

INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE DE HÍBRIDOS DE MAÍZ BAJO TEMPORAL EN MANABÍ Y LOS RÍOS, ECUADOR

ENVIRONMENT AND GENOTYPE INTERACTION IN HYBRIDS MAIZE UNDER HEAVY WEATHER CONDITIONS IN MANABÍ AND LOS RÍOS, ECUADOR

Eddie Elí Zambrano Zambrano¹, Jimmy Ricardo Francisco Limongi Andrade¹, Francisco Daniel Alarcón Cobeña¹, Jean Paul Villavicencio Linzan, Marlon Brainer Caicedo Villafuerte², José Fernando Eguez Moreno³, José Luis Zambrano Mendoza⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Portoviejo, km 12 vía Portoviejo-Santa Ana, Portoviejo, Ecuador

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Tropical Pichilingue, km 5 vía Quevedo-El Empalme, Mocache, Ecuador

³Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental del Austro, km 25 vía Cuenca-Gualaceo, Cuenca, Ecuador

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Dirección de Investigaciones, Quito, Ecuador

Correo: eddie.zambrano@iniap.gob.ec – ricardo.limongi@iniap.gob.ec

RESUMEN

Parte de la producción de maíz duro amarillo (*Zea mays* L.), en Ecuador, se produce en condiciones ambientales desfavorables, donde la distribución de las lluvias, cumple un factor decisivo en la sostenibilidad de la producción de este cereal. En este trabajo se estudia el efecto de la interacción genotipo x ambiente para rendimiento de grano y la estabilidad de 14 híbridos de maíz duro amarillo, experimentales y comerciales, evaluados en tres localidades de las provincias de Manabí y una en Los Ríos, bajo condiciones de temporal, durante 2011, 2012 y 2013. Se realizaron análisis de varianza por localidad y un análisis combinado para determinar la interacción genotipo x ambiente. Para el análisis de estabilidad se empleó el modelo de Eberhart y Russell. Los genotipos G2 (POB.3F4.27-1-1-1 × CML-451) y G9 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × L.I.4) presentaron mayor estabilidad debido a su reducida variabilidad del rendimiento en ambientes y ciclos de cultivo. En ambientes favorables, los genotipos G5 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × CL-02450) y G13 (DEKALB-7088) mostraron su potencial genético en rendimiento, pero bajo condiciones ambientales cambiantes resultaron sensibles e inestables. Los genotipos G14 (DEKALB-1596) e G11 (INIAP H-601) mostraron mejor estabilidad en los ambientes evaluados, expresando un adecuado potencial de rendimiento en condiciones desfavorables, constituyéndose en una alternativa para las zonas de menor precipitación.

Palabras clave: Estabilidad ambiental, mejoramiento genotipo, potencial genético y de rendimiento.

ABSTRACT

Part of the production of yellow dent corn (*Zea mays* L.) in Ecuador is carried out under unfavorable environmental conditions, where the distribution of rains plays an important role in sustaining productivity. This study aimed at evaluating the effect of the environment and genotype interactions in corn yield and stability of 14 hybrid varieties of sweet corn, experimental and commercial types, evaluated at three locations in the provinces of Manabí and Los Ríos, under heavy-weather conditions during 2011, 2012 and 2013. Several analysis of variance were performed for each location, and a combined analysis was conducted for determining environment and genotype interactions. For the stability analysis, we used the Eberhart y Russell model. Genotypes G2 (POB.3F4.27-1-1-1 × CML-451) and G9 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × L.I.4) showed greater stability due to its reduced yield variability in different environments and crop cycles. In favorable environments, genotypes G5 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × CL-02450) and G13 (DEKALB-7088) showed their genetic potential for yield, but under changing environmental conditions, the result was a sensitive and unstable production. Genotypes G14 (DEKALB-1596) and G11 (INIAP H-601) presented the highest stability in the study locations, showing an adequate yield potential in unfavorable conditions, resulting in an alternative solution for locations with fewer precipitations.

Keywords: Environmental stability, genotype improvement, genetic and yield potential



Recibido: 10 de octubre de 2016

Aceptado: 25 de mayo de 2017

ESPAMCIENCIA 8(1): 7-14/2017

INTRODUCCIÓN

El Litoral ecuatoriano es la región con mayor producción de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) del país. Por su importancia económica y social, este producto de seguridad alimentaria contribuye a la alimentación de la población y es la principal materia prima en la elaboración de alimentos balanceados de consumo animal en Ecuador (BCE, 2014).

