

Evaluación de Híbridos Trilineales de Maíz (*Zea mays* L.) en 6 Ambientes de Centroamérica y El Caribe, 1989¹

Carlos Pérez², Nery Soto, Alfonso Alvarado, Adán Aguiluz, Ramón Celado, Kenneth Jjménez, Roger Urbina³, Hugo Córdova⁴

COMPENDIO

La interacción de genotipo*ambiente puede modificar la magnitud del comportamiento de un cultivar a través de localidades, los agricultores demandan nuevos híbridos de maíz que respondan consistentemente a todos los ambientes de producción. Con el objetivo de capitalizar al máximo el potencial genético existente en las líneas élites de maíz, identificados en el programa de híbridos de CIMMYT, México, se creó el Proyecto Colaborativo de Híbridos de Centro América y El Caribe, en el cual se usan como probadores las cruces simples utilizadas como hembras en la producción de semilla de híbridos comerciales desarrollados por los programas nacionales de la región.

En 1988 se identificaron 12 híbridos trilineales de grano amarillo y blanco que demostraron mejor adaptación a la región y adaptación específica por país. En 1989 estos híbridos fueron evaluados en ensayos uniformes en siete localidades de Centro América, Panamá y República Dominicana, con el objeto de determinar el potencial de rendimiento y adaptación de los nuevos híbridos a las zonas productoras de maíz de la región. Se realizó un análisis de estabilidad bajo el modelo de Finlay y Wilkinson para determinar la respuesta de los cultivares a los diferentes ambientes de prueba. El análisis combinado de seis localidades demostró diferencias altamente significativas entre cultivares y para la interacción genotipo por localidad. El híbrido 3003 X 3176 de grano blanco mostró una superioridad total con rendimiento de 5.5 t / ha con 37% sobre el mejor testigo H-27, obteniendo el primer lugar en todas las localidades lo cual indica una respuesta consistente a todos los ambientes de evaluación. A través del proyecto colaborativo de híbridos se han identificado híbridos superiores, y algunos países (Panamá, Costa Rica, El Salvador), han iniciado la producción comercial de semilla certificada de los híbridos. Los resultados comprueban que se puede obtener un progreso sostenido en la formación de híbridos a través de un sistema comprensivo y dinámico.

Palabras claves adicionales: interacción, genotipo*ambiente, cruces trilineales.

INTRODUCCIÓN

En todo programa de mejoramiento es importante contar con amplia variabilidad genética y con buena aptitud combinatoria. Los programas nacionales interesados en la formación de materiales de alto potencial de rendimiento deben aprovechar al máximo la diversidad genética que se dispone en el programa o hacer introducciones de nuevo germoplasma.

Por tal razón, el Proyecto Regional de Híbridos realizó introducciones de líneas S₃ provenientes de CIMMYT derivadas de diferentes poblaciones, las cuales se cruzaron entre sí, se evaluaron y seleccionaron aquellas que expresaron

ABSTRACT⁵

Genotype by environment interactions may modify the response of a given cultivar across several environments. Farmer continually demand new maize hybrids which respond consistently well to all production environments. With the objective of capitalizing the existent genetic potential in the elite lines of CIMMYT's maize hybrid program in Mexico, a collaborative hybrid project was established in Central America and the Caribbean region, where testers used are the single crosses that are serve as females in the production of commercial hybrids by National Programs in the region.

In 1988, twelve white and yellow three way cross (TWC) grain hybrids were identified that had better performance across the region and by country. In 1989, these hybrids were evaluated in uniform trials at seven locations in Central America and the Dominican Republic to determine the yield potential and adaptation of the new hybrids in maize producing areas of the region. Stability analysis was performed using the Finlay and Wilkinson model to identify the response of these different cultivars to the diverse environments tested. The combined analysis of 6 sites showed highly significant differences among cultivars and a significant cultivar by location interaction. The hybrid 3003x3176 (white grain) had the biggest yield of 5.5 t/ha, representing a 37% increase over that of the local check, H-27. This hybrid also had the highest yield at all locations which appears to indicate a consistent response across the environments evaluated. Through this collaborative project superior hybrids have been identified, and Panama, Costa Rica and El Salvador have commenced commercial production of certified hybrid seed. These results prove that sustainable progress can be obtained in the production of hybrids with the use of a comprehensive and dynamic system.

buena heterosis. El Proyecto espera obtener híbridos con alto potencial de rendimiento, buenas características agronómicas y amplia adaptación a las áreas maiceras de la región, para contribuir en forma significativa a elevar la producción por unidad de área.

¹ Trabajo presentado en la XXXVI Reunión Anual del PCCMCA, San Salvador, El Salvador, marzo 1990.

