	6.25	58	193.5	96.2	0.5	0.7	19.5	0	1.6
78	5.48	62	162.5	67.2	0.5	0.5	10.2	0	1.6
79	4.25	62	179.1	82.6	0.5	15.8	12.1	13	2.0
81	4.83	61	176.3	75.6	0.4	0.1	4.6	0	1.8
82	4.87	60	191.2	92.2	0.5	4.2	7.1	0	1.5
83	4.61	57	156.5	53.9	0.4	1.3	10.3	0	2.2
85	5.17	60	199.8	104.3	0.5	1.3	20.0	15	2.3
H112 (testigo)	3.92	60	177.1	75.8	0.4	0.1	23.1	0	1.9
H108 (testigo)	5.89	52	194.1	90.6	0.5	0.5	10.0	0	1.7
H111 (testigo)	6.24	56	195.1	104.7	0.6	3.0	7.2	0	2.0
HEZC318(testigo)	7.57	58	196.6	94.3	0.5	2.8	8.0	0	1.5
Promedio ^b	4.38	59	174.7	79.0	0.5	3.1	13.8	3.0	1.9
DMS (0.05)	1.92	3.07	20.3	20.4	0.099	8.03	15	10.5	0.8

a: RG = rendimiento de grano, DF = días a floración, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, PM = pudrición de mazorca, CM = cobertura de mazorca, AT = acame de tallo.

b. El promedio del ensayo 1 corresponde a los 86 genotipos evaluados.

El promedio de días a la floración (DF) fue de 59 (Cuadro 2), siendo esta característica diferente ($P < 0.05$) entre familias. Es importante destacar que el testigo H108 fue el más precoz (52 días) y uno de los que presentó alto rendimiento. Esto significa que la planta es eficiente en el uso y traslocación de nutrientes y posee buenas características de adaptación a las condiciones de los Llanos Orientales de Colombia. Tanto los testigos como las familias (F2) 73 y 77 de mayor rendimiento mostraron una DF aproximada de 59 días.

Cuando se presenta acame de tallo (AT) en un campo de maíz, no sólo hay pérdidas de la cosecha sino también que ésta se dificulta e incrementa los costos de producción. En los Llanos Orientales de Colombia, donde se dispone de grandes áreas de cultivo, la mecanización es una necesidad, por tanto, los genotipos que se vayan a desarrollar para este ambiente deben ser tolerantes al AT. En el ensayo se presentaron diferencias ($P < 0.05$) entre familias para esta variable, siendo el promedio de 3.1% (Cuadro 2), lo que indica que la mayoría de materiales fueron tolerantes al acame. Solo ocho familias F2 mostraron un AT superior a 10%, lo cual debe ser tenido en cuenta en la selección final de familias F2 que se autofecundarán. Las familias 77, 73 y 51 de alto rendimiento, mostraron un AT inferior al promedio (3.17%).

La cobertura de mazorca (CM) es importante en zonas tropicales donde se presentan precipitaciones en época de cosecha, ya que una mala cobertura de mazorca predispone un mayor daño por pudrición de mazorca; en esta característica se observaron diferencias ($P < 0.05$) entre familias. Los testigos y familias F2 de mayor rendimiento se hallaron

entre las entradas que presentaron igualmente mejor cobertura de mazorca. Sólo las familias 9, 58, 50, 26, 11 y 61 revelaron una escasa CM.

La textura del grano (TG) es importante en maíces de ACP porque está relacionada con el grado de modificación del endospermo. Se prefieren los granos cristalinos como un indicador de la presencia de genes modificadores del endospermo. Aunque este carácter fue evaluado utilizando la mesa de luz, la evaluación de mazorcas en campo ayudó en el proceso de selección. El híbrido H108 mostró una excelente TG = 1.7 (Cuadro 2), por tanto más de 26 familias F2 presentaron textura comparable al testigo H108.