De acuerdo a datos oficiales, la superficie sembrada de maíz duro para el 2014, en el Litoral ecuatoriano, se estimó en 276 385 hectáreas, en el ciclo período lluvioso, y en el ciclo seco, donde se aprovecha la humedad remanente en el suelo, se estima una superficie de 45 969 ha, con un rendimiento promedio nacional de 4,67 t.ha⁻¹ y una producción anual de 1,6 millones de toneladas métricas, siendo las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja las que destinan mayor área para el cultivo de maíz (MAGAP, 2014; SINAGAP, 2014; AFABA, 2015).

En esta región, se utilizan híbridos de maíz amarillo duro, nacionales o introducidos, en los ciclos de cultivo lluvioso y seco. En estas circunstancias, los híbridos no pueden expresar su potencial de rendimientos debido a las diversas condiciones climáticas y edáficas de las zonas (Arellano *et al.*, 2011). Este comportamiento diferenciado de los genotipos a través de los ambientales es conocido como Interacción Genotipo x Ambiente (IGA) que es un factor determinante del rendimiento, que puede ser aprovechado en mejoramiento genético, orien-

tado a la selección de genotipos de alta productividad y adecuada estabilidad ambiental (Crossa *et al.*, 1990).

Para medir la IGA existen varios procedimientos estadísticos que valoran los genotipos con base a su estabilidad o su baja interacción, donde se establece una relación lineal entre los efectos de IGA y ambientes en base al modelo de regresión lineal (Bucio, 1966) o un modelo fenotípico que estime los parámetros de estabilidad mediante regresión e índices ambientales (Eberhart and Russell, 1966), para determinar el comportamiento de genotipos en ambientes contrastantes (Molina, 1992).

Cruz y Regazzi (2001), mencionan que la estabilidad de un genotipo es la capacidad de mostrar un comportamiento constante o predecible en referencia a diferentes ambientes. El rendimiento es una característica genética que está correlacionada con los estímulos ambientales y se expresa como una IGA positiva o negativa.

Con estos antecedentes, se planteó como objetivo medir la IGA de 14 híbridos de maíz duro, valorando su potencial de rendimiento y estabilidad en diversos ambientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre los años 2011 y 2013, en condiciones de la época lluviosa (enero-abril) en cuatro localidades: tres en la provincia Manabí y una en la provincia Los Ríos, Ecuador (Cuadro1).

Cuadro 1. Características geográficas y climáticas de los ambientes en estudios

Ambientes			Coordenadas geográficas (UTM)		Altitud	Temperatura media anual	Precipitación acumulada enero-abril (mm)		
Provincia	Cantón	Sitio	X	Y	msnm	°C	2011	2012	2013
Manabí	Santa Ana	Lodana ¹	-1,16416	-80,38703	44	25,7	672,7	1243,7	900,0
Manabí	Jipijapa	La América ²	-1,43333	-80,51670	220	24,6	388,6	471,7	747,7
Manabí	Tosagua	El Viento ³	-0,81258	-80,28798	300	26,1	527,9	1638,9	962,4
Los Ríos	Mocache	EETP ⁴	-1,07473	-79,49179	75	25,4	1729,8	2687,8	1902,3

1/ Programa de Maíz, Estación Experimental Portoviejo del INIAP

2/ Estación Meteorológica ULEAM, Andil – Manabí

3/ Estación Meteorológica ESPAM-MFL, Calceta – Manabí

4/ Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP

El material genético en estudio estuvo constituido de 14 genotipos: nueve híbridos experimentales del Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del

INIAP y cinco híbridos comerciales usados como testigos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Origen y tipo de los genotipos de maíz duro

Código	Genotipos	Origen	Híbrido
G1	POB.3F4.27-1-1-1 × CAP.MIRANDA 98.PHAEO.8-1-1-1	INIAP	Simple
G2	POB.3F4.27-1-1-1 × CML-451	INIAP	Simple
G3	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × CML-451	INIAP	Simple
G4	INIAP H-601 × PORT. PHAEO.1AS2.4-1-1-1	INIAP	Triple
G5	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × CL-02450	INIAP	Simple
G6	INIAP H-601 × B-520	INIAP	Triple
G7	POB.3F4.27-1-1-1 × G26C3.52-1-1-2-2	INIAP	Simple
G8	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × G26C3.52-1-1-2-2	INIAP	Simple
G9	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 × L.I.4	INIAP	Simple
G10	INIAP H-553 (Testigo 1)	INIAP	Simple
G11	INIAP H-601 (Testigo 2)	INIAP	Simple
G12	INIAP H-602 (Testigo 3)	INIAP	Simple
G13	DEKALB-7088 (Testigo 4)	ECUAQUIMICA	Simple
G14	DEKALB-1596 (Testigo 5)	ECUAQUIMICA	Simple

