

FITOMEJORAMIENTO

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Corpoica H5: primer híbrido de maíz amarillo de alta calidad de proteína (QPM) para la altillanura plana colombiana

Corpoica H5: the first high quality protein (QPM) hybrid maize for Colombian eastern plains

Luis F. Campuzano D.¹, Samuel Caicedo G.², Luis Narro³, Herbin Alfonso⁴

¹I.A. PhD. C.I. La Libertad, Corpoica. Villavicencio, Colombia. lcampuzano@corpoica.org.co

²I.A. Master. C.I. La Libertad, Corpoica. Villavicencio, Colombia. scaicedo@corpoica.org.co

³I.A. PhD. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Palmira, Colombia. lnarro@cgiar.org

⁴I.A. C.I. La Libertad, Corpoica. Villavicencio, Colombia. aalfonso@corpoica.org.co

Fecha de recepción: 19/03/2014

Fecha de aceptación: 15/07/2014

ABSTRACT

Colombia has an annual deficit of maize to meet the feed industry. In 2012, the country produced only 20.2% of the corn required by the industry; 1.0% of this production is obtained on the Colombian high plains (20,000 hectares); however, this region has an area of 500,000 hectares suitable for growing corn. To meet domestic demand, the government implemented the National Maize Plan (Plan País Maíz): a promoting and research strategy to assess and identify hybrids with yield and quality attributes that allow the competitiveness of this crop. In this context the present research was conducted, which identified the maize hybrid H5, with the following characteristics: high quality protein; grain yield of 5.05 t/ha, statistically similar to that obtained with commercial controls; male and female flowering of 56 and 57 days; period from planting to harvest of 112 days; plant height and cob of 185 and 94 cm, respectively; resistance to stem and root tumble, and to *Cercospora* sp. and *Phaeosphaeria* sp. Hybrid H5 showed per 100 g of protein, 4.10 g of lysine and 0.87 g of tryptophan; these values were higher by 1.7 and 2.0 times than those obtained by conventional maize (P30K73) having 2.32 g of lysine and 0.43 g of tryptophan. These characteristics of crystalline grain texture and high quality protein confer it commercial recommendation, because it is appropriate for the feed industry.

Key words: Colombian high plains, genotype-environment interaction, maize QPM, *Zea mays*.

RESUMEN

Colombia tiene un déficit anual de maíz para satisfacer la industria de alimentos balanceados; en el 2012, produjo solo 20,2% del maíz requerido por la industria, y 1,0% de esta producción se obtiene en la altillanura plana (20.000 hectáreas); no obstante, esta región tiene una extensión de 500 mil hectáreas aptas para el cultivo del maíz. Para satisfacer la demanda nacional, el gobierno implementó el Plan País Maíz, una estrategia de fomento e investigación para la evaluación e identificación de híbridos con atributos de rendimiento y calidad que permitan la competitividad de este cultivo. En ese contexto se realizó la presente investigación, que permitió identificar el híbrido de maíz H5 con las siguientes características: alta calidad proteínica; rendimiento de grano de 5,05 t/ha, estadísticamente igual al obtenido con los testigos comerciales; floración masculina y femenina de 56 y 57 días; período de siembra a cosecha de 112 días; altura de planta y de mazorca de 185 y 94 cm, respectivamente; y resistencia al volcamiento de tallo y raíz y a *Cercospora* sp. y *Phaeosphaeria* sp. El híbrido H5 presentó por cada 100 g de proteína 4,10 g de lisina y 0,87 g de triptófano; valores superiores en 1,7 y 2,0 veces al obtenido por el maíz convencional (P30K73) que presenta 2,32 g de lisina y 0,43 g de triptófano. Estas características de textura de grano cristalino y alta calidad proteínica le confieren recomendación comercial, por ser apropiado para la industria de alimentos balanceados.

Palabras claves: altillanura plana colombiana, interacción genotipo ambiente, maíz QPM, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

Colombia en el 2012 produjo 668.000 toneladas de maíz amarillo, por lo cual debió importar 3,3 millones de toneladas para satisfacer el requerimiento de la industria nacional de alimentos balanceados (Fenalce, 2012). Lo anterior indica que ese año el país solo logró cubrir 20,2% de la demanda con su producción interna. Esto hace evidente que para satisfacer la demanda interna se requerirá, por lo menos, quintuplicar el área actual de siembra con unos rendimientos superiores al promedio actual de 4,9 t/ha.