Ensayo 2 (67 familias F2 de ACP)

En este ensayo se incluyeron 67 familias F2 y 3 testigos (H112, H108 y H111). El análisis de varianza (Andeva) mostró diferencia ($P < 0.05$) entre familias para RG, DF, AP, AM, AM/AP y AT (Cuadro 3).

El RG de los híbridos testigo osciló entre 4 y 4.86 t/ha. El RG de 28 F2s no fue diferente al rendimiento del mejor testigo (H108) (4.86 t/ha). El rendimiento de la mejor F2 fue de 4.80 t/ha (DMS 0.05 = 1.50 t/ha) (Cuadro 4).

El promedio de PM fue 16.6% (Cuadro 4). Los testigos mostraron una PM < 14%. No obstante, 55 familias F2 mostraron una PM menor a la de los testigos tolerantes a suelos ácidos. Los testigos se ubicaron por debajo del promedio general, las mejores familias (38 y 54) tuvieron una PM de 16%. Hay una tendencia que muestra que las familias con menores rendimientos poseen mayor PM.

La relación AM/AP, tanto en los testigos como en las familias F2, tuvo una tendencia

Cuadro 3. Cuadros medios del Anova para características morfológicas de setenta familias F2 de maíz con alto contenido de proteína. **Ensayo 2.**

FV	Característica morfológica								
	GL	RG	DF	AP	AM	AM/AP	PM	CM	AT
Familias	69	74.89*	6.55*	264.43*	174.91*	0.003*	0.015ns	0.037ns	0.025*
Rep	1	169.53*	0.17ns	45.71ns	11.42ns	0.00002ns	0.0002ns	0.097ns	0.008ns
Bloq.(rep.)	18	84.21*	1.02ns	282.15*	215.52*	0.003ns	0.050*	0.027ns	0.030ns
Error	51	24.38	1.03	70.10	52.13	0.001	0.015	0.024	0.013
CV		16.60	1.72	5.04	9.73	8.30	32.71	159.47	121.26
DMS (0.05)		1.50	2.0	21.3	18.4	0.096	19.4	13.1	8.9

a: RG = rendimiento de grano, DF = días a floración, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, PM = pudrición de mazorca, CM = cobertura de mazorca, AT = acame de tallo.

H0: No hay diferencia entre familias. H1: hay diferencia entre familias.

*= Se rechaza la hipótesis nula con confiabilidad del 95%.

ns = Se acepta la H0.

Cuadro 4. Promedios para características agronómicas de los genotipos F2s ACP seleccionados en los Llanos Orientales de Colombia. (Ensayo 2).