Los ensayos se dispusieron en diseño de bloques completo al azar donde se evalúan 14 genotipos con tres repeticiones en cuatro localidades y durante tres años consecutivos (14Gx3Rx4Lx3A). Se evaluaron, en consecuencia, 12 ensayos individuales de 14 genotipos con tres repeticiones. El efecto ambiental está determinado por la interacción localidad × año. La unidad experimental estuvo constituida por parcelas de 50 plantas, representadas por dos surcos de 5 m y una superficie total de 8 m². Se sembró una semilla por sitio a una distancia de 0,20 m entre plantas y 0.80 m entre surcos, que equivale a una densidad teórica de 62 500 plantas ha⁻¹.

El manejo agronómico y registro de datos en los ensayos se realizó en base a las recomendaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT (CIMMYT, 1985; Villavicencio y Zambrano, 2009).

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza para cada localidad. Posteriormente se realizó un análisis combinado (Mcintosh, 1983; Moore y Dixon, 2015) para determinar los efectos principales de genotipo (G) y ambiente (A), utilizando el software estadístico Infostat (versión 2015), de acuerdo a lo propuesto por Di Rienzo *et al.* (2015). Las comparaciones de medias entre tratamientos, ambiente e interacciones en estudio se hicieron con la prueba de Tukey ($p=0.05$).

El modelo matemático fue:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + Bk_{(j)} + E_{ijk} \quad [1]$$

Dónde:

Y_{ijk} = Rendimiento promedio del híbrido i obtenido en el ambiente j y en la repetición k, μ = Efecto de la media

general.

G_i = Efecto del genotipo i.

A_j = Efecto del ambiente j.

GA_{ij} = Efecto de la interacción entre el genotipo i y el ambiente j.

$Bk_{(j)}$ = Efecto de la repetición k en el ambiente j.

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

Análisis de Estabilidad

La estabilidad induce y determina la capacidad para valorar el comportamiento de los genotipos de maíz en los diversos ambientes, se utilizó la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966) con el software estadístico de Olivares (1994). El modelo estadístico que permite describir el comportamiento de un genotipo en una serie de ambientes fue:

$$Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + S_{ij} \quad [2]$$

Dónde:

Y_{ij} = Media de rendimiento del híbrido i en el ambiente j.

μ_i = Media del rendimiento del híbrido i sobre todos los ambientes.

b_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta del híbrido i en varios ambientes.

I_j = Índice ambiental obtenido como la medida del rendimiento de todas los híbridos en el ambiente j, menos la media general; S_{ij} = Desviación de la regresión del híbrido i en el ambiente j.

El parámetro S^2_{di} es una medida de variabilidad interpretada como falta de estabilidad y mide la consistencia o inconsistencia de esa respuesta (Eberhart y Russell, 1966). Un genotipo es considerado estable si su media es superior al promedio general, su coeficiente de regresión es igual a uno ($b_i=1$) y sus desviaciones de regresión (S^2_{di}) son iguales a cero; además, el análisis proporciona pruebas de hipótesis para determinar la estabilidad, la comparación de medias entre genotipos (Rodríguez *et al.*, 2002) y la clasificación de los genotipos, según Carballo y Márquez (1970). Además, se calcularon análisis de variancia para estimar parámetros de estabilidad (Molina 1992), donde los grados de libertad de las desviaciones de regresión conjuntas se descomponen para cada uno de los híbridos en estudios, se calculan los cuadrados medios por ambiente en base a los cuadrados medios del análisis de variancia, se estiman los efectos de los factores principales y de las interacciones (Cuadro 5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado de los 12 ambientes para la variable rendimiento se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para localidades, localidades x año, repeticiones x ambientes x año, genotipos x año, genotipos x localidades, genotipos x localidades x año; para genotipos hubo efecto significativo ($p \leq 0.05$), como se indica en el cuadro 3.