² Técnico Programa de Maíz. ICTA-Guatemala.

³ Coordinadores Programas Nacionales ICTA. Guatemala; IDIAP Panamá; CENTA, El Salvador; CESDA. República Dominicana; Est. Exp. Fabio Baudrit Moreno. Costa Rica; MIDINRA. Nicaragua.

⁴ Coordinador Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe

⁵ El abstract es traducción del compendio.

Publicado en Agronomía Mesoamericana. Vol. 2 (1991).

Debido a que el rendimiento promedio de la mayoría de los países es considerablemente bajo por falta de disponibilidad de materiales mejorados lo cual es un factor que contribuye a que la producción de este cultivo dependa muchas veces de genotipos criollos con bajo potencial de rendimiento y características agronómicas indeseables, o bien se depende de semillas importadas no adaptadas al medio con precios altos que limita la accesibilidad al agricultor.

Por esta razón el Programa Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe y Coordinadores de Programas Nacionales en 1986, establecieron estrategias tendientes a contrarrestar los problemas que limitan la producción de maíz, habiendo establecido cuatro proyectos regionales de los cuales, está el proyecto regional de híbridos cuyo país líder es Guatemala.

Este trabajo tiene como objetivo determinar el potencial de rendimiento y características agronómicas y adaptación de los nuevos híbridos a las zonas productoras de maíz de la región.

REVISION DE LITERATURA

El desarrollo de híbridos de maíz involucra líneas endogámicas, progenitores no endogámicos o una combinación líneas y progenitores no endogámicos. El número de progenitores involucrados en la formación de híbridos puede variar de un mínimo de dos progenitores a un máximo de cuatro. Los híbridos se pueden agrupar en dos grandes clases: híbridos convencionales y no convencionales (Vasal *et al.*, 1988).

El proyecto regional de híbridos está generando híbridos a convencionales para lo cual en 1986 se introdujeron líneas S₃ provenientes de CIMMYT los cuales se avanzaron a S₄. En el período comprendido entre diciembre de 1987 a abril de 1988 se formaron y evaluaron cruza mestizos utilizando como probadores cruza simples que se utilizan como hembras de híbridos comerciales de los programas nacionales de Guatemala, El Salvador y Honduras, en este estudio se seleccionaron 9 líneas blancas y 10 líneas amarillas (Soto, *et al.*, 1989), en base a su mejor aptitud combinatoria general y a la vez se identificaron 6 híbridos blancos y 6 híbridos amarillos de acuerdo al comportamiento en cada país.

El proyecto regional de híbridos de Centro América ha logrado notables progresos ya que el híbrido P-8802 obtuvo el segundo lugar en rendimiento al ser evaluado a través de 14 localidades superando al H-5 con 31 % (Córdova, 1990).

Arnold y Jenkins (1932) informaron sobre la variabilidad relativa de los híbridos y de las variedades de polinización libre. Encontraron que las variedades de polinización libre fueron variables que los híbridos, las cruza simples fueron más uniformes y las cruza dobles y mestizos fueron intermedios en variabilidad.

Las pruebas de comportamiento de variedades cuando se realizan convencionalmente ofrecen información sobre la interacción genotipo ambiente, que no es un indicativo de la estabilidad de las variedades evaluadas (Córdova, 1978) de allí que el análisis de estabilidad, es un instrumento en la identificación de germoplasma de gran potencial para los programas de mejoramiento. En base a la interpretación de los parámetros de estabilidad, Carballo y Márquez (1970), clasifican a una variedad "estable cuando $B_i = 1$ y $S^2_{di} = 0$ ".

Miezan *et al.* (1977), mencionan una expansión de la fórmula del coeficiente de regresión sugerida por Finlay y Wilkinson como parámetro de estabilidad, demostró que el parámetro puede ser significativamente alterado por genotipos extremos, ejemplo: A aquellos con una varianza pequeña o muy grande. Al parecer, no todos los genotipos deberán involucrarse en la estimación de índices ambientales.

Dávila *et al.* (1978) estimaron los parámetros de estabilidad utilizando el modelo de Eberhart y Russel (1966), para identificar germoplasma criollo utilizable en el programa de mejoramiento del altiplano, alto y medio. Los autores encontraron que altos rendimientos están positivamente correlacionados a coeficientes de regresión y desviaciones de regresión ($r = 0.99$ y 0.66 , respectivamente).

MATERIALES Y METODOS

Localización

Para este estudio se establecieron ensayos uniformes de rendimiento en 6 localidades de Centro América y El Caribe (Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Panamá y República Dominicana).

