

ARTÍCULO CIENTÍFICO

APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE LÍNEAS PURAS DE MAÍZ AMARILLO DURO Y SELECCIÓN DE HÍBRIDOS SIMPLES

Caicedo, Marlon*; Ángel, Luis; Villavicencio, Paúl; Saltos, Ezequiel

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue, Km. 5 vía Quevedo-El Empalme, Mocache, Ecuador

Resumen

La aptitud combinatoria general y específica, se utiliza para identificar combinaciones híbridas entre líneas endogámicas con rendimiento mejor o peor que el comportamiento promedio esperado de las líneas progenitoras. El objetivo del presente trabajo fue identificar y seleccionar híbridos simples de maíz de alto rendimiento, mediante el estudio de los efectos de aptitud combinatoria general y específica de sus progenitores, evaluados en tres ambientes contrastantes del Litoral ecuatoriano. Para el efecto, se evaluaron 75 híbridos experimentales formados al cruzar 32 líneas S4 (femeninas) y tres líneas élite (masculinas), desarrollados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Estos parámetros fueron estimados aplicando los modelos genéticos propuestos por Griffing (1956) y Sprague y Tatum (1941), respectivamente. Las líneas: PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1 (femenina) y L-237-2-1-3 Pob A1 (masculina), presentaron los mayores efectos de aptitud combinatoria general; mientras que los híbridos CML-171- 5 × L-1-2-11-7 B-520 y CML-171-5 × L-237-2-1-3 Pob A1, fueron los que mostraron mayor aptitud combinatoria específica en los diferentes ambientes de evaluación y entre ellos, con un promedio de rendimiento superior a las 7 t ha⁻¹.

Palabras clave: aptitud combinatoria, efecto genético, endogámicas, híbrido simple, líneas consanguíneas.

*Correspondencia a: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Tropical Pichilingue, Km. 5 vía Quevedo-El Empalme, Mocache, Ecuador. Teléfono: +(593) 52783044 e-mail: marlon.caicedo@iniap.gob.ec

GENERAL AND SPECIFIC COMBINING ABILITY IN YELLOW FLINT MAIZE INBRED LINES AND SIMPLE HYBRIDS SELECTION

Abstract

General and specific combining ability, is used to identify hybrid combinations among inbred lines perform better or worse than average expected behavior of the parental lines. The aim of this study was to identify and choose maize simple high yield hybrids by studying the effects of general and specific combining ability, evaluated in three contrasting environments of the Ecuadorian coast. So that, were evaluated 75 experimental hybrids formed by crossing 32 inbred lines S4 (females) and three male elite inbred lines, generated in Pichilingue Tropical Experiment Station. These parameters were estimated using genetics models proposed by Griffing (1956) and Sprague and Tatum (1941), respectively. The inbred lines: PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1 (female) and L-237-2-1-3 Pob A1 (male), were showed the highest general combining ability effects, while CML-171-5 × L-1-2-11-7 B-520 and CML-171-5 × L-237-2-1-3 Pob A1 hybrids, were showed greater specific combining ability in different assessment environments and between them; moreover, they showed a yield average upper to 7 t ha⁻¹.

Keywords: combining ability, genetic effect, inbreeding, simple hybrid, inbred lines

I. INTRODUCCIÓN

El maíz duro en el Ecuador es una de las pocas especies que se cultivan a nivel nacional (costa,

sierra y oriente), por lo que es considerado uno de los productos agrícolas más importantes, tanto para consumo humano como por su uso en la agroindustria. En el país durante el año 2014, la superficie cosechada fue de 381066 hectáreas; reportándose, además una producción de 1536508 toneladas y un rendimiento promedio de 4.03 t ha⁻¹. Estos valores representaron un incremento en la producción de 7.76% con respecto al año 2013, provocando disminución de las importaciones en 8.71%. En contraposición, las exportaciones incrementaron en 69.71% en comparación al 2013, siendo Colombia el único comprador. Las principales provincias productoras de grano seco de maíz en relación a la producción nacional, fueron: Los Ríos (53.81%), Manabí (15.07%), Guayas (14.63%) y Loja (7.24%); zonas en las que el uso de semilla híbrida, representó aproximadamente el 80% de la superficie sembrada. Adicionalmente, el precio promedio a nivel de productor y mayorista se ha mantenido en los últimos tres años en alrededor de 16 y 17 USD/qq, respectivamente; por lo que, su cultivo es una alternativa atractiva dentro de los sistemas de producción. [1]

El desarrollo de híbridos de maíz es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento; [2,3] por lo tanto, la mejor forma de aumentar la producción del cultivo por unidad de superficie es mediante el desarrollo y utilización de híbridos de alto rendimiento; y, el primer paso para desarrollar este tipo de material es la obtención de líneas con alto grado de homocigocidad. Actualmente, el objetivo principal de cualquier programa de mejoramiento genético para la obtención de híbridos es producir híbridos de cruza simple involucrando líneas homocigóticas (líneas puras) como progenitores, con el objeto de explotar al máximo la heterosis y obtener híbridos superiores en producción y otras características agronómicas. [4-7]

Por lo antes expuesto, en el desarrollo de híbridos superiores la identificación de buenos progenitores es muy importante; para ello, es necesario no solo enfatizar en la aptitud combinatoria de las líneas sino también en el comportamiento de las líneas puras per se, especialmente su capacidad para producir cantidad suficiente de semilla viable y buena calidad. [8,9] Así pues, escoger el germoplasma apropiado para desarrollar líneas

puras es un aspecto muy crítico, [10] puesto que las líneas deben ser vigorosas, de buenas características agronómicas y alto rendimiento, con la finalidad de que un programa de mejoramiento tenga éxito. Varios estudios se han realizado en maíz con la finalidad de obtener y seleccionar líneas puras, [5] así como también, para evaluar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las líneas, [11] basados en diseños genéticos que son comúnmente usados en mejoramiento de plantas, los que permiten a más de estimar ACG y ACE, determinar la heterosis y parámetros genéticos como: varianza genética, varianza fenotípica y heredabilidad de los caracteres. [12]

La ACG describe el comportamiento promedio de un progenitor en sus cruzamientos, midiendo el rendimiento medio de una línea en combinaciones híbridas, es decir, el comportamiento de la línea cuando es cruzada con otros genotipos. [13] Por otro lado, la ACE evalúa la acción genética no aditiva (dominancia y epistasia) y se utiliza para identificar la combinación de cruzamientos entre líneas endogámicas con rendimiento superior. [14]

En la presente investigación, se determinó la ACG y ACE de 35 líneas S4 (32 femeninas y 3 masculinas, todas con consanguinidad mayor al 80%) y se evaluó el cruzamiento entre dichas líneas, con la finalidad de identificar los mejores progenitores; así como también, seleccionar los 10 híbridos más sobresalientes, los cuales posteriormente continuarán con el proceso de mejoramiento, mediante: la evaluación y selección multi-ambiental (comparados con varios testigos), evaluación participativa en campo de agricultores, registro en el Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual (IEPI) y liberación (caso de los híbridos) para la libre producción de grano, por parte de los productores ecuatorianos de maíz duro.

II.METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera consistió en la formación de híbridos simples y la segunda en la evaluación de los mismos en ambientes contrastantes. Los cruzamientos fueron realizados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), Quevedo, mediante polinizaciones manuales durante la época lluviosa del año 2012, usando un diseño dialélico de líneas puras Método 4 (sin

padres y sin recíprocos) Modelo I (factores fijos), definido por Griffing (1956). [15] La evaluación de las cruzas resultantes (híbridos F_1) se realizó en tres ambientes de la costa ecuatoriana durante la época seca del año 2012. La EETP localizada a $79^{\circ} 27'$ longitud Oeste, $01^{\circ} 06'$ de latitud Sur y 75 m altitud (evaluación con humedad remanente). El Centro de Investigación y Desarrollo “La Josefina” (Balzar) localizado a $79^{\circ} 45'$ longitud Oeste y $1^{\circ} 30'$ de latitud Sur y 63 m de altitud (evaluación con riego por aspersión). La Estación Experimental Portoviejo (EEP) (Portoviejo), localizada a $80^{\circ} 23'$ longitud Oeste y $01^{\circ} 10'$ de latitud Sur y 45 m de altitud (evaluación con riego por gravedad).

Material Genético

Utilizando 32 líneas S_4 conservadas en el Programa de maíz de la EETP del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), se realizaron cruzas simples manuales. Estas líneas por ser excelentes productoras de semilla, fueron utilizadas como progenitores femeninos y divididas en tres grupos, debido a la distancia genética existente entre grupos, reportado en la caracterización agromorfológica y molecular realizada en ciclos anteriores. Es decir, las líneas del grupo uno, no están emparentadas con las del grupo tres; mientras que, las líneas del grupo dos presentan algo de consanguinidad tanto con las líneas del grupo uno como con las líneas del grupo tres. Por otro lado, las líneas élite: CML-172-4, L-237-2-1-3 Pob A1 y L-1-2-11-7 B-520, fueron utilizadas como progenitores masculinos por ser buenas productoras de polen en los diversos ensayos del programa; adicionalmente, las dos últimas líneas intervienen como parentales (independientes) de los híbridos INIAP H-551 e INIAP H-553, comercializados actualmente. De los 96 cruzamientos posibles se seleccionaron solamente 75, debido a que de éstos híbridos se obtuvo suficiente cantidad de semilla para la evaluación en diferentes ambientes.

Análisis estadístico

Para la evaluación de los híbridos en los tres ambientes, se utilizó un diseño Látice simple 9×9 . Los ensayos estuvieron conformados por 75 cruzas F_1 (híbridos simples) resultantes de las combinaciones obtenidas entre las 32 líneas femeninas y las 3 líneas élites masculinas (probadores) y comparadas frente

a seis híbridos comerciales (INIAP H-553, INIAP H-601, INIAP H-602, DEKALB-1596, INSIGNIA-105 y PIONEER-3526) utilizados como testigos.