Al respecto, Córdova (1991) menciona que la interacción genotipo x ambiente podría ser una condición esencial en un programa de mejoramiento genético para seleccionar materiales superiores principalmente para ambientes específicos.

Cuadro 3. Análisis de varianza combinado para la variable rendimiento en ambientes de Manabí y Los Ríos

F.V.	gl	SC	CM	p-valor
Años	2	389,39	194,7**	<0,0001
Localidades	3	30,38	10,13**	<0,0001
Años x Localidades	6	475,74	79,29**	<0,0001
Repetición/Años x Localidades	12	22,12	1,84*	0,0254
Genotipos	13	120,26	9,25**	<0,0001
Genotipos x Años	26	60,15	2,31**	0,0001
Genotipos x Localidades	39	87,5	2,24**	<0,0001
Genotipos x Años x Localidades	78	166,96	2,14**	<0,0001
Error experimental	324	301,51	0,93	
Total	503	1654,02		

Nota: *= diferencias significativas ($p \leq 0,05$), **= diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$)

La respuesta del rendimiento de los genotipos a través de los años (Cuadro 4), se atribuye a la variación climática en los ambientes evaluados. Por tanto, las precipitaciones tienen un efecto directo sobre la diferenciación en rendimiento, lo cual coincide con Córdova (1991) y Hernández y Zavala (2009) en estudios de temporal para

determinar la adaptación y estabilidad de maíz y mijo (*Pennisetum americanum* L. Leeke), en su orden, quienes indican que las diferencias entre ambientes pueden cambiar con frecuencia el comportamiento de un material a través de diferentes sitios de evaluación.

Lorens *et al.* (1987) citado por Fassio *et al.* (1998) indican que la ocurrencia de déficit hídrico durante el crecimiento del cultivo de maíz es uno de los factores ambientales que más afecta la estabilidad de la producción. Las variaciones de los rendimientos en relación a la disponibilidad hídrica en las localidades evaluadas dificultó la selección de los genotipos, coincidiendo con los resultados obtenidos por Crossa *et al.* (1990) y Sabaghnia *et al.* (2006) quienes indican que la interacción cruzada entre genotipo x ambiente dificulta la identificación de genotipos superiores. Sin embargo, en contraposición Salguero *et al.* (1977) citado por Córdova (1991) indican que aún bajo condiciones de humedad limitada es posible encontrar variedades e híbridos de maíz estables.

El análisis combinado (Cuadro 5) permitió identificar genotipos con buena respuesta a diferentes ambientes, la comparación entre medias de rendimiento reveló cuatro grupos de significación ($p \leq 0.05$) mostrando la superioridad de los materiales a través de años y localidades. Los genotipos G2 (POB.3F4.27-1-1-1 x CML-451), G9 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 x L.I.4) y G14 (DEKALB-1596) mostraron mayor rendimiento (7,3 t.ha⁻¹) compartiendo el mismo rango de significación con tres híbridos experimentales y tres comerciales. El promedio de rendimiento de los híbridos experimentales, en la mayoría de los casos, superó la media general que al compararse con los testigos comerciales resultaron de mayor o igual potencial productivo.

Cuadro 4. Promedios de rendimiento (t.ha⁻¹) de 14 híbridos de maíz durante tres años consecutivos bajo condiciones de temporal y promedio combinado, en Manabí y Los Ríos

Nº	Genotipos	Años			Combinado**		
		2011*	2012*	2013*			
G1	POB.3F4.27-1-1-1 x CAP.MIRANDA 98.PHAEO.8-1-1-1	7,8 a b c	6,1 a b c	5,6 c d	6,5 b c d		
G2	POB.3F4.27-1-1-1 x CML-451	8,7 a b	6,6 a b c	6,6 a b	7,3 a		
G3	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 x CML-451	8,8 a b	6,4 a b c	6,5 a b c	7,2 a b		
G4	(INIAP H-601) x PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1	8,3 a b c	6,3 a b c	6,5 a b	7,0 a b c		
G5	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 x CL-02450	8,5 a b	6,1 a b c	6,4 a b c	7,0 a b c		
G6	(INIAP H-601) x B-520	7,5 b c	5,7 c	6,2 a b c d	6,4 c d		
G7	POB.3F4.27-1-1-1 x G26C3.52-1-1-2-2	6,8 c	5,2 c	5,2 d	5,8 d		
G8	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 x G26C3.52-1-1-2-2	8,1 a b c	5,8 b c	5,2 d	6,4 c d		
G9	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 x L.I.4	8,1 a b c	7,1 a b	6,8 a	7,3 a		
G10	INIAP H-553 (Testigo 1)	6,9 c	5,6 c	5,7 b c d	6,1 d		
G11	INIAP H-601 (Testigo 2)	8,2 a b c	6,6 a b c	6,4 a b c	7,1 a b c		
G12	INIAP H-602 (Testigo 3)	8,3 a b c	6,6 a b c	6,1 a b c d	7,0 a b c		
G13	DEKALB-7088 (Testigo 4)	9,3 a	5,9 b c	6,1 a b c d	7,1 a b c		
G14	DEKALB-1596 (Testigo 5)	7,6 b c	7,5 a	6,8 a	7,3 a		
Media		8,1	6,3	6,2	6,8		
CV (%)		13,7	16,4	11,0	14,1		
Tukey p $\leq 0,05$		1,5	1,4	1,0	0,8		