Material genético

Híbridos Blancos	Híbridos Amarillos
3001 X 3106	3502 X 3422
3001 X 3194	3502 X 3331
3002 X 3006	3501 X 3332
3002 X 3113	3501 X 3422
3003 X 3176	3501 X 3304
3003 X 3140	3502 X 3325
Testigo	Testigo
HB-83M	X-3204
HB-27	
H-5	

Progenitores

Las líneas progenitoras de los híbridos blancos se derivaron de las poblaciones 32,21 y pool 23.

Las líneas progenitoras de los híbridos amarillos se derivaron de las poblaciones 24, 36 y pool 26.

Manejo del experimento

El diseño utilizado fue bloques al azar, 4 repeticiones, 16 tratamientos 6 localidades.

Siembra

La distancia entre surcos fue de 0.75 m y entre planta 0.50 m se depositaron 3 granos por postura para ralea a dos plantas y obtener una población de 53,000 plantas por hectárea.

Tamaño de parcela

Cada unidad experimental fue de 4 surcos de 5.5 m de largo para un área total de 16.5 m y área útil de 8.25 m².

Variables Estudiadas

- 1.- Rendimiento en kg/ha
- 2.- Días a Flor Femenina
- 3.- Altura de Planta
- 4.- Altura de Mazorca
- 5.- Acame de raíz y tallo
- 6.- Porcentaje de mazorcas descubiertas y podridas
- 7.- Prolificidad de mazorca.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza por localidad y combinado para las diferentes variables en estudio el modelo del diseño es el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + T_i + R_j + \epsilon_{ij}$$

de donde:

$$i = 1, 2, \dots, t: \quad t = 16 \text{ Tratamientos}$$

$$j = 1, 2, \dots, r: \quad r = 4 \text{ Repeticiones}$$

X_{ij} = es el valor del carácter estudiado de la parcela con el i-esimo tratamiento en la j-esima repetición.

μ = Media general del Carácter

T_i = Efecto de i- esimo tratamiento

R_j = Efecto de la j- esima repetición

ϵ_{ij} = Efectos aleatorio s asociados a la ij-esima observación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estadísticos

En el Cuadro 1 se describen los estadísticos estimados para las variables rendimiento, días a flor, altura de planta y mazorca, plantas cosechadas, cobertura, pudrición y prolificidad de mazorca. En el análisis combinado se encontró diferencias altamente significativas para todas las variables con coeficiente de variación considerablemente bajos, los cuales indican que la técnica experimental usada en la conducción de los experimentos fue apropiada.

Cuadro 1 Análisis de varianza por localidad y combinado del Proyecto Regional de Híbridos de Centro América.

Variables	Gua.	Salv.	Nic.	C.R	Pan.	R.Dom.	Comb.	%CV	X
Rend	**	**	**	*	**	**	**	14	4.6
Días a flor	**	**	NS	**	**	**	**	2	57
Alt. Planta	**	*	**	**	**	**	**	5	233
Alt. Mz.	**	**	**	**	**	**	**	8	125
Plt. Cos.	NS	**	**	**	NS	**	**	10	38
% Cobertura	*	**	NS	NS	NS	*	**	82	5
% Pudrición	*	**	*	**	NS	NS	**	65	8
% Prolif.	**	**	*	*	**	NS	**	9	95
Localidad							**		
Loc. X Trat.							**		
% C.V Rend.	11	13	13	11	12	10			
DMS kg / ha	0.8	0.6	0.9	0.5	0.7	0.8	0.7		

* = Significativo al 5%; ** = Significativo al 1%; NS = No significativo.

Evaluación de híbridos trilineales

En el Cuadro 2 se resumen las medias de rendimiento de los mejores 6 híbridos de grano blanco y amarillo producto de los resultados de 6 localidades de Centro América y El Caribe (Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Honduras, Panamá y República Dominicana), puede observarse que los mejores 4 híbridos blancos superan en rendimiento al H-5 hasta con 2.1 t / ha, mientras que el mejor híbrido experimental de grano amarillo superó al X-3204 con 0.6 t / ha y el ambiente más favorable para la expresión máxima de rendimiento se dió en la localidad de la República Dominicana. La respuesta de este híbrido a las condiciones de adaptación tropical fue similar en 1988 (Soto *et al.*, 1989). Los nuevos híbridos desarrollados muestran una gran adaptabilidad a las condiciones tropicales de la región.

Características agronómicas

En el Cuadro 3 se resumen las principales características agronómicas de los mejores híbridos experimentales.

Cuadro 2. Medias de rendimiento en t/ha de híbridos blancos y amarillos del Proyecto Regional de Centro América y El Caribe 1989.