De cada ambiente Se realizaron análisis de varianza individuales usando el paquete estadístico ALFA, [16] con la finalidad de obtener las medias ajustadas por el efecto de bloque de cada uno de los tratamientos y caracteres según se explica en Cochran y Cox. [17] Si la eficiencia relativa del látice es mayor que 1, significa que la varianza del error utilizando éste diseño es menor y que los promedios de los genotipos fueron ajustados por efectos de los bloques; mientras que, si la eficiencia relativa es menor que 1, significa que la varianza del error es mayor; por lo tanto, los promedios no fueron ajustados por los efectos de los bloques. [16] Posteriormente, con las medias ajustadas se realizó el análisis de varianza combinado, considerando como fuentes de variación ambientes, híbridos y la interacción híbridos \times ambiente. A los híbridos se los consideró como factor fijo, mientras que ambiente y la interacción híbridos \times ambiente fueron considerados factores aleatorios. La suma de cuadrados debida a las combinaciones híbridas fue ortogonalmente dividida en tres componentes de variación, *Aptitud Combinatoria General* (ACG) de líneas femeninas y masculinas, y *Aptitud Combinatoria Específica* (ACE). Igualmente, se dividió en estos mismos componentes de variación la suma de cuadrados debida a la interacción “Híbrido \times Ambiente”.

Adicionalmente, se realizó un análisis genético por ambiente y entre ambientes, para estimar ACG y ACE. La ACG se estimó aplicando la fórmula propuesta por Griffing y para la ACE se utilizó la fórmula propuesta por Sprague y Tatum. [15,18]

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = u + g_i + g_j + S_{ij} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Y_{ij} = rendimiento promedio de una craza en el que interviene el ij -ésimo progenitor.

u = valor medio del grupo de cruzas

g_i = efecto de ACG del i -ésimo progenitor (Femenino)

g_j = efecto de ACG del j -ésimo progenitor (Masculino)

S_{ij} = efecto de ACE del i -ésimo progenitor (Femenino) con el j -ésimo progenitor (Masculino).

En base a los efectos de ACG obtenidos de las líneas,

éstas fueron clasificadas en alta, intermedia y baja, mediante la agrupación de los valores de $ACG > 1$, ACG cercanos a 1 (0.5-1), y $ACG < 0.5$, respectivamente. [19] El alto rendimiento de ciertas cruces (ACE) fue interpretado de acuerdo a los siguientes efectos: efectos aditivos $(gi+gj) > Sij$; efectos no aditivos $Sij > (gi+gj)$ o a efectos aditivos más no aditivos $(gi+gj) = Sij$.

Los análisis estadísticos de los diseños expuestos se llevaron a cabo con los Programas ALFA y GENSTAT DISCOVERY EDITION 4.

Variables Evaluadas

Se evaluaron varios caracteres agronómicos, tales como: floración femenina, altura de planta y mazorca, acame de tallo y raíz, cobertura, pudrición y aspecto de mazorca; rendimiento y sus componentes. Sin embargo, en el presente artículo se presentan los resultados obtenidos para rendimiento, ya que la selección de líneas puras e híbridos se realiza principalmente por este carácter.

El Rendimiento ($t\ ha^{-1}$), fue calculado ajustando al 13% de humedad, utilizando la ecuación 2:

Ec. 2

$$RENDIMIENTO (t/ha) = \frac{(PC \times D \times MS \times 1000)}{(87 \times AP)}$$

Donde:

PC = Peso de campo en kg

D = Proporción de grano, expresado en decimales

MS = Materia seca (100 - porcentaje de humedad), expresado en decimales

87 = Porcentaje de materia seca que contendrá el grano como prueba de uniformidad

AP = Área de la parcela experimental expresada en m^2 .

Manejo del Experimento

La siembra de los ensayos de evaluación, se realizaron el 13 y 15 de junio del 2012 en Balzar y Quevedo, respectivamente; y, el 12 de julio del 2012 en Portoviejo. La unidad experimental estuvo constituida por parcelas de 26 plantas cada una, representadas por un surco de 5.2 m y una superficie

total de $4.2\ m^2$. Se sembraron dos semillas por sitio a una distancia de 0.20 m entre plantas y 0.80 m entre surcos. Posteriormente al raleo se dejó una planta por sitio, consiguiendo una densidad final de 62500 plantas/ha.

Los predios en donde se efectuaron las siembras, fueron preparados mecánicamente, mediante un pase de arado y dos de rastra. Inmediatamente, después de la siembra en Quevedo y Balzar, se aplicó al suelo mediante aspersión, una mezcla de: 1.5 kg de Atrazina, 1.5 litros de Alaclor, 3.0 litros de Pendimetalin y 1 litro de Clorpirifos por hectárea, para el control de malezas e insectos plaga del suelo. En Portoviejo se aplicó al suelo mediante aspersión, 4 litros de Alaclor y 1 litro de Terbutrina por hectárea. Los lotes experimentales recibieron una fertilización (previo al análisis) de 280 N-90 P_2O_5 -45 K_2O por hectárea. La fertilización fosfórica y potásica se realizó en bandas laterales a los 8 días después de la siembra, en las tres localidades; en tanto que la fertilización nitrogenada, fue fraccionada en dos partes iguales a los 15 y 30 días después de la siembra (dds). A nivel foliar se aplicó Metalosate de Zinc en dosis de 1 litro/ha. a los 20 dds. Los controles de insectos plagas se realizaron mediante aspersiones rotativas, utilizando Spinetoram y Novularon en dosis de 100 y 30 $ml\ ha^{-1}$, respectivamente; entre los 15 y 35 dds; adicionalmente se realizó la aplicación de cebo (arena + Clorpirifos), aplicados al cogollo de las plantas a los 40 dds. El control pos-emergente de las malezas se realizó en forma manual a los 20 y 40 dds. La cosecha, se realizó a la madurez fisiológica en forma manual, aproximadamente a los 120 dds.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Bajo condiciones ambientales de Quevedo, los resultados del análisis de varianza para rendimiento, mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre híbridos (Tabla 1). Se determinó un promedio general de $5.24\ (t\ ha^{-1})$. Los híbridos CML-171-5×L-1-2-11-7 B-520, CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1, L-16-13-8-5 Pob 31×L-237-2-1-3 Pob A1 y L-56-5-1-3-8 PICH 7928×L-237-2-1-3 Pob A1, mostraron rendimientos superiores a las $7\ t\ ha^{-1}$ ($7.53, 7.68, 7.49$ y $7.59\ t\ ha^{-1}$, respectivamente). Por el contrario, el rendimiento más bajo ($0.68\ t\ ha^{-1}$), se registró en el híbrido CML-171-5×CML-172-4, sugiriendo que estas líneas están emparentadas. El testigo, que

registró el mejor rendimiento fue el PIONEER 3523 con 6.24 t ha^{-1} ; sin embargo, fue superado por los híbridos experimentales antes mencionados (Tabla 3).

En el caso de Balzar, los análisis de varianza para rendimiento no reportaron diferencias significativas entre los híbridos evaluados (Tabla 1). El promedio general de producción obtenido fue de 6.19 t ha^{-1} . Los híbridos más sobresalientes fueron los testigos DEKALB-1596 con 9.59 t ha^{-1} , seguido del INIAP H-602 con 9.21 t ha^{-1} ; mientras que, el híbrido CML-171-5×CML-172-4 presentó el rendimiento más bajo con apenas 0.94 t ha^{-1} , corroborando el parentesco existente entre estas líneas (Tabla 3).

Los resultados del análisis de varianza realizado para rendimiento en Portoviejo, determinaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre los híbridos evaluados (Tabla 1), con un promedio general de 7.74 t ha^{-1} . El híbrido DEKALB-1596 presentó el mayor rendimiento (12.85 t ha^{-1}), seguido de los híbridos INIAP H-602 y CLA-93×L-237-2-1-3 Pob A1, con rendimientos de 10.40 y 10.29 t ha^{-1} , respectivamente. En tanto que el híbrido CML-171-5×CML-172-4 mostró el rendimiento más bajo con un promedio de 2.10 t ha^{-1} (Tabla 3).

En el análisis de varianza combinado de los tres ambientes, no se encontraron diferencias significativas para híbridos; sin embargo, en la interacción híbridos x ambiente se detectaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) (Tabla 2) y el promedio general de rendimiento fue de 6.41 t ha^{-1} . Los híbridos CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1, INIAP H-602, DEKALB-1596 y PIONEER 3523 alcanzaron promedios superiores a las 8.00 t ha^{-1} con rendimientos de 8.19 , 8.54 , 8.91 y 8.17 t ha^{-1} , respectivamente (Tabla 3).

El bajo promedio de rendimiento encontrado en Quevedo (5.24 t ha^{-1}), se debió principalmente al estrés provocado por la falta de agua durante el período de llenado de grano, ya que este cultivo se desarrolló bajo condiciones de humedad remanente; es decir, aprovechando la humedad retenida en el suelo después de la época lluviosa, que es una práctica habitual realizada por los productores de maíz en el trópico húmedo del Ecuador. La falta de este elemento en varios cultivos ha sido reportada en diversas publicaciones, por el impacto negativo que produce en el cultivo durante la instalación,

en el crecimiento, desarrollo y especialmente en la etapa productiva. [20-22] Por el contrario, en Balzar, la falta de riego no significó un problema, sino la mala distribución del mismo (encharcamiento), lo que ocasionó el volcamiento de algunos materiales, dónde se observó el mayor porcentaje de acame de raíz, [23] así como también, limitación en los procesos fisiológicos normales para el desarrollo de las plantas. [24] En Portoviejo, el riego practicado en el ensayo fue por gravedad, esto permitió que las plantas mostraran mayor eficiencia en la captación del agua y nutrientes, resultados que corresponden a los reportados por varios autores, [25, 26] por lo tanto, fue el mejor ambiente dentro de la evaluación, dónde se obtuvo el promedio más alto de rendimiento de grano (7.74 t ha^{-1}). En Quevedo los promedios de rendimiento fueron 15.3 y 32.3% menores en relación a los obtenidos en Portoviejo y Balzar; debido, al estrés por sequía antes señalado. Resultados similares fueron obtenidos por Kamara y otros, [27] al evaluar varios genotipos de maíz (híbridos, variedades de polinización abierta y variedades locales) bajo stress de sequía. Al igual que los resultados obtenidos en el presente trabajo, Ribaut y otros [28] encontraron correlación negativa entre el rendimiento de grano y el índice de tolerancia a la sequía, reportando decrecimiento de hasta el 60% en el rendimiento.