*Promedio de localidades x repeticiones (n=12)

**Promedio de localidades x repeticiones x Años (n=36)

Medias con letras común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El resumen de los cálculos de las sumas de cuadrados y sus correspondientes cuadrados medios se presentan en el cuadro 5. En el análisis de parámetros de estabilidad, la diferencia entre los genotipos permitió identificar los de mejor potencial de rendimiento; mientras que, la diferencia entre ambientes facilitó la detección de aquellos genotipos con mayor estabilidad en las localidades de evaluación.

Bajo estas consideraciones, el análisis de Eberhart y Russell (1966) y el análisis de varianza combinado identificó al genotipo G2 (POB.3F4.27-1-1-1 $\times$ CML-451) como el material más estable, seguido del genotipo G9 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ L.I.4), con valores de bi iguales a 0,98 y 0,95, respectivamente; además, de presentar rendimientos promedios superiores a la media de todos los ambientes de 7,3 t.ha⁻¹, en ambos casos (Cuadro 6).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la estimación de los parámetros de estabilidad de 14 híbridos de maíz evaluados en ambientes de Manabí y Los Ríos, Ecuador

FV	gl	SC	CM	SE
Total	168	443,49		
Genotipos	13	40,10	3,08	**
Ambientes (Genotipos $\times$ Ambientes)	154	403,39	2,62	
Ambiente (lineal)	1	298,50	298,50	
Genotipo $\times$ Ambiente (lineal)	13	11,15	0,86	**
Desviaciones conjuntas	140	93,74	0,67	
Desviación Genotipo 1	10	3,83	0,38	**
Desviación Genotipo 2	10	5,97	0,60	**
Desviación Genotipo 3	10	4,39	0,44	**
Desviación Genotipo 4	10	3,58	0,36	**
Desviación Genotipo 5	10	4,41	0,44	**
Desviación Genotipo 6	10	5,77	0,58	**
Desviación Genotipo 7	10	2,88	0,29	**
Desviación Genotipo 8	10	5,17	0,52	**
Desviación Genotipo 9	10	7,32	0,73	**
Desviación Genotipo 10	10	5,26	0,53	**
Desviación Genotipo 11	10	10,79	1,08	**
Desviación Genotipo 12	10	3,90	0,39	**
Desviación Genotipo 13	10	12,75	1,27	**
Desviación Genotipo 14	10	17,72	1,77	**
Error conjunto	312	272,93	0,87	

** p < 0,01

El genotipo G14 (DEKALB-1596), se define como un material de poca estabilidad, pero con buena respuesta en ambientes desfavorables, su rendimiento promedio fue de 7,3 t.ha⁻¹, y bi de 0,63, mientras que el genotipo G13 (DEKALB-7088) se clasificó como material con estabilidad media y de buena respuesta en ambientes favorables, con rendimiento promedio de 7,1 t.ha⁻¹, bi de 1,27. El genotipo G6 (INIAP H-601) $\times$ B-520, con un valor de bi de 0,95 se consideró como material estable, con rendimiento promedio por debajo de la media de 6,4 t.ha⁻¹. Muchas publicaciones sobre estabilidad han sido reportadas para diferentes cultivos, como maíz (Alejos,

2006, Carballo y Márquez, 1970, Casas, 2007, Córdova, 1991, Crossa *et al.*, 1990, Díaz *et al.*, 2009, González *et al.*, 2010, Morales *et al.*, 2006, Palemón, 2012), cebadilla criolla (*Bromus catharticus*) (Abbott y Pistorale, 2011), mijo (Hernández y Zavala, 2009), sorgo (Alanís *et al.*, 2010) y trigo (Rodríguez *et al.*, 2002). Algunos resultados sobre la estabilidad del rendimiento de genotipos de maíz tropical evaluados en varios ambientes de México y Colombia fueron reportados por Carrizales *et al.* (2007), quienes manifiestan que la inestabilidad o estabilidad de un material está en función de las buenas o malas condiciones ambientales en que se desarrolla el cultivo y que el uso de germoplasma avanzados, responden mejor a las condiciones sin estrés ambientales.