Para reducir la dependencia, el gobierno nacional, a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural fijó una reducción gradual de las importaciones de maíz apoyando sustancialmente la investigación y el fomento de la producción nacional mediante el Plan País Maíz (PPM). Este plan fijó como metas incrementar el área cultivada de maíz amarillo de 137.000 a 250.000 hectáreas, la producción de grano de 688.000 a 1,2 millones de toneladas y la productividad, de 4,9 a 6,0 t/ha entre el 2010 y 2014 (Fenalce, 2012; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

Las metas fijadas en este plan pueden satisfacerse en buena medida en la altillanura plana colombiana, región que representa una importante frontera agropecuaria con un área potencial en 500 mil hectáreas, con suelos principalmente ácidos caracterizados por bajo pH y baja disponibilidad de fósforo.

Para el aprovechamiento agropecuario tecnificado de esta región, desde la década del 2000 ICA-Corpoica-CIAT han desarrollado la investigación que generó las recomendaciones tecnológicas que combinan la construcción de suelo mediante las enmiendas de tipo químico y labranza asociado con la genética de las especies que presentan buena adaptación para la rotación de cultivos de arroz, maíz y soya (Corpoica, 2012).

Para el caso del maíz en la altillanura plana colombiana, con la aplicación de las tecnologías de mejoramiento de suelo e híbridos adaptados a las condiciones edafoclimáticas, se pasó de un rendimiento experimental de 500 kg/ha a 4,0 t/ha en un período de 15 años. Actualmente, con el proceso continuo de la investigación en la genética del maíz asociado con el manejo agronómico apropiado, se tienen materiales genéticos experimentales que llegan a producir entre 6,0 y 7,0 t/ha, híbridos que poseen la tecnología alta calidad de proteína (quality

protein maize –QPM–), caracterizada por su calidad proteínica, de alto valor para la cadena de alimentos balanceados en el país (Campuzano, 2012).

La tecnología del maíz opaco-2 fue generada por el Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT) incorporando genes modificadores que convierten los granos de apariencia suave y opaca en granos de tipo normal, denominados maíces QPM. La proteína de un maíz normal contiene 1,6% de lisina y 0,47% de triptófano, mientras que los maíces de calidad alta de proteína contienen en promedio 3,1% de lisina y 1,0% de triptófano (Prasanna *et al.*, 2001). Los maíces QPM actuales disponibles son el fruto de la investigación de veinte años del CIMMYT mediante la obtención de líneas, híbridos y variedades sintéticas con características como textura de grano similar a los maíces convencionales o normales, así como el potencial de rendimiento y otras características agronómicas asociadas similares o superiores a los maíces comerciales (Vasal, 2000; Prasanna *et al.*, 2001); no obstante requieren de su evaluación en las condiciones de Colombia.

Por las razones anteriormente expuestas y teniendo en cuenta las metas del Plan País Maíz, se desarrolló por un período de cuatro años esta investigación, con el objetivo de evaluar e identificar un híbrido de maíz QPM para la altillanura plana colombiana con características de alto rendimiento, con resistencia a enfermedades limitantes prevalentes y tipo de grano apropiado para la industria de alimentos balanceados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estructuración de la prueba de evaluación agronómica (PEA). Cinco híbridos provenientes del Programa de maíz tropical del CIMMYT fueron evaluados en seis localidades de la altillanura plana colombiana, mediante una PEA ajustada a la Resolución del ICA 000970 (marzo 10 de 2010) con aplicación para la subregión de la Orinoquia.

Materiales genéticos. La PEA estuvo constituida por cinco híbridos de maíz experimentales y tres testigos comerciales. Los cinco híbridos experimentales fueron seleccionados por estudios previos realizados por Corpoica y CIMMYT en ensayos de rendimiento durante el 2010 en las condiciones de la altillanura plana colombiana e identificados experimentalmente como H1: CLA41/SR); H2: FNC 318; H3: CLA139/CLA41; H4: CML451/

CL02450 y H5: CML451Q/CL02450Q. Los testigos fueron el H-108 identificado como H6 (testigo por tolerancia a aluminio) y dos testigos comerciales: P30K73 identificado como H7 e impacto como H8.

Localidades de evaluación. La investigación se realizó en seis ambientes de evaluación ubicados en tres municipios maiceros de la altillanura colombiana (Villavicencio, Puerto López y Puerto Gaitán) durante el 2011 en los semestres A y B. **Localidad 1 (LA):** Villavicencio (Corpoica La Libertad, semestre A); **Localidad 2 (SA):** Puerto López (Finca Santa Cruz, semestre A); **Localidad 3 (TA):** Puerto Gaitán (Corpoica Taluma, semestre A); **Localidad 4 (PA):** Puerto López (Finca El Porvenir, semestre A); **Localidad 5 (LB):** Villavicencio (Corpoica La Libertad, semestre B) y **Localidad 6 (TB):** Puerto Gaitán (Corpoica Taluma, semestre B).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con ocho tratamientos (5 híbridos de maíces experimentales y 3 testigos) y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por parcelas de seis surcos, de 5 metros de longitud y una distancia entre surcos de 0,80 metros con una densidad de población equivalente a 62.500 plantas por hectárea.