Evaluar los híbridos en diferentes ambientes consiste en una práctica muy importante desde el punto de vista del mejoramiento, que ha sido practicado por los mejoradores de cultivos desde hace mucho tiempo; por lo tanto, esta metodología permite identificar y seleccionar los materiales más estables y de mejor comportamiento agronómico para una amplia zona de cultivo; [29-32] en este contexto, los híbridos identificados en el presente trabajo (CLA-97×L-1-2-11-7 B-520, CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1, FAM-11-1-14 Pob. B×L-237-2-1-3 Pob A1 y P79-RH-129-1-1×CML-172-4), mostraron adaptación al menos a dos ambientes de evaluación, alta heterosis y rendimiento superior a las 7.2 t ha^{-1} , convirtiéndose en híbridos promisorios, que pueden continuar en el proceso de mejoramiento. Al respecto Smith y otros, [33] encontraron resultados afines con nuestra investigación, quienes, basados en su estudio de distancia genética, reportaron alta correlación entre el rendimiento de grano de una cruce simple y la heterosis presentada para el mismo carácter.

Tabla 1: Análisis de variancia para rendimiento (t ha⁻¹) de 81 híbridos de maíz, evaluados en Quevedo, Balzar y Portoviejo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS DE RENDIMIENTO (t ha ⁻¹)		
		Quevedo	Balzar	Portoviejo
Repetición	1	15.31	7.925	2.23
Híbridos	80	2.63**	0.001 ns	3.88**
Error	64	0.95	0.001	0.86

Tabla 2: Análisis de variancia combinado para rendimiento (t ha⁻¹) de 81 híbridos de maíz, evaluados en Quevedo, Balzar y Portoviejo.

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS
Ambiente	2	128.99
Híbridos	80	3.73 ns
Híbridos x Ambiente	160	0.88 **
Error	240	1.09

Tabla 3: Promedios de rendimiento de 81 híbridos simples de maíz, evaluados en Quevedo, Balzar, Portoviejo y entre ambientes.

RENDIMIENTO (t ha ⁻¹)					
No.	HÍBRIDOS	QUEVEDO	BALZAR	PORTOVIEJO	COMBINADO
1	CLA-156× CML-172-4	4.65	5.37	7.39	5.80
2	CLA-156× L-1-2-11-7 B-520	4.34	4.30	6.94	5.19
3	CLA-156× L-237-2-1-3 Pob A1	5.52	5.16	6.17	5.61
4	CLA-93× CML-172-4	6.27	3.28	7.52	6.09
5	CLA-93× L-1-2-11-7 B-520	5.21	6.57	7.66	6.48
6	CLA-93× L-237-2-1-3 Pob A1	5.86	6.67	10.29	7.60
7	CLA-97× CML-172-4	5.98	6.83	8.39	7.07
8	CLA-97× L-1-2-11-7 B-520	5.66	7.99	8.63	7.43
9	CLA-97× L-237-2-1-3 Pob A1	4.02	5.97	7.57	5.85
10	CML-163× CML-172-4	2.51	2.08	5.90	3.50
11	CML-163× L-1-2-11-7 B-520	4.43	6.90	7.55	6.30
12	CML-163× L-237-2-1-3 Pob A1	5.75	4.97	8.89	6.54
13	CML-171-5× CML-172-4	0.68	0.94	2.10	1.24
14	CML-171-5× L-1-2-11-7 B-520	7.53	7.44	8.61	7.86
15	CML-171-5× L-237-2-1-3 Pob A1	7.68	8.82	8.07	8.19
16	CML-29× CML-172-4	5.53	6.34	7.97	6.61
17	CML-29× L-1-2-11-7 B-520	5.34	7.66	7.71	6.90
18	CML-29× L-237-2-1-3 Pob A1	6.20	6.97	8.88	7.35
19	CML-299× L-1-2-11-7 B-520	4.52	3.90	6.74	5.06
20	CML-299× L-237-2-1-3 Pob A1	4.74	7.56	8.20	6.83
21	CML-31× CML-172-4	4.99	7.42	7.96	6.79
22	CML-31× L-1-2-11-7 B-520	4.11	6.27	6.56	5.64
23	CML-31× L-237-2-1-3 Pob A1	3.50	5.28	7.08	5.29
24	CML-40-4× CML-172-4	5.24	6.83	7.90	6.65
25	CML-40-4× L-1-2-11-7 B-520	5.97	6.39	6.89	6.56
26	CML-40-4× L-237-2-1-3 Pob A1	5.14	5.65	8.15	6.31
27	FAM-11-1-14 Pob B× CML-172-4	6.54	6.85	8.09	7.16
28	FAM-11-1-14 Pob B× L-1-2-11-7 B-520	3.00	4.03	8.55	5.19
29	FAM-11-1-14 Pob B× L-237-2-1-3 Pob A1	6.25	6.64	8.97	7.29
30	FAM-24-1-5 Pob B× CML-172-4	5.90	5.67	7.84	6.47
31	FAM-24-1-5 Pob B× L-1-2-11-7 B-520	4.87	6.29	6.31	5.82
32	FAM-24-1-5 Pob B× L-237-2-1-3 Pob A1	4.11	6.43	5.82	5.45
33	L-257-2-2-6-4 Pob A1× L-1-2-11-7 B-520	4.92	6.94	6.03	5.96
34	L-257-2-2-6-4 Pob A1× L-237-2-1-3 Pob A1	3.62	4.39	4.29	4.11
35	L-16-13-8-5 Pob 31× CML-172-4	5.63	5.81	8.47	6.64
36	L-16-13-8-5 Pob 31× L-1-2-11-7 B-520	4.22	5.12	7.27	5.54
37	L-16-13-8-5 Pob 31× L-237-2-1-3 Pob A1	7.49	4.77	8.57	6.94
38	L-16-5-1-6 Pob 31× CML-172-4	5.90	6.57	6.07	6.18
39	L-16-5-1-6 Pob 31× L-1-2-11-7 B-520	4.42	6.23	6.13	5.59
40	L-16-5-1-6 Pob 31× L-237-2-1-3 Pob A1	5.28	7.01	7.31	6.53
41	L-23-2-8-1 Pob 31× L-1-2-11-7 B-520	3.47	5.06	6.47	5.00
42	L-7-4-9-5 Pob 31× L-1-2-11-7 B-520	4.42	4.83	6.15	5.13
43	CML-294-2× CML-172-4	5.97	6.40	6.31	6.23
44	CML-294-2× L-1-2-11-7 B-520	4.40	6.03	6.03	5.49

No.	HÍBRIDOS	RENDIMIENTO (t ha ⁻¹)			
		QUEVEDO	BALZAR	PORTOVIEJO	COMBINADO
45	CML-294-2#× L-237-2-1-3 Pob A1	6.36	6.01	8.07	6.81
46	L-16-3-11-3-2# Pob 31× CML-172-4	6.28	7.04	8.26	7.19
47	L-16-3-11-3-2# Pob 31× L-1-2-11-7 B-520	5.72	6.00	6.54	6.08
48	L-16-3-11-3-2# Pob 31× L-237-2-1-3 Pob A1	6.01	5.43	6.85	6.10
49	L-41-2-6-1 PICH 7928× L-1-2-11-7 B-520	4.86	6.51	8.74	6.70
50	L-56-5-1-3-8 PICH 7928× CML-172-4	4.37	3.94	5.04	4.45
51	L-56-5-1-3-8 PICH 7928× L-1-2-11-7 B-520	4.85	6.30	7.64	6.26
52	L-56-5-1-3-8 PICH 7928× L-237-2-1-3 Pob A1	7.59	6.57	8.46	7.54
53	L-37-7-3-4-6 P R-8024× CML-172-4	6.39	6.36	7.90	6.88
54	L-37-7-3-4-6 P R-8024× L-1-2-11-7 B-520	4.52	6.41	7.36	6.09
55	L-37-7-3-4-6 P R-8024× L-237-2-1-3 Pob A1	6.33	6.16	8.28	6.92
56	L-61-9-11-5-2 P R-8024× CML-172-4	6.11	6.34	8.68	7.04
57	L-61-9-11-5-2 P R-8024× L-1-2-11-7 B-520	4.14	6.94	7.10	6.06
58	L-61-9-11-5-2 P R-8024× L-237-2-1-3 Pob A1	6.35	7.82	9.67	7.95
59	L-63-3-1-6-5 P R-8024× CML-172-4	6.61	6.37	8.24	7.07
60	L-63-3-1-6-5 P R-8024× L-1-2-11-7 B-520	3.95	4.44	8.27	5.55
61	L-63-3-1-6-5 P R-8024× L-237-2-1-3 Pob A1	6.03	8.14	9.05	7.74
62	L-104-2-5-4 B-521× L-1-2-11-7 B-520	5.93	6.43	8.27	6.88
63	L-70-3-8-8 B-523× L-1-2-11-7 B-520	4.93	6.37	6.83	6.05
64	L-44-6-1-10-2# B-530× L-1-2-11-7 B-520	5.98	5.76	6.69	6.14
65	L-44-6-9-14 B-530× L-1-2-11-7 B-520	5.38	6.68	7.42	6.49
66	L-44-6-9-14 B-530× L-237-2-1-3 Pob A1	6.07	4.86	6.43	5.79
67	L-18-2-1-4-2 FAM-5× CML-172-4	5.37	5.31	8.06	6.25
68	L-18-2-1-4-2 FAM-5× L-1-2-11-7 B-520	6.14	7.18	8.40	7.24
69	L-18-2-1-4-2 FAM-5× L-237-2-1-3 Pob A1	4.50	6.62	9.71	6.94
70	LP 3 ^a × L-1-2-11-7 B-520	4.89	6.57	7.98	6.48
71	L.I.4× L-1-2-11-7 B-520	5.67	7.05	8.53	7.08
72	PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1× L-1-2-11-7 B-520	6.70	7.29	7.48	7.16
73	P79-RH-129-1-1× CML-172-4	6.09	7.42	9.06	7.52
74	P79-RH-129-1-1× L-1-2-11-7 B-520	4.53	6.70	8.48	6.57
75	P79-RH-129-1-1× L-237-2-1-3 Pob A1	4.89	7.67	8.83	7.11
76	INIAP H-553 (T)	2.89	6.82	9.54	6.42
77	INIAP H-601 (T)	3.77	4.69	9.36	5.94
78	INIAP H-602 (T)	6.01	9.21	10.40	8.54
79	DEKALB-1596 (T)	4.28	9.59	12.85	8.91
80	INSIGNIA-105 (T)	5.57	7.01	9.20	7.26
81	PIIONEER 3523 (T)	6.24	9.19	9.09	8.17
	PROMEDIO GENERAL	5.24	6.19	7.74	6.41

Efectos de ACG y ACE

En los análisis de varianza realizados por ambiente, en Quevedo y Balzar no se encontraron diferencias significativas para la ACG de las líneas progenitoras femeninas y masculinas; mientras que, en Portoviejo, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para la ACG de las líneas femeninas, la fuente de variación ACG masculina fue no significativa (Tabla 4). En relación al análisis de varianza combinado, se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para la ACG de los parentales femeninos; en la ACG masculina no se registró diferencias significativas (Tabla 5).