Cuadro 6. Rendimiento promedio (t.ha⁻¹) y parámetros de estabilidad de 14 híbridos de maíz duro, evaluados bajo condiciones de temporal en ambientes de las provincias de Manabí y Los Ríos

Nº	Genotipos	Rendimiento t.ha ⁻¹	bi	S2di	R2
G8	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ G26C3.52-1-1-2-2	6,37	1,05	0,23	0,82
G12	INIAP H-602 (T)	7,00	1,06	0,10	0,84
G3	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ CML-451	7,23	1,09	0,15	0,85
G1	POB.3F4.27-1-1-1 $\times$ CAPMI-RANDA 98.PHAEO.8-1-1-1	6,50	1,11	0,09	0,87
G4	INIAP H-601 $\times$ PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1	7,04	1,15	0,07	0,89
G13	DEKALB-7088 (T)	7,11	1,30	0,98**	0,71
G5	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ CL-02450	7,03	1,38	0,15	0,90
G14	DEKALB-1596 (T)	7,30	0,62	1,48**	0,30
G10	INIAP H-553 (T)	6,06	0,72	0,23	0,70
G11	INIAP H-601 (T)	7,07	0,80	0,79**	0,63
G7	POB.3F4.27-1-1-1 $\times$ G26C3.52-1-1-2-2	5,77	0,81	0,00	0,83
G6	INIAP H-601 $\times$ B-520	6,43	0,95	0,28*	0,77
G9	PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ L.I.4	7,34	0,95	0,44**	0,72
G2	POB.3F4.27-1-1-1 $\times$ CML-451	7,33	0,98	0,31*	0,78

* P $\leq$ 0,01 y ** P $\leq$ 0,05

La relación entre el coeficiente de regresión (bi) y el rendimiento medio de los genotipos se muestra en la figura 1, donde se visualiza el rendimiento promedio general (6,8 t.ha⁻¹) y el coeficiente de regresión (bi=1), dando lugar a cuatro cuadrantes que determinan el grado de interacción de un genotipo con el ambiente. El 36% de los genotipos evaluados en el estudio se ubicaron en los cuadrantes I y IV y se caracterizan por tener rendimientos promedios por debajo de la media general; mientras que el 64% de los materiales se visualizan en los cuadrantes II y III y son los que se destacan por su mayor productividad. Adicionalmente, la estabilidad o inestabilidad de los genotipos estará en función de que tan cerca o lejano se encuentre de bi=1, donde se destacan los genotipos 2 y 9 en términos productivos y de estabilidad.

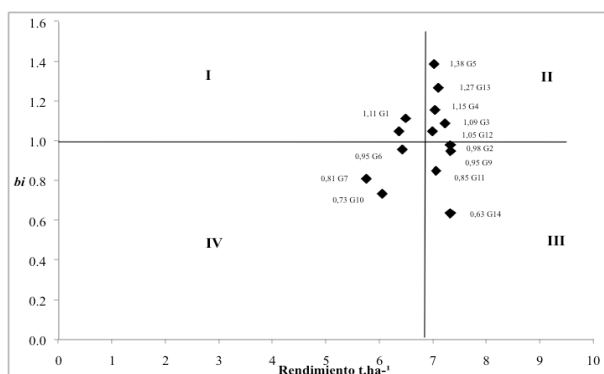


Figura 1. Coeficiente de regresión (b_i) en función del rendimiento promedio de 14 híbridos de maíz duro, evaluados bajo condiciones de temporal en ambientes de Manabí y Los Ríos.