Características del suelo. En cada localidad de evaluación de la PEA se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, con el fin de determinar las características físicas y químicas.

Manejo agronómico. Se realizó un control de arvenses principalmente gramíneas y de hoja ancha, desde el momento de la siembra con aplicaciones preemergentes y posembrantes, principalmente con atrazina y pendimetalina. Solo se realizó el control químico para *Spodoptera* sp. y *Diatrea* sp., complementado con control biológico con liberaciones de *Trichogramma* sp. En cada localidad se realizó la fertilización basada en los resultados del análisis de suelos y el requerimiento nutricional del maíz para la altillanura. Se aplicaron compuestos simples en kg/ha de urea: 200; DAP: 200; KCL: 160; Borozinco: 20 y Sulcamag: 200.

Evaluaciones agronómicas. A continuación se describen las variables agronómicas determinadas con base en el manual del CIMMYT (1995): 1) altura de planta (AP): tomada cuando 50% de la parcela presentó la floración masculina completa, y determinada desde la base del suelo hasta la base de la inflorescencia masculina y expresada en centímetros; 2) altura de mazorca (AM): determinada

cuando 50% de la parcela presentó la formación de la mazorca completa, y tomada desde la base del suelo hasta la base de la formación de cada mazorca y expresada en centímetros; 3) y 4) floración masculina y femenina (FM-FF): determinada cuando la parcela presentó 50% de la formación de la inflorescencia masculina y femenina, expresada en días; 5) cobertura de mazorca (CM): se determinó con referencia a presencia de granos afuera de la mazorca utilizando la escala de 1 a 5 (1 excelente, 2 regular, 3 punta expuesta, 4 grano expuesto, 5 completamente inaceptable); 6) pudrición de mazorcas (PM): se determinó mediante conteo del número de mazorcas que presentaron daño ocasionado por enfermedades, evaluadas en escala 1 a 5 (1: presencia de daño de 0% a 20%, 2: daño de 20% a 40%, 3: daño de 40% a 60%, 4: daño de 60% a 80%, 5: daño de 80% al 100%); 7) resistencia a patógenos utilizando la escala 1 a 5 (1 = resistente, 2 = moderadamente resistente, 3 = moderadamente susceptible, 4 = susceptible, 5 = muy susceptible); 8) textura de grano (T): determinada una vez cosechada cada parcela utilizando la escala de 1 a 5 (1: grano cristalino, 2: semicristalino, 3: semiharinoso, 4: harinoso, 5: muy harinoso); 9) acame de tallo (AT) como porcentaje de plantas quebradas debajo del nudo; 10) rendimiento de grano (RG): determinado mediante la trilla de cada unidad experimental ajustando el dato a una humedad de 14% y realizando el ajuste por covarianza por número de plantas cosechadas, valor expresado en kg/ha; 11) calidad de proteína (lisina y triptófano), determinada en una muestra de grano del híbrido QPM y el testigo comercial P30K73, expresado en gramos por 100 gramos de proteína. El triptófano se determinó con el método Opienska-Blauth modificado por Hernández y Bates (1969) y la lisina se evaluó por el método de Tsai *et al.*, modificado por Villegas *et al.* (1984).

Selección del mejor material. Las principales características tenidas en cuenta para la selección del mejor híbrido por su desempeño en la PEA fueron: rendimiento de grano y estabilidad fenotípica, cobertura de mazorca, mazorcas podridas, tipo de grano, resistencia o tolerancia a las enfermedades foliares y acame de tallo.

Análisis estadístico. Mediante el procedimiento Proc Univariate (SAS 9.3, 2003) se determinaron los cumplimientos de los supuestos del análisis de varianza; los procedimientos y análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS, versión 9.3 (2003) con licencia para Corpoica número 70148300. Para establecer las diferencias entre medias se utilizó la prueba de Tukey ($P = 0,05$). Con la variable rendimiento de grano (RG)

se realizaron los análisis de varianza (anova) individuales por localidad y combinando localidades. Para el análisis de varianza, las localidades y las repeticiones se consideran efectos aleatorios y los genotipos, efectos fijos.

El modelo matemático más adecuado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + B_k(j) + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = rendimiento promedio del i-ésimo genotipo obtenido en el j-ésimo ambiente y k-ésima repetición

μ = efecto de la media general

G_i = efecto del i-ésimo genotipo

A_j = efecto del j-ésimo ambiente

$(GA)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente

$B_k(j)$ = efecto de la k-ésima repetición en el j-ésimo ambiente

E_{ijk} = efecto aleatorio del error experimental asociado al i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente y k-ésima repetición, según el modelo lineal aditivo.