Tratamiento	Guate.	Salv.	Nicar.	C.R.	Pan.	Rep Dom	Media
3003 X 3176 B	6.3	4.3	5.9	3.8	4.8	6.9	5.4
3003 X 3140 B	5.7	3.8	5.6	3.5	4.6	6.0	4.9
3501 X 3331 A	6.2	3.9	4.7	3.8	4.1	6.9	4.9
3001 X 3106 B	5.7	3.7	5.6	3.7	4.1	6.1	4.8
3501 X 3422 A	6.3	3.4	4.6	3.3	4.3	6.7	4.8
3001 X 3194 B	5.7	3.8	4.5	3.1	4.1	6.9	4.7
Testigos							
H-27	4.1	3.2	5.1	3.0	4.8	5.9	4.4
H-5	3.5	2.1	4.3	2.3	3.0	4.5	3.3
X-3204	4.9	3.3	4.7	2.4	4.2	6.5	4.3
Media	5.4	3.5	4.9	3.2	4.3	6.1	4.6

A = Amarillo; B = Blanco.

Cuadro 3. Características agronómicas de híbridos blancos y amarillos del Proyecto Regional Centro América.

Tratamiento	Rend Días		Altura		Porcentaje			Tukey
	t/ha	Flor	Plt.	Mzc.	Cob.	Pud.	Prol.	
3003 X 3176 B	5.4	57	235	130	9	7	100	a
3003 X 3140 B	4.9	56	224	118	4	9	96	ab
3501 X 3331 A	4.9	58	239	123	2	8	101	ab
3001 X 3106 B	4.8	59	236	132	7	5	97	abc
3501 X 3422 A	4.8	56	232	124	6	7	101	abc
3001 X 3194 B	4.7	58	233	122	5	9	93	abc
Testigos								
X-3204	4.3	57	238	131	9	18	91	cde
H-27	4.4	58	238	131	7	10	91	de
H-5	3.3	59	247	138	5	8	81	f

A = Amarillo; B = Blanco. Letras a,b,c,d,e,f indican diferencia no significativa.

contra los testigos, se observa que los híbridos experimentales blancos tienen similares características al H-27 y H-5, los híbridos amarillos poseen menor porcentaje de mazorca con punta descubierta y podridas, además los nuevos híbridos el 100% de las plantas producen al menos una mazorca, mientras que en el híbrido X-3204 existe 9% de plantas que no producen mazorcas.

Estabilidad

Para estimar la estabilidad de los mejores híbridos en rendimiento se utilizó el método de Finlay y Wilkinson cuyos parámetros se observan en el Cuadro 4, Los coeficientes de correlación simple estimados en el análisis combinado indican magnitud de la asociación existente entre el rendimiento contra el ambiente, $r=0.99^*$, $r=0.98^*$, $r=0.92^*$, $r=0.95^*$, $r=0.97^*$, $r=0.98^*$, $r=0.98^*$. La respuesta relativa de los cultivares a diferentes ambientes de evaluación puede modificarse si la interacción G x A es muy fuerte. Si no se usan modelos que entifiquen adecuadamente el comporta-

Cuadro 4 Parámetros de estabilidad de híbridos blancos y amarillos del Proyecto Regional de Centro América y El Caribe 1989.

Tratamiento	Ecuación $Y = a + b(x)$	R	r
Blancos			
3003 X 3176	$Y = 5,3511 + 1.0663x$	0.99	0.99 *
3003 X 3140	$Y = 4,8818 + 0,9108x$	0.97	0.98 *
H-27	$Y = 4,3639 + 0,8341x$	0.84	0.92 *
H-5	$Y = 3,2966 + 0,794x$	0.90	0.95 *
Amarillos			
3501 X 3331	$Y = 4,9515 + 1,09x$	0.94	0.97 *
3501 X 3422	$Y = 4,7873 + 1,237x$	0.97	0.98 *
X - 3204	$Y = 4,3535 + 1,209X$	0.97	0.97 *