La regresión lineal permite observar el rendimiento promedio de cada híbrido y el rendimiento promedio de todas las localidades, analizando la línea de tendencia de cada genotipo y su comportamiento en ambientes favorables y desfavorables para la producción de maíz (Figura 2), en la cual se incorporan los seis híbridos con las mejores tendencias con el objeto de que la figura pueda ser visualizada mejor si se incluyeran los 14 híbridos. Este análisis ratifica los resultados anteriormente descrito en cuanto al grado de productividad de los genotipos G2, G5, G9 y G13 bajo condiciones favorables; y de los genotipos G2, G9 y G14 bajo condiciones adversas. También el análisis contribuye a determinar el grado de similitud y tendencia de los genotipos G2 y G9 en ambas condiciones y nos aporta con información para su fomento futuro.

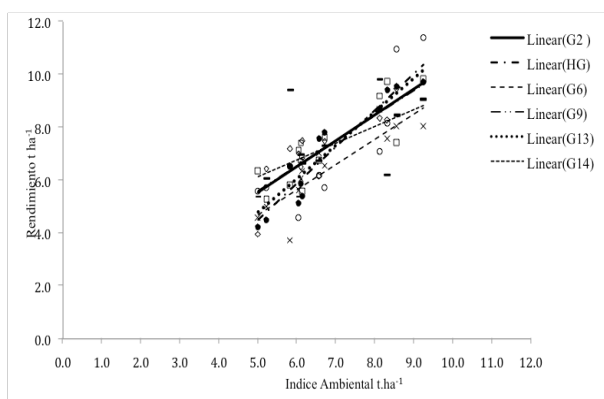


Figura 2. Respuesta lineal de seis genotipos de maíz duro evaluados en ambientes favorables y adversos de Manabí y Los Ríos.

Los resultados de interacción $G \times A$ y estabilidad para rendimiento descritos en el presente estudio son representativos de la zona costera del Ecuador, ya que en estas provincias se siembran el 80% de la producción nacional de maíz de temporal. La magnitud de la interacción $G \times A$ observada en los diversos ambientes reflejan la importancia de evaluar y seleccionar híbridos o nuevos materiales basados en pruebas multilocales y multianuales, ya que el efecto del genotipo en un ambiente en particular no es evidencia de su comportamiento a través de múltiples años y localidades. Reportes similares de la magnitud e importancia de $G \times A$ han sido descritos por Alejos *et al.* (2006), cuando evaluaron bajo condiciones de temporal 16 híbridos blancos en seis ambientes durante tres años en Venezuela, quienes demostraron diferente comportamiento de que los genotipos en los ambientes ensayados, resaltando la importancia de evaluar los materiales por varios ciclos, con la finalidad de ofertar material genético avanzado, estable y adaptados a una amplia zona de cultivo.

CONCLUSIONES

El efecto de la interacción $G \times A$ fue superior al efecto del genotipo y del ambiente, lo cual puede tener su origen en la variabilidad de los híbridos.

Los híbridos: G2, G3, G4, G5, G9, G11, G12, G13 y G14 fueron estadísticamente iguales, sin embargo, las pruebas posteriores determinaron a los híbridos G2 y G9 como los más estables, por su potencial de rendimiento y baja variabilidad a través de ambientes y años evaluados.

Bajo ambientes favorables para la producción de maíz, los genotipos G5 (PORT.PHAEO.1AS2.4-1-1-1 $\times$ CL-02450) y G13 (DEKALB-7088) mostraron el mayor potencial de rendimiento, pero bajo condiciones desfavorables fueron los más sensibles.

Los genotipos G14 (DEKALB-1596) y G11 (INIAP H-601) expresaron buen potencial de rendimiento en condiciones desfavorables, mostrando consistencia a los cambios ambientales, siendo alternativas de producción bajo estas condiciones.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L. and Pistorale, S. 2011. Stability and adaptability analysis of characters of agronomical interest in selected genotypes of prairie grass (*Bromus catharticus*). AGRISCIENTIA XXVIII (2): 109-117