El 18.18% de líneas femeninas evaluadas en Quevedo

(Fig. 2, A), presentaron ACG intermedia (valores entre 0.5 y 1), únicamente la línea PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1 presentó alta ACG con un efecto igual a 1.46 t ha⁻¹ (Fig. 1, A). En Balzar los efectos de ACG de los parentales femeninos fueron similares a los obtenidos en la localidad anterior, las líneas PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1 5 y P79-RH-129-1-1 mostraron alta ACG con valores >1 (1.21 y 1.18 t ha⁻¹) (Fig. 1, B); adicionalmente, el 15.15% de líneas femeninas presentaron ACG intermedia con valores entre 0.5-1 (Fig. 2, B). En Portoviejo, las líneas femeninas: CLA-93, FAM-11-1-14 Pob B, L-41-2-6-1 PICH 7928, L-61-9-11-5-2 P R-8024, L-63-3-1-6-5 P R-8024, L-18-2-1-4-2 FAM-5, L.I.4, P79-RH-129-1-1, mostraron alta ACG (valores >1) (Fig. 1, C). El 15.15% de líneas femeninas mostraron valores entre 0.5 y 1, por lo

tanto, ACG intermedia (Tabla 6; Fig. 2, C). Los efectos de ACG en el análisis combinado, determinaron que el 27.27% líneas femeninas presentaron ACG intermedia (0.5-1), las demás líneas mostraron baja ACG (valores <0.5) (Fig. 1, D; 2, D). En lo referente a las líneas masculinas, la línea L-237-2-1-3 PobA1 es la que mejor ACG mostró en cada ambiente y a través de ambientes, aunque su efecto de ACG fue bajo (<0.5). Como resultado del análisis combinado, el 27.27% de las líneas femeninas evaluadas presentaron buena ACG; mientras que, todas las líneas masculinas mostraron baja ACG (Tabla 6; Fig. 2, D).

Los resultados del análisis de varianza combinado para estimar la ACE de rendimiento, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las fuentes de variación: partición ortogonal ACE (Femenina \times Masculina) y en la interacción ACE (Femenina \times Masculina) \times ambiente (Tabla 5). En Quevedo, ocho cruzamientos presentaron alta ACE, el valor más alto fue registrado por el cruzamiento CML-171-5 \times L-1-2-11-7 B-520 con un valor de 2.55 t ha⁻¹ (Tabla 7); sin embargo, obtuvo el tercer lugar para rendimiento de grano con un promedio de 7.53 t ha⁻¹ (Tabla 3). Por su parte, el cruzamiento entre CML-171-5 y L-237-2-1-3 Pob A1 fue el segundo híbrido con mejor ACE y primero en rendimiento de grano con 7.68 t ha⁻¹ (Tabla 3). En Balzar, al igual que la localidad anterior, ocho de los cruzamientos resultaron con alta ACE, el híbrido CML-171-5 \times L-237-2-1-3 Pob A1, expresó el valor más alto en comparación con los demás híbridos, con un efecto de 2.79 t ha⁻¹ (Tabla 7). En lo que se refiere a Portoviejo, seis de los cruzamientos presentaron altos valores de ACE, la línea femenina CML-171-5 registró los valores más altos de ACE combinada con las líneas masculinas L-1-2-11-7 B-520 y L-237-2-1-3 Pob A1 con valores de 2.47 y 1.27 t ha⁻¹ (Tabla 7), respectivamente. Por el contrario, al igual que en los ambientes anteriores la línea CML-171-5 por CML-172-4 registró la más baja ACE (-4.08 t ha⁻¹), debido a la consanguinidad existente entre estas dos líneas, lo mismo ocurrió entre las líneas L-257-2-2-6-4 Pob A1 y L-237-2-1-3 Pob A1 (-1.41 t ha⁻¹), que también demostraron alto grado de consanguinidad (Tabla 7). Del análisis combinado (Tabla 7), se determinaron varios cruzamientos con alta ACE; sin embargo, el cruzamiento CML-171-5 y L-1-2-11-7 B-520, mostró el efecto más alto con un valor de 2.20 t ha⁻¹. En base al análisis combinado, el 18.67% de líneas implicadas en los cruzamientos mostraron efectos

de ACE superiores a 0.5 (Fig. 3). El alto rendimiento de los cruzamientos que presentaron altos efectos de ACE, fueron debidos a efectos no aditivos.

En la interacción híbridos \times ambiente observado en el análisis combinado para rendimiento, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 5), estos resultados sugieren que los híbridos presentaron comportamiento similar en todos los ambientes de evaluación; y, mostraron estricta similitud con los resultados obtenidos por Moll y otros. [34] Al desglosar la misma fuente de variación (híbridos \times ambiente) en los efectos de ACG y ACE por ambiente, se encontró que la ACG no presentó diferencias significativas, a diferencia de la ACE donde se determinó diferencias significativas ($P \leq 0.01$). Esto indica que la mayor proporción de la variabilidad genética observada en los cruzamientos estuvieron asociados con efectos no aditivos; por lo tanto, las expresiones del rendimiento se debieron especialmente a efectos de dominancia. Nuestros resultados fueron concomitantes con los resultados obtenidos por varios autores; [35-38] sin embargo, los resultados aquí encontrados, fueron contradictorios a los reportados por Pinto y otros, [39] quienes observaron mayor relevancia de los efectos aditivos en la expresión del rendimiento, posiblemente debido a la diferencia entre los genotipos evaluados y las características propias de cada ambiente de evaluación.

Las estimaciones de ACG y ACE obtenidos en el presente trabajo, mostraron congruencia con los resultados reportados por Gutiérrez y otros, [40] resaltando, la importancia de éstas estimaciones al momento de elegir los progenitores más sobresalientes. Los progenitores con estimadores de ACG altos y positivos contribuyeron en mayor proporción para el aumento de la expresión del rendimiento, mientras que aquellos con valores altos y negativos, produjeron una reducción de su manifestación. El estimador de la ACE dejó en evidencia la importancia de los genes con efectos no aditivos y cuanto mayor es este valor, mayor será su contribución para la heterosis al formar híbridos, entendiendo por heterosis la posibilidad de obtener "mejores" individuos por la combinación de cualidades de sus progenitores. Por otro lado, nuestros resultados confirmaron la efectividad de los métodos de cruzamientos dialélicos para estimar parámetros genéticos de interés, [41] que permiten hacer predicciones de la respuesta a la selección,

[42] además de identificar y clasificar excelentes progenitores, asegurando finalmente el éxito de un programa de mejoramiento.

El híbrido CML-171-5×CML-172-4, mostró el efecto más bajo de ACE en cada ambiente y entre ambientes, con un valor aproximado a -4.00 t ha^{-1} (Tabla 7). Este resultado demostró un alto grado de consanguinidad entre las dos líneas parentales; dicho efecto también fue reportado por Malacarne y

San Vicente, [43] al separar líneas tropicales blancas de maíz en grupos heteróticos. Por otro lado, el efecto negativo deja constancia de depresión endogámica debido al cruzamiento entre líneas emparentadas, permitiéndonos confirmar lo reportado por Márquez [42] y evidenciar las consecuencias más notables de dicho fenómeno, tales como la reducción del valor fenotípico medio de sus caracteres y especialmente los relacionados con el rendimiento o la eficiencia fisiológica. [44]

Tabla 4: Análisis de variancia para estimar ACG y ACE de rendimiento (t ha^{-1}), evaluado en Quevedo, Balzar y Portoviejo

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS DE RENDIMIENTO (t ha^{-1})		
		Quevedo	Balzar	Portoviejo
Repetición	1	18.30	8.54	1.78
Híbridos	95	2.60**	0.01 ns	3.90**
ACG Masculina	2	0.21 ns	0.25 ns	0.28 ns
ACG Femenina	31	0.90 ns	1.12 ns	2.29**
ACE (Femenina × Masculina)	62	2.89**	3.60**	2.78**
Error	95	1.13	1.73	0.86
Total	190			

** : Significativo ($P \leq 0.01$)

ns: Diferencias estadísticas no significativas

Tabla 5: Análisis de variancia y estimación de ACG y ACE para rendimiento (t ha^{-1}), evaluado entre ambientes

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS
Ambiente	2	200.88**
Repeticiones	1	0.00
Híbridos	95	3.73 ns
ACG Masculina	2	0.51 ns
ACG Femenina	31	2.79**
ACE (Femenina × Masculina)	62	6.76**
Híbridos x Ambiente	190	1.37 ns
ACG Masculina x Ambiente	4	0.12 ns
ACG Femenina x Ambiente	62	0.76 ns
ACE (Femenina × Masculina) x Ambiente	124	1.26**
Error	285	1.24
Total	570	