Análisis de estabilidad fenotípica. La interacción genotipo x ambiente fue estudiada para la variable rendimiento de grano utilizando el modelo de efectos

principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) descrito por Crossa *et al.* (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los ambientes de evaluación.

Los suelos utilizados para la evaluación de los híbridos de maíz, en todos los casos, con excepción de la localidad El Porvenir 2011 A (PA), presentaron porcentajes de saturación de aluminio por debajo de 20%; esto se traduce en suelos con un grado de mejoramiento de suelos con valores superiores a 80% de saturación de bases, valores que permiten la expresión del máximo potencial de los híbridos en evaluación (tabla 1).

Análisis de estabilidad fenotípica para rendimiento de grano.

El análisis de varianza combinando localidades para el rendimiento de grano, de acuerdo con el modelo AMMI, presentó que los efectos simples de ambiente y genotipos y su interacción GxA fueron altamente significativos, lo que indica que los híbridos de maíz evaluados presentaron diferente comportamiento a través de las localidades de prueba. Los componentes principales CP1 y CP2 permitieron dar una explicación acumulada de la variación de la interacción GxA de 84,96%. Los otros componentes adicionales CP3, CP4 y CP5 no fueron significativos y sus valores de participación 9,34%; 5,47% y 0,23%, respectivamente, son considerados de poco valor en la explicación del modelo de interacción (tabla 2).

Tabla 1. Análisis de suelo de seis localidades de la prueba de evaluación agronómica en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Localidad	Textura	pH	M.O %	Fósforo mg/kg	Saturación bases %	Calcio cmol/kg	Magnesio cmol/kg	Potasio cmol/kg
TA	FA	4,9	2,1	63,4	81,12	0,9	0,3	0,3
LA	FA	5,1	1,4	56,5	81,76	0,7	0,2	0,1
SA	FArA	4,8	3,0	14,7	84,38	1,1	0,5	0,3
PA	FAr	4,6	2,6	3,7	43,76	0,4	0,1	0,0
LB	FArA	5,3	2,8	40,6	93,79	2,0	0,6	0,1
TB	FA	5,5	1,3	14,4	92,00	1,2	0,4	0,1

TA: Corpoica Taluma 2011 A; LA: Corpoica La Libertad 2011 A; SA: Finca Santa Cruz 2011 A; PA: Finca Porvenir 2011 A; LB: Corpoica La Libertad 2011 B; TB: Corpoica Taluma 2011 B.

FA: textura franco arcillosa; FArA: textura franco arcillosa-arenosa.

Tabla 2. Análisis AMMI para el rendimiento de grano (kg/ha) de cinco híbridos de maíz evaluados en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Fuente variación	gl	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	% AC
Ambiente (A)	5	227,1019881	45,4203976**	84,70	
Genotipo (G)	7	45,2092334	6,4584619**	12,04	
A x G	35	36,2521496	1,0357757*	1,93	
CP1	11	21,4826	1,95297**	3,64	59,25
CP2	9	9,3207	1,03564**	1,93	25,71
CP3	7	3,3876	0,48394	0,90	9,34
CP4	5	1,9854	0,39708	0,74	5,47
CP5	3	0,0758	0,02528	0,04	0,23
Error	85				

* Diferencia significativa al 0,05%.

** Diferencia significativa 0,01%.

El rendimiento promedio por genotipo fluctuó desde 3.933 kg/ha a 5.298 kg/ha de los híbridos H2 y H1, respectivamente; se observó que los dos mejores rendimientos se presentaron con el híbrido H1 y el testigo

comercial P30K73 (H7), con valores de 5.298 kg/ha y 5.242 kg/ha, respectivamente; y los menores rendimientos con el H2 con 3.933 y el testigo H-108 con 4.177 kg/ha (tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento promedio de cinco híbridos de maíz y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes. Corpoica 2011

Genotipo	Rendimiento kg/ha	CP1	CP2
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	5.298	-0,2988	0,2864
H2: FNC 318	3.933	-1,1120	-0,0486
H3: CLA139/CLA41	5.111	0,1433	-0,0484
H4: CML451/CL02450	5.128	0,2296	0,8116
H5: CML451Q/CL02450Q	5.056	0,0624	0,3018
H6: Corpoica H-108	4.177	0,0605	-0,6345
H7: Testigo P30K73	5.242	0,9534	-0,1554
H8: testigo Impacto	5.084	-0,0385	-0,1280