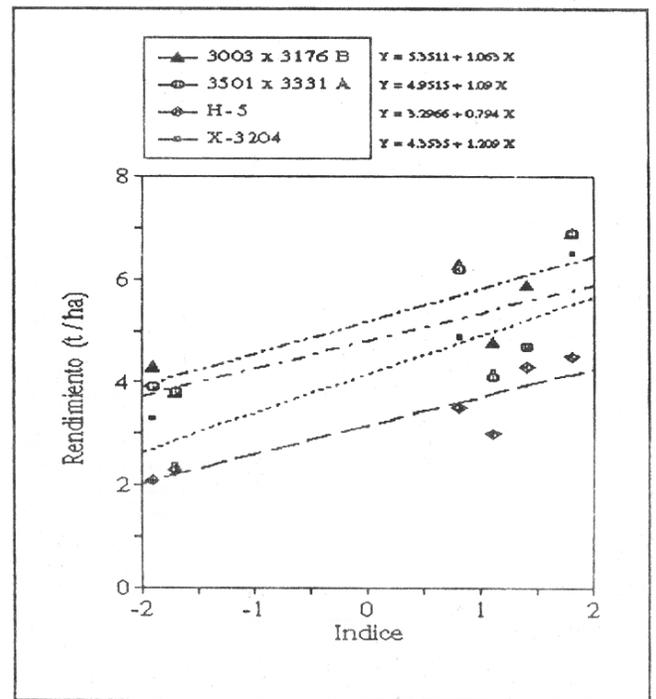


Figura 1 Dispersión de los mejores materiales blancos y amarillos, y los testigos.

miento de esos genotipos (Zobel, 1989; Córdova, 1990; Blum, 1990). Los resultados obtenidos en el presente trabajo, según la orientación presentada por los autores anteriores, los coeficientes de correlación, obtenidos por las líneas de estabilidad que son altamente significativos, demuestran el ajuste de las líneas de regresión.

El coeficiente $b = 1$ muestra el grado de estabilidad tanto de los híbridos experimentales como de los testigos a través de los diferentes ambientes.

En la Figura 1 se observa el grado de dispersión del rendimiento con respecto a la recta de la regresión lo cual indica que los híbridos con los puntos menos dispersos son los más estables ($b = 1$).

CONCLUSIONES

1. Los resultados demuestran que los híbridos blancos 3003 x 3176 y 3003 x 3140 superaron en rendimiento al H-27 y H-5 siendo estadísticamente superiores, así también el híbrido de grano amarillo 3501 x 3331 superó con 14% más de rendimiento al X-3204.

2. Los híbridos experimentales blancos identificados como los mejores en rendimiento mostraron características agronómicas similares a los testigos H-27 y B-5 pero con mejor estabilidad ($b = 1$) a través de los diferentes ambientes.

3. El híbrido de grano amarillo 3501 x 3331 mostró características agronómicas superiores al X-3204, principalmente en cobertura, pudrición y prolificidad de mazorca mostrando también mayor estabilidad ($b = 1$) a través de los diferentes ambientes.

BIBLIOGRAFÍA

- CARBALLO. C.A y MARQUEZ S.P. 1970. Comparación de variedades de Maíz de el Bajillo y la meceta central por su rendimiento y estabilidad. *Agro-Ciencias* (1): 129-146.
- BLUM. A. 1988. *Plant breeding for stress environments*. 18-28. CRC Press.
- CORDOV A. H.S. 1990. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. Trabajo presentado en la XXXVI Reunión Anual del PCCMCA celebrada en San Salvador. El Salvador del 26 al 30 de marzo.
- CORDOVA, H.S. 1978. Parámetros de Estabilidad para evaluar el comportamiento de variedades. Guatemala ICTA. 35 pag.
- DAVILA, F.A. CORDOV A H.S. y POEY. P.R. 1978. Uso de parámetros de estabilidad en la evaluación de variedades comerciales y experimentales de maíz (*Zea mays* L.) (1) Zona media. XXIV Reunión Anual del JoICCMCA. San Salvador.
- MIENZAN K., WALTER T.L., MILIKEN G.A Y LIAN G.A. 1977. Problems in using regression coefficients as stability parameters in breeding program. *Agron. Abst.* 64 pag Am. Soc. Agron.
- JUGENHEIMER. Robert W.. . 1981. *Maíz Variedades mejoradas. Métodos de I Cultivos y Producción de semillas*. Primera edición Editorial Limusa. México. pag. 552.
- SOTO. N. ; PEREZ. C.; ALVARADO. A.; AGUILUZ. A.; CELADO, R.; JIMENEZ, V.; URBINA, R.; CORDOVA, H. 1989. Evaluación de mestizos de grano amarillo formado con germoplasma del Proyecto Regional de CIMMYT C.A. 1988 presentado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA Pedro Sula. Honduras.
- SOTO. N. *et al.* 1989. Evaluación de mestizos de grano blanco formados con germoplasma del Proyecto Región de CIMMYT C.A. 1988. Presentado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA Pedro Sula. Honduras.
- VASAL S.K. 1989. Desarrollo de híbridos no convencionales de maíz. Presentado en la XIII Reunión de Maiceros de la zona Andina Chiclayo. Perú 1.988.
- ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agon J.* 80:388-393.
-