** : Significativo ($P \leq 0.01$)

ns: Diferencias estadísticas no significativas

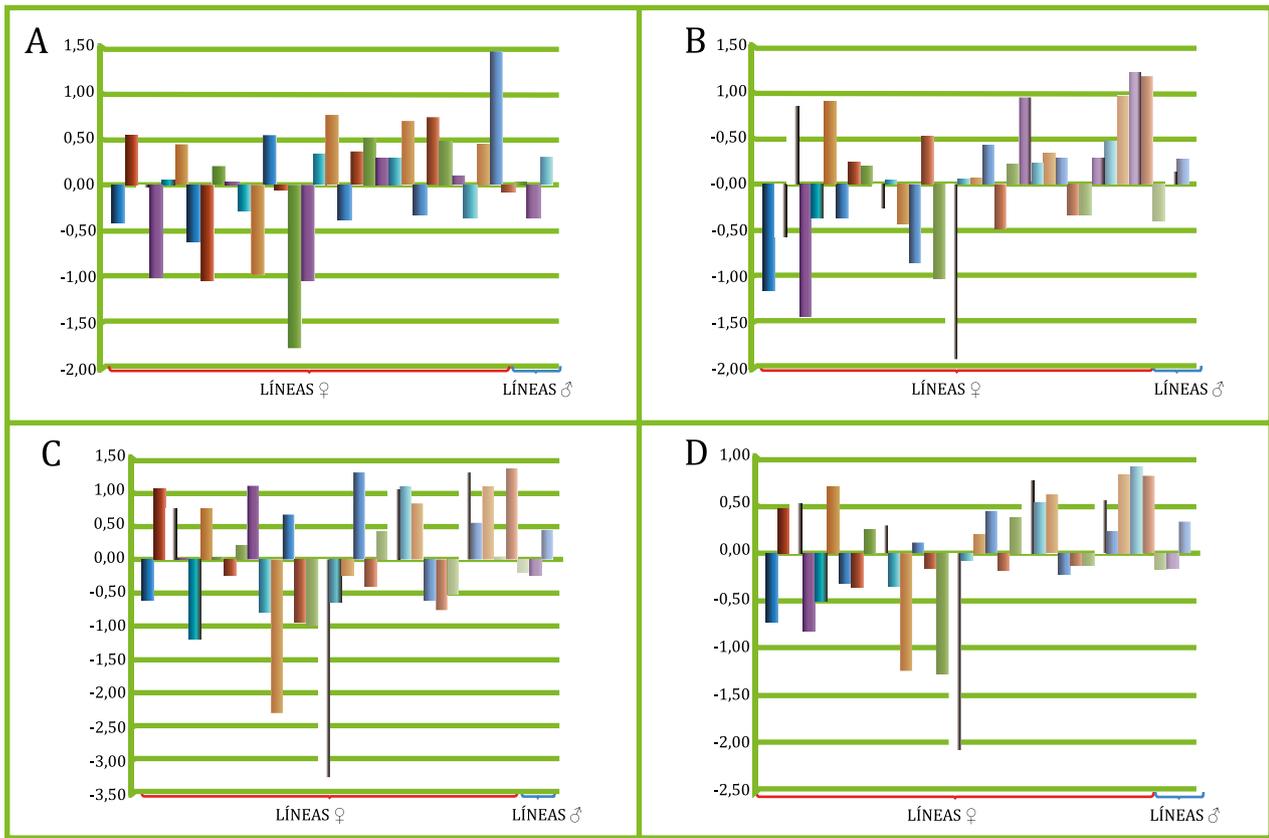


Fig. 1: Efectos de ACG de 32 líneas femeninas y tres líneas masculinas de maíz, evaluados en Quevedo (A), Balzar (B), Portoviejo (C) y entre ambientes (D).

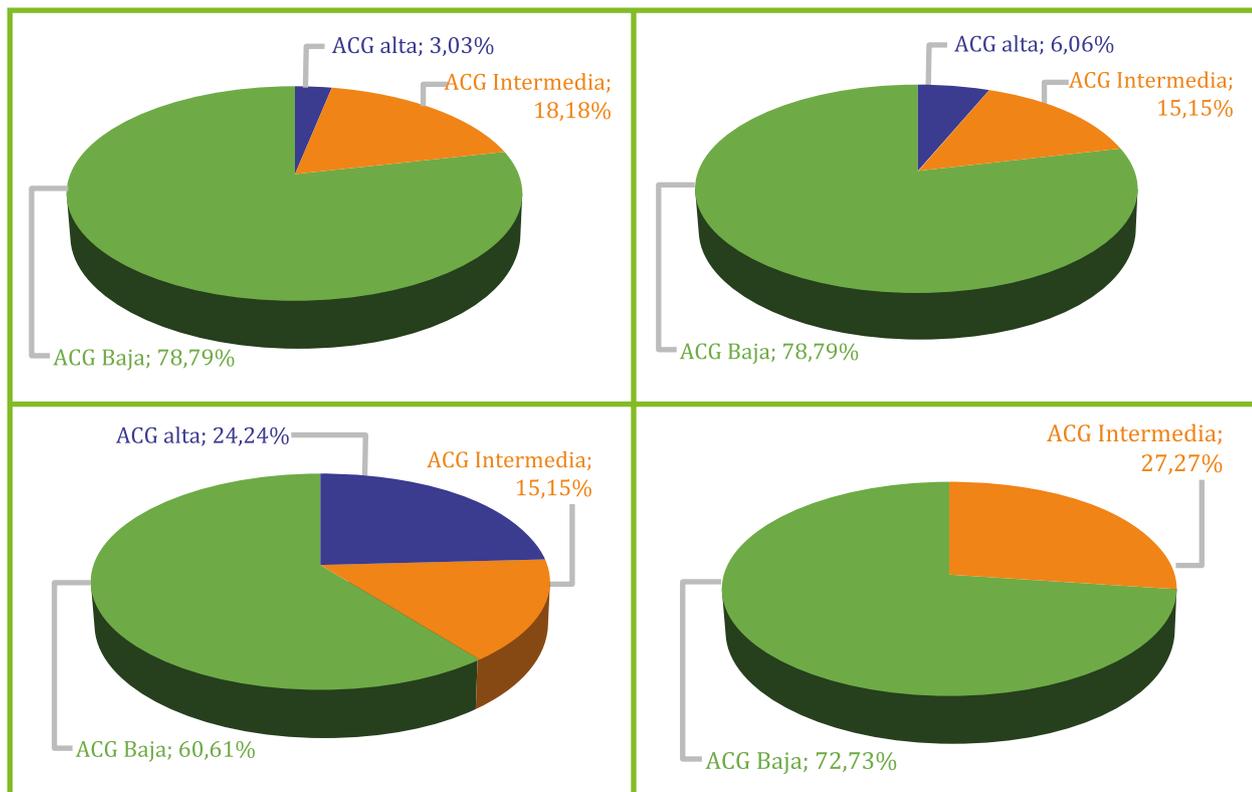


Fig. 2: Porcentajes de líneas femeninas de maíz con efectos de ACG de rendimiento, evaluados en Quevedo (A), Balzar (B), Portoviejo (C) y entre ambientes (D).

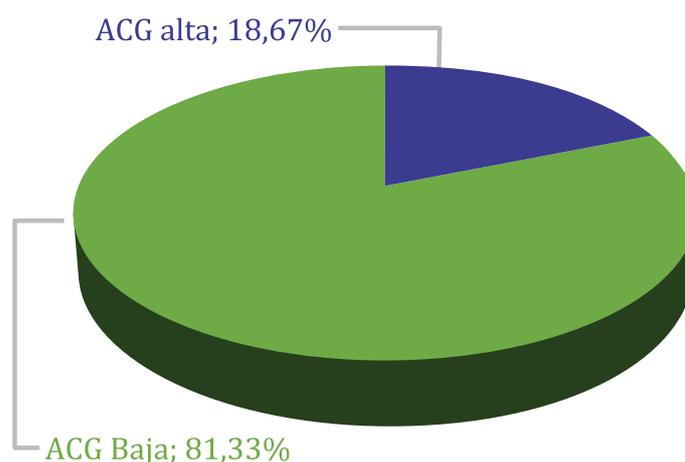


Fig. 3: Porcentajes de líneas de maíz con efectos de ACE para rendimiento combinado entre ambientes, evaluados en el Litoral ecuatoriano.

Tabla 6: Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para rendimiento ($t\ ha^{-1}$), de 32 líneas femeninas y tres masculinas de maíz evaluadas en Quevedo, Balzar, Portoviejo y entre ambientes.

No.	LÍNEAS ♀	QUEVEDO	BALZAR	PORTOVIEJO	COMBINADO
1	CLA-156	-0.40	-1.14	-0.61	-0.73
2	CLA-93	0.54	-0.58	1.04	0.46
3	CLA-97	-0.02	0.85	0.75	0.52
4	CML-163	-1.01	-1.44	0.01	-0.82
5	CML-171-5	0.06	-0.35	-1.18	-0.50
6	CML-29	0.45	0.90	0.74	0.69
7	CML-299	-0.61	-0.36	0.03	-0.32
8	CML-31	-1.04	0.24	-0.24	-0.35
9	CML-40-4#	0.21	0.20	0.20	0.25
10	FAM-11-1-14 Pob B	0.02	-0.25	1.09	0.28
11	FAM-24-1-5 Pob B	-0.28	0.04	-0.79	-0.35
12	L-257-2-2-6-4 Pob A1	-0.97	-0.42	-2.28	-1.23
13	L-16-13-8-5 Pob 31	0.54	-0.85	0.66	0.11
14	L-16-5-1-6 Pob 31	-0.04	0.52	-0.94	-0.16
15	L-23-2-8-1 Pob 31	-1.77	-1.03	-0.98	-1.26
16	L-7-4-9-5 Pob 31	-1.05	-1.89	-3.25	-2.07
17	CML-294-2#	0.34	0.06	-0.64	-0.09
18	L-16-3-11-3-2# Pob 31	0.76	0.07	-0.23	0.20
19	L-41-2-6-1 PICH 7928	-0.38	0.43	1.29	0.44
20	L-56-5-1-3-8 PICH 7928	0.36	-0.48	-0.40	-0.18
21	L-37-7-3-4-6 P R-8024	0.51	0.22	0.40	0.37
22	L-61-9-11-5-2 P R-8024	0.29	0.95	1.04	0.75
23	L-63-3-1-6-5 P R-8024	0.29	0.23	1.08	0.53
24	L-104-2-5-4 B-521	0.69	0.34	0.83	0.61
25	L-70-3-8-8 B-523	-0.31	0.28	-0.61	-0.22
26	L-44-6-1-10-2# B-530	0.74	-0.32	-0.76	-0.12
27	L-44-6-9-14 B-530	0.48	-0.32	-0.52	-0.12
28	L-18-2-1-4-2 FAM-5	0.10	0.28	1.28	0.55
29	LP 3 ^a	-0.35	0.48	0.54	0.22
30	L.I.4	0.44	0.96	1.08	0.82
31	PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1	1.46	1.21	0.03	0.89
32	P79-RH-129-1-1	-0.07	1.18	1.35	0.81
No.	LÍNEAS ♂	PICHILINGUE	BALZAR	PORTOVIEJO	COMBINADO
33	CML-172-4	0.04	-0.40	-0.19	-0.17
34	L-1-2-11-7 B-520	-0.35	0.13	-0.24	-0.16
35	L-237-2-1-3 Pob A1	0.31	0.27	0.43	0.33

Tabla 7: Efectos de ACE del cruzamiento entre 32 líneas femeninas y tres masculinas de maíz evaluadas en Quevedo, Balzar, Portoviejo y entre ambientes.