El rendimiento promedio por localidad fluctuó desde 3.288 kg/ha a 6.092 kg/ha para las localidades LB (Corpoica La Libertad 2011 B) y TA (Corpoica Taluma 2011 A), respectivamente (tabla 4). La longitud de los vectores para localidades es una medida de la capacidad de respuesta a la estratificación por su comportamiento a un ambiente determinado (Crossa *et al.*, 1990) (figura 1). La localidad TA (Corpoica Taluma 2011 A) presentó la mejor estratificación de genotipos con un intervalo para

el rendimiento de grano que osciló desde 3.591 kg/ha a 7.588 kg/ha. La localidad LB (Corpoica La Libertad 2011 B) presentó la menor estratificación de genotipos con un intervalo para el rendimiento de grano que fluctuó desde 2.457 kg/ha a 3.850 kg/ha (tabla 4). La localidad LB se identificó como el mejor ambiente, de los utilizados para el agrupamiento y selección de genotipos con alto rendimiento de grano en maíz.

Tabla 4. Rendimiento promedio (kg/ha) de cinco híbridos de maíz evaluados en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Genotipo	LA	TA	PA	SA	LB	TB
H1: CLA41/SRR-2SA3MH160-2-1	4018,8 a	6242,8 ab	6143,8 a	5448,0 a	3850,5 a	6084,7 a
H2: FNC 318	3539,0 a	3591,5 c	5125,3 a	3921,7 ab	2457,0 b	4967,3 a
H3: CLA139/CLA41	3999,8 a	6545,5 ab	6087,7 a	4612,0 ab	3438,0 ab	5983,8 a
H4: CML451/CL02450	3715,8 a	6618,3 ab	6700,8 a	5031,0 ab	3558,3 ab	5146,3 a
H5: CML451Q/CL02450Q	3643,0 a	6362,5 ab	6258,5 a	4876,0 ab	3287,5 ab	5910,5 a
H6: Testigo H-108	3455,5 a	5568,5 bc	4605,5 a	3282,5 ab	3050,3 ab	5098,0 a
H7: Testigo P30K73	4118,8 a	7588,5 a	6671,5 a	3942,3 ab	3194,2 ab	5936,0 a
H8: Testigo Impacto	4161,0 a	6223,5 ab	5917,0 a	4290,0 ab	3468,5 ab	6443,8 a
Promedio Localidad	3831,6	6092,6	5938,8	4512,9	3288,0	5696,3

TA: Corpoica Taluma 2011 A; LA: Corpoica La Libertad 2011 A; SA: Finca Santa Cruz 2011 A; PA: Finca Porvenir 2011 A; LB: Corpoica La Libertad 2011 B; TB: Corpoica Taluma 2011 B.

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P < 0,05$ (Tukey).

La estabilidad de un material genético de maíz medido por el método AMMI se reconoce cuando uno de ellos está muy cercano al punto cero de la gráfica BIPLLOT (figura 1). Esto se debe a que los genotipos que posean coordenadas elevadas para el primer eje principal, ya sea de manera positiva o negativa, tienen un mayor aporte a la interacción GxA, es decir tienen una alta interacción o menor estabilidad que los genotipos con valores próximos a cero en dicho eje o que tienen una menor interacción o mayor estabilidad.

El análisis del BIPLLOT (figura 1), donde se contrastaron los dos primeros componentes principales CP1 y

CP2, que en su conjunto explican el porcentaje de la variación atribuible a la interacción GxA presentó un valor acumulativo de 84,96% (CP1 = 59,2% y CP2 = 25,71%). En este gráfico se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas punteadas azules en las cuales se agrupan los ambientes donde el rendimiento presentó un ordenamiento similar. Cada línea roja representa una localidad de evaluación. En los vértices de los polígonos se ubicaron cuatro genotipos (H2, H4, H6 y H7) que mostraron la mayor interacción genotipo x ambiente.

De acuerdo con la interpretación gráfica de los polígonos conformados por ambientes y genotipos (figura 1),

se observó un sector con tres ambientes: La Libertad 2011 B (LB); La Libertad 2011 A (LA) y Taluma 2011 B (TB) que presentaron un ordenamiento similar del rendimiento de los genotipos con un tipo de adaptación específica para el genotipo H8 (testigo comercial Impacto). En los sectores dos y tres se observaron un genotipo asociado a un ambiente: (H1) asociado al ambiente

Santa Cruz 2011 A (SA); H7 al ambiente Taluma 2011 (TA) y H4 asociado a un ambiente Porvenir 2011 A (PA). A diferencia de todos los genotipos, el H3 y H5 fueron los que presentaron el menor grado de asociación a algún ambiente y por su posición cercana al eje cero se consideraron como los genotipos con mayor estabilidad fenotípica.

