



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO

FRANCISCO PALEMÓN ALBERTO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2010

La presente tesis titulada: **“ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO”**, realizada por el alumno: **FRANCISCO PALEMÓN ALBERTO**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

Dr. FERNANDO CASTILLO GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. NOEL ORLANDO GÓMEZ MONTIEL

ASESOR:

Dr. PORFIRIO RAMÍREZ VALLEJO

ASESOR:

Dr. JOSÉ DOMINGO MOLINA GALÁN

ASESOR:

Dr. SALVADOR MIRANDA COLÍN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2010.

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO

Francisco Palemón Alberto, Dr.

Colegio de postgraduados, 2010

La orografía y agroecología del estado de Guerrero es muy diversa. En las áreas de altitud intermedia (1200 a 1700 m) prácticamente no se siembran con variedades mejoradas de maíz, debido a su limitada adaptación a las condiciones climáticas y edáficas; por lo que, prevalece la siembra de poblaciones nativas. En las áreas semicálidas se ha seleccionado germoplasma subtropical local; paralelamente, en Valles Altos se aplicó selección para adaptación en cuatro poblaciones tropicales durante 10 años. Con estas siete poblaciones progenitoras se generaron 12 cruza s intervarietales (CI) en arreglo factorial, con el propósito de valorar los avances del mejoramiento genético y detectar alguna CI de valor comercial. Las CI, sus progenitores y testigos se evaluaron bajo diseño experimental, durante los ciclos agrícolas Verano-Otoño de 2004 a 2008, en 16 ambientes de altitud intermedia. La información para rendimiento se analizó bajo el diseño de bloques completos al azar por localidad y combinando localidades, considerando sólo 20 variedades, incluyendo a la variedad local. Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), y heterosis; se practicó el análisis de parámetros de estabilidad y el de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Se estableció un experimento en el 2009 para valorar atributos agronómicos. Se detectaron diferencias altamente significativas entre variedades para rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$). Las variedades subtropicales *per se* fueron superiores a las tropicales adaptadas a Valles Altos pero estas fueron mejores en otros atributos agronómicos. Los progenitores masculinos VE-1 y VE-3 presentaron efectos de ACG positivo, estabilidad y consistencia a través de ambientes; además, aportaron mejor peso y diámetro de mazorca, y los femeninos SINT-3-HE y VS-529 mostraron efectos de ACG positivo y fueron inconsistentes, ambos contribuyeron en obtener una mejor sanidad de planta y mazorca. La variedad local compitió con las CI pero su rendimiento de grano fue inconsistente y tuvo problemas de acame. En particular, las cruza s intervarietales VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 fueron las que expresaron mejor rendimiento de grano, características agronómicas y menor interacción con los ambientes.

Palabras clave: *Zea mays* L., variedades tropicales y subtropicales, aptitud combinatoria general y específica, heterosis, estabilidad, rendimiento de grano.

ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS IN INTERVARIETAL CROSSES OF MAIZE FOR THE SEMIWARM REGION OF GUERRERO

Francisco Palemón Alberto, Dr.

Colegio de postgraduados, 2010

Orography and agroecology in the state of Guerrero are highly diverse; in intermediate altitudes (1200 to 1700 masl) the use of commercial varieties of maize is practically inexistent, due to limited adaptation to climatic and edafic conditions; thus, use of native maize populations prevails. In the semiwarm areas genetic improvement with subtropical germplasm has been practiced; on the other hand selection for adaptation to the highland planted (2250 masl) have been applied on four tropical populations of maize for 10 years. With seven parental populations, 12 intervarietal crosses (CI) were obtained under factorial array, in order to assess gains due to genetic improvement, and to detect some CI with commercial value. CI, their parental populations and the local landrace were agronomically evaluated in years 2004 to 2008, in a total of 16 environments of intermediate altitude. Grain yield information was analyzed as a complete blocks design, by locality and combined through locations. General (ACG) and specific (ACE) combining ability effects, and heterosis were estimated. Besides, analyses of stability parameters, and the one of additives and multiplicative interaction effects (AMMI) were applied. Another experiment was carried out in order to asses other agronomic traits. Differences among varieties for grain yield ($t\ ha^{-1}$) were highly detected. Subtropical varieties *per se* over yielded to the tropical ones with selection under highland conditions. Male parental populations VE-1 and VE-3 showed ACG positive effects, were stable and consistent through environments; in addition, they contributed to a better weight and ear diameter; and the females SINT-3-HE and VS-529 showed also ACG positive effects and were inconsistent; but both contributed in obtaining a better plant and ear health. The local landrace showed in several cases as good grain yield as CI but inconsistent through locations and had problems of lodging. In particular, intervarietal crosses VS-529 x VE-1 and VS-529 x VE-3 expressed better grain yield, agronomic characteristics and lesser interaction with environments.