LÍNEAS ♂ \ ♀	QUEVEDO			BALZAR			PORTOVIEJO			COMBINADO		
	CML-172-4	L-1-2-11-7 B-520	L-237-2-1-3 Pob A1	CML-172-4	L-1-2-11-7 B-520	L-237-2-1-3 Pob A1	CML-172-4	L-1-2-11-7 B-520	L-237-2-1-3 Pob A1	CML-172-4	L-1-2-11-7 B-520	L-237-2-1-3 Pob A1
CLA-156	-0.26	-0.18	0.34	0.79	-0.80	-0.09	0.64	0.23	-1.21	0.39	-0.24	-0.30
CLA-93	0.42	-0.25	-0.27	-1.86	0.91	0.86	-0.89	-0.70	1.26	-0.51	-0.14	0.49
CLA-97	0.69	0.76	-1.54	0.27	0.90	-1.26	0.28	0.56	-1.17	0.41	0.75	-1.31
CML-163	-1.79	0.52	1.18**	-2.20	2.09**	0.02	-1.47	0.23	0.90**	-1.83	0.96**	0.71
CML-171-5	-4.69	2.55**	2.04**	-4.43	1.54**	2.79**	-4.08	2.47**	1.27**	-4.40	2.20**	2.05**
CML-299	-0.23	-0.03	0.17	-0.28	0.51	-0.33	-0.14	-0.35	0.15	-0.22	0.05	0.01
CML-299		0.21	-0.23		-1.99	1.52**		-0.60	0.19		-0.78	0.51**
CML-31	0.72	0.22	-1.04	1.46**	-0.22	-1.34	0.84	-0.51	-0.67	1.00**	-0.16	-1.00
CML-40-4#	-0.28	0.84	-0.65	0.91	-0.06	-0.94	0.34	-0.63	-0.04	0.26	0.16	-0.58
FAM-11-1-14 Pob B	1.20**	-1.95	0.65	1.38**	-1.97	0.50	-0.36	0.14	-0.11	0.73**	-1.25	0.36
FAM-24-1-5 Pob B	0.87	0.23	-1.19	-0.09	0.00	0.00	1.26**	-0.22	-1.38	0.67	0.01	-0.84
L-257-2-2-6-4 Pob A1		0.96	-0.99		1.12**	-1.58		1.00	-1.41		1.03**	-1.31
L-16-13-8-5 Pob 31	-0.22	-1.24	1.37**	0.94	-0.27	-0.76	0.45	-0.70	-0.08	0.39	-0.73	0.19
L-16-5-1-6 Pob 31	0.63	-0.46	-0.26	0.34	-0.54	0.10	-0.36	-0.24	0.26	0.20	-0.40	0.05
L-23-2-8-1 Pob 31		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L-7-4-9-5 Pob 31		0.32			-0.16			0.13			0.01	
CML-294-2#	0.32	-0.86	0.44	0.62	-0.28	-0.44	-0.41	-0.65	0.72	0.17	-0.59	0.25
L-16-3-11-3-2# Pob 31	0.21	0.04	-0.34	1.25**	-0.32	-1.03	1.12	-0.55	-0.91	0.85**	-0.27	-0.74
L-41-2-6-1 PICH 7928		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L-56-5-1-3-8 PICH 7928	-1.30	-0.44	1.64**	-1.30	0.54	0.66	-1.92	0.72	0.87**	-1.52	0.28	1.07
L-37-7-3-4-6 P R-8024	0.57	-0.91	0.24	0.41	-0.06	-0.45	0.13	-0.36	-0.11	0.37	-0.44	-0.09
L-61-9-11-5-2 P R-8024	0.24	0.51	-1.08	-0.45	-0.33	-0.25	-0.11	0.28	-1.26	-0.09	0.15	-0.85
L-63-3-1-6-5 P R-8024	1.01**	-1.27	-1.27	0.42	-2.03	-2.03	-0.20**	-0.12	-0.12	0.40	-1.13	-1.13
L-104-2-5-4 B-521		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L-70-3-8-8 B-523		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L-44-6-1-10-2# B-530		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L-44-6-9-14 B-530		-0.03	-0.03		0.75	0.75		0.62	0.62		0.46	0.46
L-18-2-1-4-2 FAM-5	-0.04	1.12**	-1.18	-0.69	0.65	-0.05	-0.59	-0.19**	0.44	-0.44	0.54	-0.25
LP 3 ^a		0.32			-0.16			0.13			0.10	
L.I.4		0.32			-0.16			0.13			0.10	
PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1		0.32			-0.16			0.13			0.10	
P79-RH-129-1-1	0.85	-0.32	-0.62	0.53	-0.72	0.10	0.35	-0.18	-0.50	0.57	-0.39	-0.34

** : Significativo (P≤0.01)

Selección de híbridos

En cada ambiente y entre ambientes, se seleccionaron los diez mejores híbridos experimentales en base a caracteres agronómicos y productivos, los que fueron comparados con los mejores testigos seleccionados. En Quevedo (Tabla 8), los híbridos seleccionados superaron en rendimiento a los tres testigos seleccionados. Es así que el promedio general de los híbridos seleccionados fue 6.88 t ha⁻¹; mientras que, el promedio de los testigos fue 5.94 t ha⁻¹. Los híbridos CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1, L-56-5-1-3-8 PICH 7928×L-237-2-1-3 Pob A1, CML-171-5×L-1-2-11-7 B-520, L-16-13-8-5 Pob 31×L-237-2-1-3 Pob A1, mostraron promedios superiores a las 7 t ha⁻¹, siendo el primero el que

mayor producción presentó con 7.69 t ha⁻¹. Además, los híbridos seleccionados ganaron en precocidad, disminuyeron los porcentajes de acame de tallo y raíz, redujeron el porcentaje de pudrición de mazorca, incrementaron la longitud de la mazorca y el peso de mil granos (Tabla 9). En relación al rendimiento, los híbridos seleccionados, ganaron 1.64 t ha⁻¹, ya que el promedio de la población fue de 5.24 t ha⁻¹ mientras que el promedio de rendimiento de la fracción seleccionada fue de 6.88 t ha⁻¹ (Tabla 7).

En Balzar (Tabla 8) el promedio de los testigos (9.33 t ha⁻¹) superó al promedio de los híbridos experimentales seleccionados (7.69 t ha⁻¹). Sin embargo, los híbridos experimentales mostraron

rendimientos que oscilan entre 7.05 y 8.82 t ha⁻¹.

Al igual que la localidad anterior, el híbrido CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1 fue el que se seleccionó en primer lugar con un promedio de 8.82 t ha⁻¹, rendimiento muy cercano a los promedios observados en los testigos. Los híbridos seleccionados en este ambiente (Tabla 9), disminuyeron su porcentaje de acame de tallo, acame de raíz, pudrición de mazorca y por el contrario incrementaron la longitud de la mazorca. En lo que corresponde a rendimiento, los híbridos seleccionados, ganaron 1.45 t ha⁻¹, ya que el promedio de la población fue de 6.24 t ha⁻¹ mientras que el promedio de rendimiento de la fracción seleccionada fue de 7.69 t ha⁻¹ (Tabla 9).

En Portoviejo, a nivel general todos los híbridos evaluados mostraron rendimientos superiores en comparación con los promedios obtenidos en los dos ambientes anteriores (Tabla 8), esto se debe a que en esta localidad el suministro de riego (riego por gravedad) favoreció al cultivo. El promedio de los testigos fue superior (10.87 t ha⁻¹) frente al promedio general obtenido por los híbridos experimentales (9.03 t ha⁻¹). El híbrido CLA-93×L-237-2-1-3 Pob A1 mostró mejor rendimiento con un promedio de 10.28 t ha⁻¹; mientras que, el resto de híbridos presentaron rendimientos promedios entre 8.57 y 9.70 t ha⁻¹. De acuerdo con el diferencial de selección (Fracción-Población) para este ambiente (Tabla 9), se observó que los híbridos seleccionados, disminuyeron los porcentajes de acame de tallo y raíz, redujeron el porcentaje de mala cobertura y pudrición de mazorca. En relación al rendimiento, con 9.03 t ha⁻¹, la fracción seleccionada superó a la población original (7.74 t ha⁻¹), demostrando una ganancia de 1.29 t ha⁻¹ debido a la selección (Tabla 9).

Los resultados del análisis combinado (Tabla 8), determinaron que el promedio de los testigos fue de 8.22 t ha⁻¹, ligeramente superior al promedio obtenido en los híbridos experimentales seleccionados (7.65 t ha⁻¹). Los promedios de rendimiento de los híbridos experimentales oscilaron entre 7.29 y 8.19 t ha⁻¹. El híbrido CML-171-5×L-237-2-1-3 Pob A1 se ubicó como el mejor híbrido con 8.19 t ha⁻¹ de rendimiento; demostrando que fue el más estable entre los ambientes de evaluación. Los híbridos seleccionados ganaron en precocidad, disminuyeron la cantidad de mazorcas podridas y mostraron menor porcentaje de acame de tallo y raíz (Tabla 9).