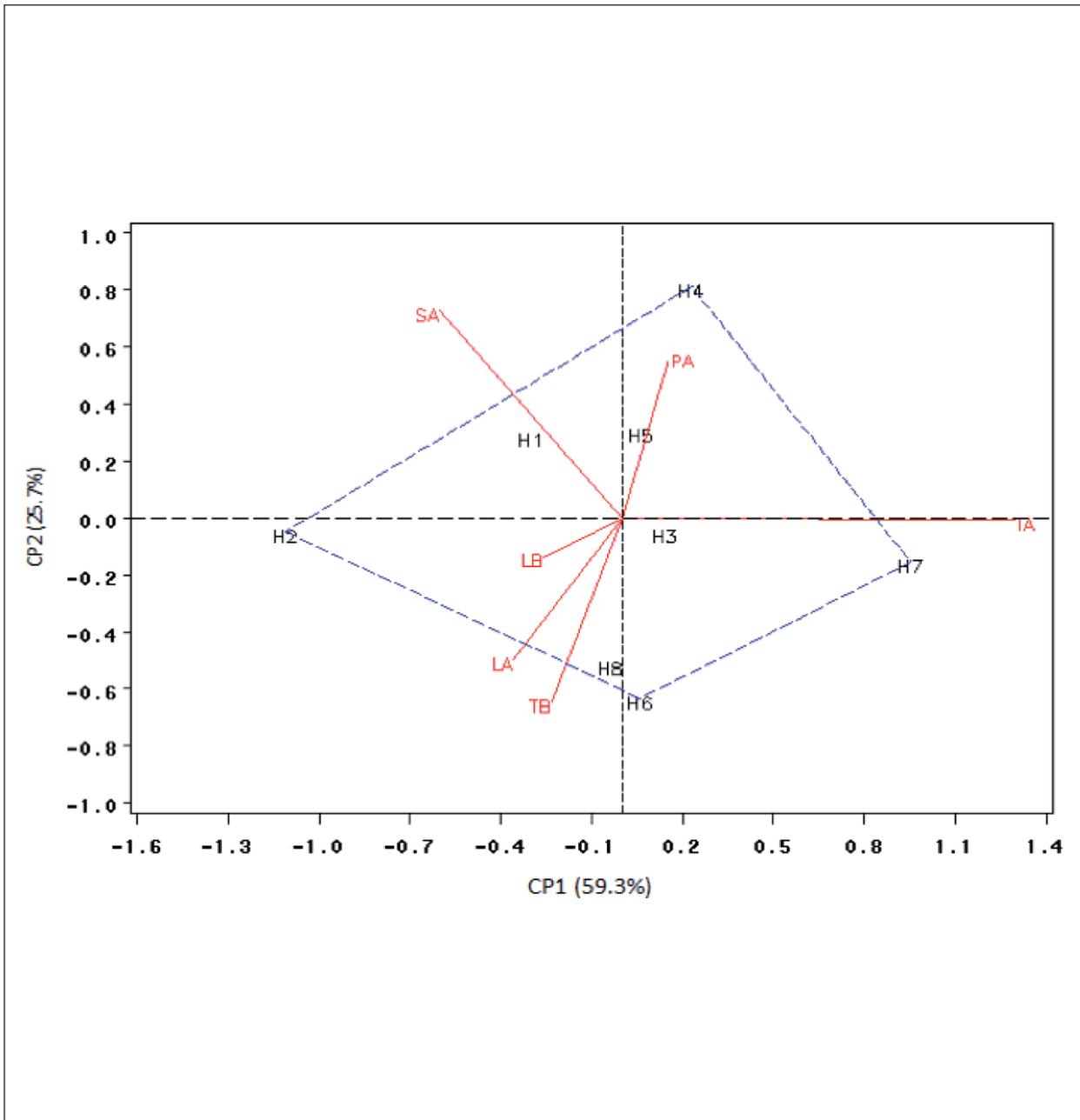


Figura 1. Representación de genotipos y ambientes respecto a los dos primeros componentes CP1 y CP2 del análisis AMMI para el rendimiento de grano de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en seis ambientes. Corpoica 2011
Ambientes: SA (Santa Cruz 2011 A); LA (Corpoica La Libertad 2011 A); TA (Corpoica Taluma 2011 A); PA (Porvenir 2011 A); LB (Corpoica La Libertad 2011 B); TA (Corpoica Taluma 2011 B).

Análisis de variables complementarias. Los cinco híbridos de maíz en estudio presentaron una interacción genotipo por ambiente altamente significativa para las variables altura de planta, floración masculina y femenina y significativa para altura de mazorca con unos valores de coeficiente de variación (Cv) que no superaron 15%, lo que significa el grado de confiabilidad de los datos de campo (tabla 5). Así mismo, mostraron una variación de altura de planta que osciló entre 185,4 y 200,9 cm y con alturas de mazorca entre 90,7 y 103,4 cm. Las

alturas de planta y de mazorca obtenidas para este grupo de híbridos satisfacen los requerimientos para un nuevo híbrido de maíz y están dentro del promedio de los híbridos comerciales. Los días a floración masculina y femenina presentaron una oscilación de 49,3 y 57,9 días para la masculina y de 52,1 y 60,7 días para la femenina. El material con mayor grado de precocidad fue observado con el H-108 con 49,3 días para la floración masculina y 52,1 días después de la siembra para la femenina (tabla 6).