Genotipos	Característica morfológica								
	RG (t/ha)	DF (días)	AP (cm)	AM (cm)	AM/AP	AT (%)	PM (%)	CM (%)	TG (1-5)
2	3.50	60	168.1	91.4	0.5	2.2	15.2	4.7	1.5
4	4.65	59	154.4	64.5	0.4	-0.1	8.0	11.1	1.5
5	3.37	60	177.0	86.3	0.5	6.0	13.6	2.2	1.5
14	3.96	56	150.5	63.2	0.4	-1.0	18.2	0.2	2.3
16	4.16	59	172.0	85.5	0.5	1.5	11.7	15.9	1.5
18	4.31	52	164.2	72.5	0.5	6.4	12.1	4.7	2.0
22	3.37	61	147.8	52.6	0.3	-0.6	9.9	0.2	1.8
24	4.51	60	159.9	65.6	0.4	-0.6	8.5	0.0	2.0
25	4.76	59	155.1	62.9	0.4	-0.8	17.1	2.4	2.3
26	4.47	57	151.5	76.9	0.5	3.9	18.5	0.1	2.8
27	3.47	59	145.6	63.9	0.4	1.5	23.0	0.0	2.0
29	3.65	59	175.1	80.3	0.5	11.1	13.9	0.0	1.8
32	3.40	60	179.1	83.6	0.5	0.9	13.9	0	1.5
34	3.74	58	136.0	59.1	0.4	5.5	31.9	3	1.5
35	3.96	59	160.6	66.5	0.4	-1.3	15.3	0	1.8
37	3.45	58	152.7	67.0	0.4	3.6	13.1	5	1.5
38	4.80	60	172.1	80.1	0.5	-0.6	16.1	0	1.5
39	4.49	59	179.0	87.0	0.5	0.9	25.3	5	2.3
40	3.74	60	168.3	79.6	0.4	-1.8	13.8	0	1.5
41	3.48	60	192.7	98.6	0.5	1.8	22.7	39	1.5
42	3.87	60	162.8	73.4	0.4	1.4	20.6	0	1.3
43	3.39	59	163.3	71.9	0.4	4.5	11.5	0	1.5
49	4.39	60	158.9	73.1	0.5	0.6	15.7	0	1.8
52	3.75	59	158.0	73.0	0.5	-0.3	5.1	0	1.5
53	4.53	60	189.4	89.7	0.4	-1.2	18.1	10	1.3
54	4.86	59	168.8	74.7	0.4	-1.2	16.5	0	1.8
56	3.96	60	173.8	72.2	0.4	3.7	5.4	0	1.5
63	3.56	55	172.7	75.2	0.4	-0.9	11.1	19	1.5
H112	4.07	60	175.7	92.3	0.5	-1.6	13.2	0	1.8
H108	4.86	52	183.6	72.5	0.4	-1.1	11.6	0	1.5
H111	4.68	56	175.8	74.5	0.4	16.5	12.8	5	2.0
Promedio ^b	3.30	59	160.3	69.4	0.4	1.9	16.6	3.7	1.7
DMS (0.05)	1.50	2.0	21.3	18.4	0.096	8.9	19.4	13.1	1.09

a: RG = rendimiento de grano, DF = días a floración, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, PM = pudrición de mazorca, CM = cobertura de mazorca, AT = acame de tallo.

b. El promedio del ensayo 2 corresponde a los 67 genotipos evaluados.

similar a la encontrada en el ensayo 1 con diferencias ($P < 0.05$) entre familias. Igualmente, para la característica AT los valores fueron bajos, con diferencias entre las familias F2 (Cuadro 3).

Para DF se hallaron diferencias entre familias. El promedio fue de 59 días (Cuadro 4). El testigo H108, además de presentar el más alto rendimiento, fue el más precoz (52 DF), confirmando el buen comportamiento en suelos ácidos. Aunque, la mayoría de las familias F2 evaluadas en este ensayo presentaron floraciones alrededor de sesenta días, también hubo algunas precoces con buen potencial de rendimiento.

La CM no presentó diferencias ($P > 0.05$) (Cuadros 2, 3). El promedio de CM en el ensayo fue de 3.7% (Cuadro 4). Sólo siete familias F2 mostraron un porcentaje de CM $> 10\%$. El testigo H111 presentó una CM de 5.3% y los testigos H108, H112 y la mayoría de familias no mostraron mala cobertura de mazorca.

El híbrido H108 presentó una textura de 1.5 (cristalina) (Cuadro 4) y 35 familias F2 revelaron una textura similar a este híbrido.

Selección de granos en mesa de luz

Una vez identificadas las familias F2 con mayor rendimiento, correspondientes a 57 del primer ensayo y 28 en el segundo (Cuadro 4), se procedió a la selección de granos con mejor efecto de los genes modificadores de la textura de grano. Se seleccionaron granos grado 3 tal como lo sugiere el CIMMYT para generaciones tempranas, ya que esto asegura la presencia del gen o_2o_2 (Vivek et al., 2008). En la mesa de luz fueron identificadas 44 familias F2 que mostraron mayor rendimiento y buena modificación del endospermo. Se escogieron 50 granos de cada una de las familias seleccionadas para continuar el proceso de autofecundación.