Key words: *Zea mays* L., tropical and subtropical varieties, general and specific combining ability, heterosis, stability, grain yield.

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados**, especialmente al programa **Recursos Genéticos y Productividad-Genética**, Campus Montecillo, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado.

Al pueblo mexicano y al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Doctorado.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)** por facilitarme el material genético y darme la oportunidad de establecer mis trabajos en su Campo Experimental Iguala, Guerrero.

Al **Dr. Fernando Castillo González** por la confianza que deposito en mi persona, por su valioso e incondicional enseñanza, conocimientos y experiencias transmitidas, orientación para mi formación académica, motivación y buen consejo durante el desarrollo de mi programa de doctorado, así como su constante y tiempo dedicado en los análisis de datos, revisión y culminación de mi tesis doctoral.

Al **Dr. Noel Orlando Gómez Montiel** por permitirme compartir su gran experiencia como investigador, por su gran disposición, contribución, realización, conducción, orientación durante las fases de campo, además de la revisión, corrección y cristalización del presente trabajo.

Al **Dr. Porfirio Ramírez Vallejo** por sus atinados consejos, motivación, revisión y corrección, las cuales permitieron mejorar el presente trabajo.

Al **Dr. José D. Molina Galán** por sus conocimientos transmitidos, sugerencias y su valiosa asesoría en la revisión del presente trabajo.

Al **Dr. Salvador Miranda Colín** por su calidad humana y sus valiosas sugerencias en la revisión de mi tesis.

Al **Dr. J. Jesús García Zavala** por su amable participación y cordialidad en mi examen de candidatura pre-doctoral.

Por el apoyo brindado durante la fase de campo y gabinete, agradezco, a los dos grupos de trabajadores de los **Programas de Mejoramiento Genético en Maíz (INIFAP)**, a cargo del Dr. Noel Orlando Gómez Montiel (**Campo Experimental Iguala, Gro.**) y del Dr. Fernando Castillo González del **Colegio de Postgraduados (CP) Campus Montecillo**, Texcoco, estado de México.

A mis profesores (genética y semillas), secretarias (Dalila, Yolanda, Gris, Lucy, Carmen), compañeros y amigos, que de alguna u otra manera contribuyeron en mi formación académica.

DEDICATORIA

A DIOS

Por guiar mis pasos con paciencia y con carácter suficiente para seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida, por sus grandes bendiciones que he recibido día tras día y noche tras noche y por darme a dos grandes personas como padres.

Con profundo respeto a mis Padres:

NARCISO PALEMÓN MATA

LUCIA ALBERTO JÍMENEZ (†)

A **mi esposa** por su comprensión, paciencia y motivación durante mi superación y a **mis hijas**, que ha sido el motivo de mi superación.

Loreto Sotelo Hernández

Brenda Elizabeth Palemón Sotelo

Glenda Selene Palemón Sotelo

Con mucho cariño a mis hermanos: a quienes a pesar de la distancia nos une y nos seguirá uniendo el calor de hermandad por la sangre que llevamos y que en todo momento me han brindado su apoyo incondicional

Enrique, Ana, Severiana, Cristina, Miguel Angel, Angelina, Dulce Yesenia

Medios hermanos: Benita, Alicia y Narciso

C O N T E N I D O

ÍNDICE	PÁGINA
RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL SUMMARY	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	xiii
 CAPÍTULO	
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
 OBJETIVOS	5
HIPÓTESIS	5
LITERATURA CITADA	6
 II. APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ EN ALTITUDES INTERMEDIAS DEL ESTADO DE GUERRERO	8
 RESUMEN	8
SUMMARY	9
2.1. INTRODUCCIÓN	10
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
2.4. CONCLUSIONES	25
2.5. LITERATURA CITADA	26