Tabla 5. Análisis de varianza combinado para altura de planta y de mazorca, floración masculina y floración femenina de cinco híbridos de maíz. Corpoica 2011

Cuadrado Medio (C.M)					
Fuente de variación	gl	Altura planta	Altura de mazorca	Floración masculina	Floración femenina
Ambientes	5	536,3**	304,9**	4,9 ns	2,7 ns
Bloques (A)	18	568,0	873,0	2,9	4,3
Genotipo	7	1276,7**	843,7*	160,2**	165,9**
Ambiente x Genotipo	35	156,8**	55,7*	24,8**	26,2**
Error	141	91,2	86,9	5,0	5,6
Total	191				
Cv (%)		5,6	1,5	5,4	5,4

* = nivel de significancia al 0,01.

** = nivel de significancia al 0,05.

ns = no significativo.

Cv = coeficiente de variación.

Tabla 6. Comparación de medias de altura de planta, altura de mazorca, días a floración masculina y femenina de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en la altillanura plana colombiana. Corpoica 2011

Genotipo	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	200,9 a	103,4 a	54,7 bc	57,8 bc
H2: FNC 318	183,6 bc	90,7 b	55,7 abc	58,7 abc
H3: CLA139/CLA41	197,7 a	103,7 a	53,7 c	56,4 c
H4: CML451/CL02450	185,4 bc	95,3 ab	54,7 bc	57,5 bc
H5: CML451Q/CL02450Q	185,3 bc	93,6 b	56,2 abc	59,3 ab
H6: Testigo H-108	188,5 bc	88,2 b	49,3 d	52,1 d
H7: Testigo P30K73	188,3 bc	95,2 ab	56,5 abc	59,2 ab
H8: Testigo Impacto	179,0 bc	89,2 b	57,9 abc	60,7 a

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P < 0,05$ (Tukey).

En la altillanura plana colombiana se presentan algunos hongos de importancia económica para el cultivo de maíz. En esta investigación, de los cinco hongos de mayor prevalencia solo se presentaron dos (*Cercospora* sp. y *Phaeosphaeria* sp.). No se presentaron tres hongos de importancia económica para el cultivo: *Physoderma* sp., *Diplodia* sp. y *Helminthosporium* sp. (tabla 7). Estos valores indican que los nuevos híbridos de maíz mostraron resistencia a *Cercospora* sp. y *Phaeosphaeria* sp.,

especialmente el híbrido H5 que presentó el menor valor de 1,0 para las dos enfermedades.

El híbrido H5 presentó una textura de grano grado 2, semicristalino, una buena cobertura de mazorca y bajo número de mazorcas podridas (tabla 8). Estas variables más el rendimiento y estabilidad permiten reconocerlo como un material con atributos sobresalientes para recomendarlo como híbrido comercial para el uso en la cadena de industria de balanceados.

Tabla 7. Grado de resistencia (escala 1-5) a patógenos prevalentes en la altillanura colombiana de cinco híbridos experimentales. Corpoica, 2011

Genotipo	Genotipo/enfermedades				
	<i>Cercospora</i> sp.	<i>Physoderma</i> sp.	<i>Phaeosphaeria</i> sp.	<i>Diplodia</i> sp.	<i>Helminthosporium</i> sp.
H6: Testigo H-108	3,0	Ausente	2,0	Ausente	Ausente
H7: Testigo P30K73	3,0	Ausente	2,0	Ausente	Ausente
H2: FNC 318	2,0	Ausente	1,0	Ausente	Ausente
H8: Testigo Impacto	2,0	Ausente	2,0	Ausente	Ausente
H4: CML451/CL02450	2,0	Ausente	1,0	Ausente	Ausente
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	2,0	Ausente	1,0	Ausente	Ausente
H3: CLA139/CLA41	2,0	Ausente	1,0	Ausente	Ausente
H5: CML451Q/CL02450Q	1,0	Ausente	1,0	Ausente	Ausente

Tabla 8. Intervalo de valores (escala 1-5) de textura de grano, cobertura de mazorca, acame de tallo y mazorcas podridas de cinco híbridos de maíz amarillo evaluados en la altillanura plana colombiana, Corpoica 2011