Conclusiones

- Considerando rendimiento de grano (RG) y la textura del endosperma, se seleccionaron 44 familias F2 con potencial similar al de los híbridos H108 y H111 tolerantes a suelos ácidos.
- Treinta familias F2 ACP mostraron buenas características agronómicas relacionadas con tolerancia a pudrición de mazorca, arquitectura de planta, resistencia a acame de grano, comparables con los maíces tolerantes a suelos ácidos utilizados como testigos.
- Es posible identificar familias F2 con alta calidad de proteína y tolerantes a suelos ácidos. Se infiere que las líneas que se vayan a desarrollar en el proceso de autofecundación serán útiles para generar híbridos ACP y sintéticos tolerantes a suelos ácidos.

Referencias

- Arcos, A.L., L.A. Narro, F. Salazar, C. Caetano. 2007. Efectos genéticos de la formación de calosa en ápices radicales de líneas de maíz resistentes y susceptibles a suelos ácidos. 2007. Acta Agron. 56 (4) 157-164.
- Bernal, J.; Caicedo, S.; y Guevara, E. 2007. Híbridos de maíz amarillo adaptados a suelos ácidos de la altillanura plana colombiana. Link visitado en mayo 6 de 2009. <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Foros/Híbridosmazarillo.pdf>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Un negocio de amplios horizontes para el Llano. Con ciencia y tecnología esta región se convierte en la despensa agrícola del país. Link visitado en nov. 6 de 2008. http://www.ciat.cgiar.org/es/descargar/pdf/convenio_colombia_ciat.pdf
- Cimmyt (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2000. Premio mundial de la alimentación para investigadores del CIMMYT por el maíz con calidad de proteína. Link visitado en mayo 6 de 2009. http://www.cimmyt.org/whatisimmyt/AR99_2000Spa/supervivencia/premio_mundial/premio_mundial.htm
- Crop Life Latinamerica. 2009. Aumenta área sembrada con cultivos biotecnológicos en el mundo. Link visitado en mayo 7 de 2009. http://www.croplifela.org/cms2/index.php?option=com_content&view=article&id=140
- Cuadra, S. Evaluación del comportamiento agronómico de híbridos de maíz QPM de grano amarillo en diferentes ambientes de Nicaragua. Ciclo Agrícola 2008/09. INTA Centro Norte. Link visitado en abril 2 de 2009. <http://www.inta.gov.ni/biblioteca/protocolos/1ra-2008-inta-centro-norte/aet-pro-maiz-qpamarillo.doc>
- Manrique, A. 2008. Secuencia de labores agronómicas en el cultivo de maíz. Link visitado en mayo 4 de 2009. http://www.lamolina.edu.pe/investigación/programa/maiz/cul_maiz.htm
- Mendoza, M.; Andrio, E.; Juárez, J; Mosqueda, C.; Latournerie, C. L; López, A.; y Moreno, E. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. Link visitado en ene 06 de 2008. <http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia/diciembre2006/6%20Articulo217.pdf>
- Narro, L. A.; Pandey, C.; De León, F.; y Salazar, M. P. 2001. Implications of soil-acidity tolerant maize cultivars to increase production in developing countries. En: A., J. Arihara y K., A. Srinivasan (eds.). Plant nutrient acquisition. New perspectives. Ed. Nias. Springer, Tokyo. p. 447 - 463.
- Pandey, S.; Narro, L.; Friesen, D.; y Waddington, S. 2007. Breeding maize for tolerance to soil acidity. En: J. Janick (ed.). Plant breeding reviews. Editorial Board, vol. 28. John Wiley & Sons, INC. Hoboken, New Jersey.
- SAS Institute Inc. 2003. Cary, NC, USA. Versión 9.1.3., para SunOS 5.9.
- Vivek, B. S.; Krivanek, A. F.; Palacios-Rojas N.; Twumasi-Afriyie, S., y Diallo, A. O. 2008. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM). Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F. CIMMYT.
- Von Uexküll, H.R y Mutert. E. 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil* 171:1 - 15.