III. ESTABILIDAD DE CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO	28
RESUMEN	28
SUMMARY	29
3.1. INTRODUCCIÓN	30
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.4. CONCLUSIONES	46
3.5. LITERATURA CITADA	47
IV. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ EN LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO	49
RESUMEN	49
SUMMARY	50
4.1. INTRODUCCIÓN	51
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	53
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.4. CONCLUSIONES	68
4.5. LITERATURA CITADA	69
V. DISCUSION GENERAL	72
VI. CONCLUSIONES GENERALES	84
VII. LITERATURA CITADA GENERAL	86
VIII. APÉNDICE	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
2.1. Características climáticas y ubicación de las localidades del estado de Guerrero, donde se condujeron los experimentos de evaluación de campo. Verano - Otoño 2004 a 2008	13
2.2. Análisis de varianza combinado a través de 16 localidades del estado de Guerrero, en cinco años para rendimiento de grano. Verano - Otoño 2004 a 2008	18
2.3. Rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) en promedio de 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008	21
2.4. Promedio de 16 localidades del estado de Guerrero, para rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$, de los progenitores hembra, macho, cruza, heterosis, en % y en $t\ ha^{-1}$, y heterobeltiosis. Verano - Otoño 2004 a 2008	23
3.1 Características climáticas y ubicación de las localidades de evaluación en campo del estado de Guerrero, México. Ciclos Verano - Otoño 2004 a 2008	33
3.2. Rendimiento promedio ($t\ ha^{-1}$) de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes con altitudes intermedias en el estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008	37
3.3. Análisis de varianza para la estimación de los parámetros de estabilidad de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008	38
3.4. Rendimiento promedio (primera línea) y parámetros de estabilidad (segunda línea) de 19 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008	40
3.5. Análisis de varianza AMMI para 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008	41
4.1. Características climáticas y ubicación de las localidades del estado de Guerrero, donde se condujeron las evaluaciones de campo. Verano -	

Otoño 2009	54
4.2. Cuadrados medios de seis caracteres de la evaluación de cruzas intervarietales, progenitores y testigos en altitudes intermedias del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	59
4.3. Comparación de medias de seis caracteres medidos en 18 variedades evaluadas en dos localidades del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	62
4.4. Rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de cruzamientos, aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	65
4.5. Rendimiento de grano en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) de los progenitores hembra, macho, cruzas y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
3.1. Representación gráfica del CP1 en función del rendimiento ($t\ ha^{-1}$) promedio de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero durante el período Verano - Otoño 2004 a 2008	43
3.2. Representación gráfica del CP1 y CP2 de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero durante el período Verano - Otoño 2004 a 2008	44

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
1a. Días a floración masculina (DFM) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	92
2a. Días a floración femenina (DFF) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	92
3a. Altura de planta (ADP, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	93
4a. Altura de mazorca (ADMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	93
5a. Calificación de planta (CPI) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	94
6a. Acame (ACM, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	94
7a. Calificación de mazorca (CMz) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	95
8a. Número de mazorcas podridas (NMzP, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	95
9a. Número de mazorcas sanas (NMzS, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	96

10a.	Peso de mazorca (PDMz, g) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	96
11a.	Peso de olote (PDO, g) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	97
12a.	Longitud de mazorca (LDMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	97
13a.	Diámetro de mazorca (DDMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	98
14a.	Número de hileras por mazorca (NHXMz) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009	98
1b.	Días a floración masculina (DFM) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.	99
2b.	Días a floración femenina (DFF) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.	99
3b.	Altura de planta (ADP, cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	100
4b.	Altura de mazorca (ADMz, cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.	100
5b.	Calificación de planta (CPl) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	101
6b.	Acame (ACM) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	101
7b.	Calificación de mazorca (CMz) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.	102
8b.	Número de mazorcas podridas (NMzP) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano -	

Otoño 2009	102
9b. Número de mazorcas sanas (NMzS) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.	103
10b. Peso de mazorca (g) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	103
11b. Peso de olote (g) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	104
12b. Longitud de mazorca (cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	104
13b. Diámetro de mazorca (cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	105
14b. Número de hileras por mazorca (NHXMz) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009	105

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal componente de la alimentación en México, con variantes en el uso del grano, asociadas con los tipos de maíz dentro y entre regiones. La selección practicada por el hombre en el maíz a través de años y diversos ambientes, ha generado la gran diversidad genética de cultivares que ha sido clasificada en razas y sub-razas (Sánchez *et al.*, 2000). Más del 75 % de la superficie de maíz cultivada en México se siembra con poblaciones nativas (Castillo, 1994).