Respecto a rendimiento, el promedio de la población (6.41 t ha⁻¹) fue superado por el obtenido por los híbridos seleccionados (7.65 t ha⁻¹), existiendo una ganancia de 1.24 t ha⁻¹ como producto de la selección (Tabla 9).

Los diez híbridos seleccionados como promisorios en función principalmente de su rendimiento, siempre fueron superiores en relación al promedio general de cada ensayo y entre ambientes, estos resultados fueron compatibles con los resultados obtenidos por Aguiluz. [13]

Comparando los promedios de rendimiento de los híbridos seleccionados entre ambientes (7.65 t ha⁻¹) con respecto a la producción promedio de una línea progenitora comercial (3.0 t ha⁻¹), se ha observado un incremento del rendimiento en 155%; aspecto que era de esperarse, debido a que al cruzar dos líneas puras se produce el fenómeno de la heterosis o vigor híbrido. [6, 7] Tanto las líneas progenitoras como los híbridos seleccionados, continuarán su proceso de mejoramiento. En el caso de las líneas, se incrementará su grado de endogamia mediante autofecundaciones sucesivas; mientras que, en el caso de los híbridos promisorios se continuará con las evaluaciones multiambientales, mediante selección participativa con agricultores, hasta llegar a su liberación y comercialización.

Por otro lado, el rendimiento es un carácter difícil de mejorar únicamente por selección, debido a que se trata de un carácter poligénico, altamente influenciado por el ambiente; y, puede ser usado como criterio de selección, solamente en las generaciones finales de un programa de mejoramiento, [45] en consecuencia, los resultados de nuestra investigación demostraron concomitancia con lo antes mencionado. Además, la evaluación de los híbridos en ambientes contrastantes, es decir en condiciones edafo-climáticas y manejo particular del cultivo en cada zona, ha permitido confirmar los resultados reportados por Tollenaar y Lee, [30] lo que justifica nuestra evaluación en ambientes totalmente diferentes, especialmente en el suministro de agua al cultivo, con la finalidad de seleccionar y ofertar híbridos que se adapten a distintas condiciones ambientales.

Tabla 8 : Promedios de rendimiento (t ha⁻¹) de diez híbridos seleccionados y tres testigos comerciales evaluados en Quevedo, Balzar, Portoviejo y entre ambientes.

HÍBRIDOS	QUEVEDO			BALZAR			PORTOVIEJO			COMBINADO		
	REND1 (t ha ⁻¹)	HÍBRIDOS	REND1 (t ha ⁻¹)	REND1 (t ha ⁻¹)	HÍBRIDOS	REND1 (t ha ⁻¹)	HÍBRIDOS	REND1 (t ha ⁻¹)	HÍBRIDOS	REND1 (t ha ⁻¹)	HÍBRIDOS	REND1 (t ha ⁻¹)
CML-171-5xL-237-2-1-3 Pob A1	7.69	CML-171-5xL-237-2-1-3 Pob A1	8.82	CL-93xL-237-2-1-3 Pob A1	10.28	CML-171-5xL-237-2-1-3 Pob A1	8.19					
L-56-5-1-3-8 PICH 7928xL-237-2-1-3 Pob A1	7.59	L-63-3-1-6-5 PR-8024xL-237-2-1-3 Pob A1	8.14	L-18-2-1-4-2 FAM-5xL-237-2-1-3 Pob A1	9.70	L-61-9-11-5-2 PR-8024xL-237-2-1-3 Pob A1	7.95					
CML-171-5xL-1-2-11-7 B-520	7.53	CL-97xL-1-2-11-7 B-520	7.99	P79-RH-129-1-1xCM-172-4	9.06	CML-171-5xL-1-2-11-7 B-520	7.86					
L-16-13-8-5 Pob 31xL-237-2-1-3 Pob A1	7.49	CML-29xL-1-2-11-7 B-520	7.65	FAM-11-1-14 Pob BxL-237-2-1-3 Pob A1	8.97	L-63-3-1-6-5 PR-8024xL-237-2-1-3 Pob A1	7.74					
PHAFOS IAS2-4-1-1-1xL-1-2-11-7 B-520	6.70	P79-RH-129-1-1xL-237-2-1-3 Pob A1	7.61	CML-163xL-237-2-1-3 Pob A1	8.89	CL-93xL-237-2-1-3 Pob A1	7.60					
FAM-11-1-14 Pob BxCM-172-4	6.53	CML-299xL-237-2-1-3 Pob A1	7.55	CML-29xL-237-2-1-3 Pob A1	8.88	L-56-5-1-3-8 PICH 7928xL-237-2-1-3 Pob A1	7.54					
CML-294-2xL-237-2-1-3 Pob A1	6.36	CML-31xCM-172-4	7.42	L-61-9-11-5-2 PR-8024xCM-172-4	8.68	P79-RH-129-1-1xCM-172-4	7.52					
L-37-7-3-4-6 PR-8024xL-237-2-1-3 Pob A1	6.33	P79-RH-129-1-1xCM-172-4	7.42	CL-97xL-1-2-11-7 B-520	8.63	CL-97xL-1-2-11-7 B-520	7.43					
L-16-3-11-3-2 Pob 31xCM-172-4	6.28	PHAFOS IAS2-4-1-1-1xL-1-2-11-7 B-520	7.29	CML-171-5xL-1-2-11-7 B-520	8.6	CML-29xL-237-2-1-3 Pob A1	7.35					
CL-93xCM-172-4	6.27	L-14xL-1-2-11-7 B-520	7.05	L-16-13-8-5 Pob 31xL-237-2-1-3 Pob A1	8.57	FAM-11-1-14 Pob BxL-237-2-1-3 Pob A1	7.29					
PIONEER 3523 (T)	9.59	DEKALB-1596 (T)	9.59	DEKALB-1596 (T)	12.85	DEKALB-1596 (T)	8.91					
INIAP H-602 (T)	9.21	INIAP H-602 (T)	9.21	INIAP H-602 (T)	10.40	INIAP H-602 (T)	8.54					
INSTIGNIA-105 (T)	9.19	PIONEER 3523 (T)	9.19	INIAP H-601 (T)	9.36	PIONEER 3523 (T)	8.17					
HÍBRIDOS EXPERIMENTALES	6.88	HÍBRIDOS EXPERIMENTALES	7.69	HÍBRIDOS EXPERIMENTALES	9.03	HÍBRIDOS EXPERIMENTALES	7.65					
TESTIGOS	5.94	TESTIGOS	9.33	TESTIGOS	10.87	TESTIGOS	8.22					

1 Rendimiento

Tabla 9: Promedios de la población, fracción seleccionada y diferencial de selección de 14 características agronómicas evaluadas en Quevedo, Balzar, Portoviejo y entre ambientes.

CARACTERES	QUEVEDO			BALZAR			PORTOVIEJO			COMBINADO		
	POBLACIÓN	SELECCIÓN	DIFERENCIAL	POBLACIÓN	SELECCIÓN	DIFERENCIAL	POBLACIÓN	SELECCIÓN	DIFERENCIAL	POBLACIÓN	SELECCIÓN	DIFERENCIAL
Floración femenina (días)	59.22	58.56	-0.66	58.50	58.70	0.20	63.44	63.62	0.18	60.39	60.15	-0.24
Altura de planta (cm)	212.03	220.84	8.81	248.11	251.94	3.84	209.08	218.02	8.94	223.07	228.86	5.79
Altura de mazorca (cm)	104.55	111.56	7.01	129.05	132.22	3.17	109.04	113.42	4.38	114.22	118.83	4.61
Acame de tallo (%)	12.25	5.80	-6.45	2.08	0.67	-1.41	0.83	0.39	-0.45	5.06	2.77	-2.29
Acame de raíz (%)	2.33	0.93	-1.41	13.74	8.94	-4.80	0.95	0.47	-0.48	5.68	3.45	-2.23
Helminthosporium (1-5)	2.11	1.98	-0.13	1.66	1.62	-0.04	1.65	1.66	0.01	1.81	1.74	-0.07
Cobertura de mazorca (%)	2.56	1.95	-0.61	0.38	0.01	-0.38	8.48	8.08	-0.40	3.81	3.25	-0.56
Pudrición de mazorca (%)	4.05	2.85	-1.20	4.06	1.06	-3.00	2.51	1.18	-1.33	3.54	2.48	-1.06
Aspecto de mazorca (1-5)	2.64	2.53	-0.11	2.57	2.43	-0.14	2.53	2.40	-0.13	2.58	2.48	-0.10
Rendimiento (t ha ⁻¹)	5.24	6.88	1.64	6.24	7.69	1.45	7.74	9.03	1.29	6.41	7.65	1.24
Número de hileras de grano	13.28	13.58	0.30	13.30	13.54	0.24	13.23	13.68	0.45	13.27	13.60	0.33
Longitud de mazorca (cm)	14.40	14.98	0.59	14.75	15.22	0.47	14.37	14.80	0.43	14.50	14.97	0.47
Diámetro de mazorca (cm)	4.27	4.56	0.29	4.72	4.92	0.20	4.72	4.96	0.24	4.57	4.78	0.21
Peso de 1000 granos (g)	0.31	0.33	0.02	0.38	0.40	0.02	0.38	0.40	0.02	0.36	0.37	0.01

IV. CONCLUSIONES

Se detectó variabilidad genética para rendimiento en los progenitores masculinos y femeninos evaluados. Los efectos de tipo no aditivo (dominancia y epistasia), fueron los de mayor trascendencia en la expresión del rendimiento de los híbridos seleccionados en ambientes individuales como a través de ellos.

Las líneas masculinas usadas en la evaluación, discriminaron eficientemente a las líneas femeninas y permitieron identificar líneas con buena ACG; además, la línea CML-171-5 fue el parental femenino más estable en combinaciones híbridas. Por lo expuesto, estas líneas serán consideradas prioritarias para futuros trabajos de mejoramiento a nivel nacional.