Genotipo	Textura grano	Cobertura mazorca	Acame de tallo	Mazorca podrida
H1: CLA41/SRR-C2SA3MH160-2-1	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0 – 2,0	1,0
H2: FNC 318	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0	1,0	1,0 – 2,0
H3: CLA139/CLA41	3,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0
H4: CML451/CL02450	3,0 – 4,0	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0
H5: CML451Q/CL02450Q	2,0	1,0	1,0	1,0
H6: Testigo H-108	2,0	1,0 – 2,0	1,0	1,0
H7: Testigo P30K73	3,0 – 4,0	1,0	2,0 – 3,0	1,0
H8: Testigo Impacto	3,0- 4,0	2,0	2,0 – 3,0	1,0

El acame de tallo en maíz ocasiona pérdidas en la cosecha y dificulta e incrementa los costos de producción. En la altillanura colombiana, donde actualmente existen 20.000 ha y se proyectan extensiones mayores de cultivo, los nuevos materiales genéticos, como el H5, con resistencia al acame de tallo permiten el desarrollo de cosechas mecánicas apropiadas.

El híbrido de maíz H5 que posee el gen mutante natural para QPM presentó en g/100 g de proteína 4,10 de lisina y 0,87 de triptófano, valores superiores en 1,7 y 2,0 veces a los obtenidos por el maíz convencional (P30K73) con 2,32 g de lisina y 0,43 g de triptófano (tabla 9).

CONCLUSIONES

Con base en los seis experimentos desarrollados para la PEA de maíz en la altillanura plana colombiana y las variables evaluadas, se seleccionó el híbrido H5 (CML 451Q/CLA2450Q) como el material candidato a ser liberado comercialmente. Además de presentar un rendimiento ajustado a las metas del PPM, presentó los siguientes atributos:

1. El mejor grado de estabilidad fenotípica a las condiciones de los suelos y clima de las localidades evaluadas en la altillanura plana colombiana.
2. Buen tipo de grano vítreo-cristalino, apropiado para los requerimientos de la industria de alimentos balanceados en Colombia.
3. Apropiada altura de planta y de mazorca, además de tener una floración masculina y femenina acorde con la fenología del maíz en la altillanura.
4. Buena cobertura de mazorca, bajo número de mazorcas podridas y resistencia al acame de tallo.

REFERENCIAS

- Campuzano L. 2012. Plan nacional de investigación, desarrollo y fomento del cultivo de maíz tecnificado en Colombia (2006-2010). www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_Load/Corp2005MT.pdf. Consulta: febrero 2014.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, D.F. 21 p.
- Corpoica. 2012. Informe final Convenio de cooperación técnica y científica entre Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corpoica y CIAT. 16 p.
- Crossa J, Gauch H, Zobel R. 1990. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of two international maize cultivars trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Federación Nacional de Cerealistas y Leguminosas (Fenalce). 2012. Perspectivas del cultivo de maíz para el primer semestre 2012. *Revista Coyuntura Cerealista y de Leguminosas* vol. 38: 8-11.

Tabla 9. Valores de lisina y triptófano (g/100 g de proteína) en el maíz QPM H5 en comparación con el maíz convencional sin el gen opaco 02 (P30K73)

Aminoácido	Normal (Híbrido comercial testigo P30K73)	QPM (H5)
Lisina	2,32	4,10
Triptófano	0,43	0,87

5. Menor grado de afectación por dos enfermedades prevalentes en la altillanura: *Cercospora* sp. y *Phaeosphaeria* sp.
6. Adicionalmente este material posee 1,7 y 2,0 veces más cantidad de lisina y triptófano que el maíz convencional por la presencia del gene opaco, característica que le otorga interés especial para la industria de alimentos balanceados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo económico del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por la provisión de los materiales genéticos de maíz. Agradecimiento a los asistentes de investigación Heber Camargo y Pedro García del Centro de Investigación La Libertad de Corpoica, por su trabajo de apoyo en el campo.

- Hernández H, Bates L. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize CIMMYT. *Research Bulletin* 13: 3-7.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2012. Plan País Maíz 2011-2014. <http://www.minagricultura.gov.co/noticias/paginas/Minagricultura-fortalece-apoyos-al-cultivo-maiz-asp>; consulta: marzo 2014.
- Prasanna B, Vasal S, Kasahun B, Singh N. 2001. Quality protein maize. *Curr. Sci.* 81:1308-1319.
- SAS: Institute Inc. 2003. Cary, NC, USA. Version 9.3 Licencia Corpoica 70148300.
- Vasal S. 2000. Quality protein maize story. *Proceeding of workshop on improving human nutrition through agriculture. The rule of International Agricultural Research, IRRI.* pp. 1-16.
- Villegas E, Ortega E, Bauer R. 1984. Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. México: CIMMYT. 35 pp.