- AFABA (Asociación de Fabricantes de Balanceados). 2015. Estadísticas Maíz Duro 2015. Boletín Asociación Fabricantes de Alimentos Balanceados para animales. MAGAP, COBUS GROUP. Ecuador.
- Alanís, W., Pecina, V., Zavala, F., Montes, N., Gámez, A., Arcos, G., García, M., Montes, S. y Alcalá, L. 2010. Modelos de Finlay y Wilkinson vs el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2):117-123.
- Alejos, G., Monasterio, y Rea, R. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56(3):369-384.
- Arellano, J. L., Virgen, J., Rojas, I., Ávila, M. 2011. H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 2:619-626.
- BCE (Banco Central del Ecuador). 2014. Reporte de coyuntura sector agropecuario No. 87 - I- 14; Junio. 55p. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/.../Catalogo/.../Coyuntura/.../etc201401.pdf>
- Bucio, A., L. 1966. Environmental and genotype-environmental components of variability. I. Inbred Lines. *Heredity* 21: 387-397.
- Carballo C.A., y Márquez F. 1970. Comparación de variedades de maíz El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agro-Ciencias* 5:129-146.
- Carrizales, N., Córdova, H., De Jesús, J., Mena, S., Márquez, F., Recendiz, F., García, M.,
- Casas, J. 2007. Estabilidad en genotipos de maíz tropical del patrón heterótico Tuxpeño x Eto. *Scientia – Cúcuta* 9(1):47-56.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1985. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, D.F. Cuarta reimpre-sión, 1995. 20p.
- Córdova, H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la repuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana* 2:01-10.
- Crossa, J., Gauch, H. and Zobel, R. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Cruz, C.D. e Regazzi, A.J. 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidade Federal de Vicosa. Ed. UFV. Vicosa, Minas Gerais, Brasil 2da ed. 390p.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, G.T., Sabando, F.A., Zambrano, S. y Vásquez, G.H. 2009. Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. *Ciencia y Tecnología.* 2(1) 7-15.
- Eberhart, S.A. and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40. Consultado el 27 de noviembre de 2016. Disponible en <https://www.coursehero.com/file/13343034/A-31-Stability-parameters-for-comparing-varieties-Eberhart-Russell1966pdf/>

- Fassio, A., Carriquiry, A.I., Tojo, C., Romero, R. 1998. Maíz: Aspecto sobre fenología. Unidad de difusión e información tecnológica del INIA. Serie Técnica N° 101. Montevideo, Uruguay. 51p.
- González, A., De Jesús, D., Sahagún, J., Franco, O., Morales, E., Rubí, M., Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del valle Toluca-Atlacomulco, México. *Agronomía Costarricense* 34(2):129-143. ISSN: 0377-9424.
- Hernández J.A., Zavala, F. 2009. Adaptación y estabilidad del rendimiento de grano de genotipos de mijo (*Pennisetum americanum* L. Leeke) en san Luis Potosí, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 32 (2): 143-152.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca). 2014. Estimación de superficie sembrada de arroz (*Oryza Sativa*) y maíz duro Seco (*Zea mays* L.) para las épocas de invierno y verano, en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Loja y El Oro. Coordinación General del Sistema de Información Nacional, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ecuador. Consultado el 27 de noviembre de 2016. Disponible en <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/iboletin-maiz-duro-seco-2014-actualizado.pdf>
- McIntosh, M. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75:153-155. Consultado el 27 noviembre de 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/250101780_McIntosh_MS_Analysis_of_combined_experiments_Agron_J
- Molina, J.D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT editor S. A. México, D.F. 349 p.
- Moore, K. and Dixon, P. 2015. "Analysis of combined experiments revisited". *Agronomy Journal*. Disponible en: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/pdfs/107/2/763>
- Morales, M.M., Ron, J., Sánchez, J., Ramírez J., De La Cruz, L., Mena, S. Hurtado, S. y Chuela, M. 2006. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30(3): 285-294.
- Olivares, S.F. 1994. Parámetros de estabilidad (S. A. Eberhart and W. A. Russell). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Marín, N. L. México. Versión 1.0.
- Palemón, F., Gómez, N., Castillo, F., Ramírez, P., Molina, D. y Miranda, S. 2012. Maize (*Zea mays* L.) Interval crosses stability for the semiwarm region of Guerrero. *Agrociencia*. 46: 133-145
- Rodríguez, J. E., Sahagún, J., Villaseñor, H., Molina, J.D., G, Martínez, A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:143-151.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype x environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science* 46:1100-1106.
- SINAGAP (Sistema Nacional De información nacional). 2014. "Boletín Situacional Maíz Duro 2014" [en línea]. Quito: Coordinación General del Sistema de Información Nacional, MAGAP. [19 Mayo 2016]. Disponible en: <http://www.balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/CGSIN/Articulo%20estimacion%20superficie%20seco%20%282%29.pdf>
- Villavicencio, P. y Zambrano, J.L. 2009. Guía para la producción de maíz amarillo duro en la zona central del litoral ecuatoriano. Consultado 27 noviembre de 2016. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1551>