Los cruzamientos CML-171-5 × L-1-2-11-7 B-520 y CML-171-5 × L-237-2-1-3 Pob A1, por mostrar los valores más altos de ACE; fueron considerados como híbridos simples promisorios, debido al alto rendimiento (mayor a 7.5 t ha⁻¹) y estabilidad ambiental observada, los que a futuro podrían convertirse en híbridos competitivos para la producción de maíz, en comparación con los híbridos comercializados por las empresas privadas, debido a su amplia adaptación, deseables características agronómicas y económicamente accesibles por los pequeños y medianos productores del litoral ecuatoriano.

Las líneas femeninas que conformaron el grupo uno dentro de la evaluación, mostraron mejor ACE en comparación a las líneas del grupo dos y tres. Estas líneas, también podrían formar a futuro nuevas combinaciones híbridas al cruzarse con otras líneas contrastantes desarrolladas por el programa de mejoramiento y obtener híbridos más productivos.

Se determinó moderada consanguinidad entre progenitores de algunos cruzamientos, como es el caso de los híbridos CLA-97 × L-237-2-1-3 Pob A1 y L-56-5-1-3-8 PICH 7928 × CML-172-4, con efectos negativos de ACE igual a -1.31 y -1.52 t ha⁻¹, respectivamente; lo que debe ser considerado en cruzamientos futuros.

REFERENCIAS

[1] SINAGAP. Boletín Situacional Maíz Duro 2014 [Internet] Quito: Coordinación General del Sistema de Información Nacional, MAGAP; [citado

Octubre 2016]. Disponible online en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/ibolethin-maiz-duro-seco-2014-actualizado.pdf>

[2] E. A. Lee, W. F. Tracy (2009) In "Handbook of Maize: Genetics and Genomics", (Ed.: J. L. Bennetzen, S. Hake), Springer, pp. 141-160.

[3] A. F. Troyer, E. J. Wellin (2009) "Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds", *Crop Sci.* 49(6), 1969-1976.

[4] G. Srinivasan, S. Vasal, F. G. Cenicerros, H. Córdova, S. Pandey, N. Vergara (1993) "Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz de cruza simple evaluadas en Colombia, México y Centro América", *Agronomía Mesoamericana* 4, 23-29.

[5] B. Ordas, M. C. Romay, W. G. Hill (2007) "Effect of selection on the heterozygosity of inbred lines of maize", *Mol. Breeding* 20(2), 117-129.

[6] T. Dhliwayo, K. Pixley, A. Menkir, M. Warburton (2009) "Combining ability, genetic distances, and heterosis among elite CIMMYT and IITA tropical maize inbred lines", *Crop Sci.* 49(4), 1201-1210.

[7] A. R. Hallauer, M. J. Carena (2009) In "Cereals", (Ed.: M. J. Carena), Springer, USA, pp. 3-98.

[8] S. K. Vasal, N. Vergara, McLean (1994) "Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz", *Agronomía Mesoamericana* 5, 184-189.

[9] X. M. Fan, Y. M. Zhang, W. H. Yao, H. M. Chen, J. Tan, C. X. Xu, X. L. Han, L. M. Luo, M. S. Kang (2009) "Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design", *Agron. J.*, 101(1), 106-112.

[10] M. D. Melani, M. J. Carena (2005) "Alternative maize heterotic patterns for the Northern Corn Belt", *Crop Sci.* 45(6), 2186-2194.

[11] S. Fischer, J. Möhring, C. C. Schön, H. P. Piepho, D. Klein, W. Schipprack, H. F. Utz, A. E. Melchinger, J. C. Reif (2008) "Trends in genetic variance components during 30 years of hybrid maize breeding at the University of Hohenheim", *Plant breed.* 127(5), 446-451.

[12] Y. Zhang, M. S. Kang (1997) "DIALLEL-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses", *Agron. J.* 89(2), 176-182.

[13] A. Aguiluz (1998) "Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe en 1996", *Agronomía mesoamericana* 9, 28-37.

[14] J. M. Poehlman, D. A. Sleper (2003) "Mejoramiento genético de las cosechas: Mejoramiento genético del maíz", *Noriega* 2, 214-238.

- [15] B. Griffing (1956) "Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems", *Aust. J. Biol. Sci.* 9(4), 463-493.
- [16] M. Banziger, H. J. Barreto (1999) "Manual de usuario para fieldbook 5.1/7.1: Programa para manejo de pedigrees, datos y libros de campo para un programa de mejoramiento de maíz y Alpha: Programa para crear y analizar diseños Alfa (0.1) lattice", México, CIMMYT", pp. 38-48.
- [17] W. G. Cochran, G. M. Cox (1957) "Experimental designs", 2° Edición, England, Wiley.
- [18] G. F. Sprague, L. A. Tatum (1942) "General vs. specific combining ability in single crosses of corn", *Agron. J.* 34(10), 923-932.
- [19] N. Vergara Ávila, S. A. Rodríguez Herrera, H. S. Córdova Orellana (2005) "Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays*) tropical y subtropical", *Agronomía Mesoamericana* 16(2), 137-143.
- [20] V. O. Sadras, J. F. Angus (2006) "Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments", *Crop Pasture Sci.* 57(8), 847-856.
- [21] S. Geerts, D. Raes (2009) "Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas", *Agric. Water Manage.* 96(9), 1275-1284.
- [22] P. Steduto, T. Hsiao, E. Fereres, D. Raes (2012) "Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua", *Estudio FAO: Riego y Drenaje*, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), p. 510.
- [23] D. Rosenow (1984) In "Sorghum Root and Stalk Rots: a Critical Review", *Proceedings of the Consultative Group Discussion on Research Needs and Strategies for Control of Sorghum Root and Stalk Rot Diseases*, Bellagio, Italy, 27 Nov. - 2 Dec. 1983, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, India, pp. 209-217.
- [24] O. Botella Miralles, I. Campos Garaulet (2005) En "Agua y Agronomía", (Ed.: F. M. de Santa Olalla Mañas, P. Lopez Fuster, A. Calera Belmonte), Ediciones Mundi-Prensa, España, pp. 87-162.
- [25] S. Kang, Z. Liang, Y. Pan, P. Shi, J. Zhang (2000) "Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area", *Agric. Water Manage.* 45(3), 267-274.
- [26] G. A. Lehrsch, R. E. Sojka, D. T. Westermann (2000) "Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield", *Agron. J.* 92(6), 1266-1275.
- [27] A. Kamara, A. Menkir, B. Badu-Apraku, O. Ibikunle (2003) "The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes", *J. Agric. Sci.* 141(1), 43-50.
- [28] J.-M. Ribaut, C. Jiang, D. Gonzalez-de-Leon, G. Edmeades, D. Hoisington (1997) "Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. 2. Yield components and marker-assisted selection strategies", *Theor. Appl. Genet.* 94(6-7), 887-896.
- [29] K. W. Finlay, G. N. Wilkinson (1963) "The analysis of adaptation in a plant-breeding programme", *Crop Pasture Sci.* 14(6), 742-754.
- [30] M. Tollenaar, E. A. Lee (2002) "Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize", *Field Crops Res.* 75(2-3), 161-169.
- [31] G. Castañón, R. Zetina, R. Arano, B. Raygoza (2000) "El Ammi y Clúster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz", *Agronomía Mesoamericana* 11(1), 71-76.
- [32] R. Gordón-Mendoza, I. Camargo-Buitrago, J. Franco-Barrera, A. González Saavedra (2006) "Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá", *Agronomía Mesoamericana* 17(2), 189-199.
- [33] O. S. Smith, J. S. C. Smith, S. L. Bowen, R. A. Tenborg, S. J. Wall (1990) "Similarities among a group of elite maize inbreds as measured by pedigree, F1 grain yield, grain yield, heterosis, and RFLPs", *Theor. Appl. Genet.* 80(6), 833-840.
- [34] R. H. Moll, W. Salhuana, H. Robinson (1962) "Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize", *Crop Sci.* 2(3), 197-198.
- [35] S. K. Vasal, G. Srinivasan, D. L. Beck, J. Crossa, S. Pandey, C. De Leon (1992) "Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical late white maize germplasm", *Maydica* 37, 217-223.
- [36] S. Castellanos, A. R. Hallauer, H. S. Cordova (1998) "Relative performance of testers to identify elite lines of corn (*Zea mays* L.)", *Maydica* 43, 217-226.
- [37] A. R. Hede, G. Srinivasan, O. Stolen, S. K. Vasal (1999) "Identification of heterotic pattern in tropical inbred maize lines using broad-based synthetic testers", *Maydica* 44(4), 325-331.
- [38] S. K. Kim, S. O. Ajala, J. L. Brewbaker (1999) "Combining ability of tropical maize germplasm in West Africa. III. Tropical maize inbreds", *Maydica* 44(4), 285-291.
- [39] R. M. C. de Pinto, C. L. de Souza Jr, L. A. Carlini-Garcia, A. A. F. Garcia, A. Pereira de Souza (2003) "Comparison between molecular markers and diallel crosses in the assignment of maize lines to heterotic groups", *Maydica* 48(1), 63-74.
- [40] E. Gutiérrez del Río, A. Espinoza, A. Palomo Gil,

J. J. Lozano García, O. Antuna Grijalva (2004) "Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera", Revista Fitotecnia Mexicana 27(Núm. Especial 1), 7-11.

[41] M. J. Carena, A. R. Hallauer, J. B. Miranda Filho (2010) In "Quantitative Genetics in Maize Breeding", (Ed.: M. J. Carena, A. R. Hallauer, J. B. Miranda Filho), Springer, USA, pp. 383-423.

[42] F. Márquez Sánchez (1988) "Genotecnia vegetal", Tomo 2, AGT Editor, S.A., México, p. 563.

[43] M. F. Malacarne, F. M. San Vicente G. (2003) "Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz", Agronomía Trop. 53(4), 437-456.

[44] D.S. Falconer, T.F.C. Mackay (2006) "Introducción a la genética cuantitativa", Acribia, España, p. 251.

[45] W. E. Kronstad, D. C. Rasmusson, G. S. Khush, S. Peng, G. Hollamby, A. Bayraktar, J. P. Jordaan (1996) In "Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers", (Ed.: M. P. Reynolds, S. Rajaram, A McNab), CIMMYT, México, pp. 19-75.