En el estado de Guerrero ocurre lo mismo, ya que el 90 % de la superficie es sembrada con poblaciones nativas específicas a cada región. La orografía del estado de Guerrero se distingue por su gran heterogeneidad la cual da lugar a múltiples nichos agroecológicos, en los cuales se ha dificultado poner a disposición de los agricultores variedades mejoradas comerciales específicas; por esta razón, el agricultor siembra semilla de poblaciones nativas locales y cuando dispone de semilla comercial, porque desconoce su grado de adaptación a estos ambientes. No obstante, las compañías privadas han introducido híbridos con un comportamiento agronómicamente aceptable en algunas áreas y en años específicos; sin embargo, presentan inestabilidad a través de años, debido a la gran variación ambiental que se presenta entre años y localidades.

Entre estas áreas productoras de maíz se encuentran las regiones de altitud intermedia (1200 a 1700 m), donde las variedades de maíz con algún nivel de mejoramiento pudieran adaptarse y adoptarse, principalmente en pequeños valles y tierras de lomeríos ligeros, para cubrir una superficie aproximadamente de 105,500 hectáreas; en tanto que, en lomeríos con mayor pendiente y suelos delgados la mejor opción sigue siendo el uso de las poblaciones nativas.

Por otra parte, para abordar la problemática que existe de carencia de variedades de maíz en las regiones semicálidas del estado de Guerrero, fue necesario recurrir a los conceptos de la

diversidad genética, parámetros genéticos y parámetros de estabilidad. De esta manera, muchos investigadores de maíz, han estimado la aptitud combinatoria general (ACG) de las variedades y los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas en diferentes grupos poblacionales, para determinar el origen de la heterosis, identificar genotipos sobresalientes y proponer estrategias de mejoramiento genético apropiadas (Gardner y Eberhart, 1966).

En el cruzamiento de poblaciones de maíz genéticamente divergentes (Moll *et al.*, 1962; Gómez *et al.*, 1988) indican que es posible detectar cruzas con alto potencial de rendimiento, aplicando un esquema dialélico de apareamiento para determinar tendencias de respuestas heteróticas (Comstock y Robinson, 1948; Moll *et al.*, 1962; Balderrama *et al.*, 1997); al mismo tiempo se podría conocer las poblaciones con mejor respuesta en sus cruzamientos (Sprague y Tatum, 1942; Márquez, 1988). Por otra parte, el conocimiento de la magnitud de la variación y de las relaciones entre los efectos de ACG y de ACE, permite al fitomejorador, determinar el método de mejoramiento idóneo para cada población.

Debido al fenómeno de la heterosis el que el híbrido resultante del cruzamiento de dos variedades, es superior al promedio de sus progenitores en crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor en general; y la magnitud de la heterosis está en función de la divergencia genética entre los progenitores (Moll *et al.*, 1962; Gómez *et al.*, 1988; Goodman *et al.*, 2000). La heterosis resulta de la adición e interacción de un gran número de factores genéticos, aportados por los progenitores, que son reunidos e integrados en el híbrido resultante. La generación F_1 exhibe la heterosis con mayor intensidad, en tanto que la generación F_2 es mucho más variable y al segregar reduce su expresión, porque los individuos de esta población no presentan un genotipo único. En ausencia de selección, el efecto de heterosis desaparece hasta que la generación siguiente no difiera de la anterior (De la Loma, 1982).

Además de los efectos genéticos y la heterosis, se puede evaluar en el material genético la estabilidad e interacción de las variedades con el ambiente, aplicando por ejemplo, los parámetros de estabilidad (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966) y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Gauch y Zobel, 1988); adicionalmente, se considera importante que en la valoración agronómica en las cruzas intervarietales se consideren varios atributos de manera integral para elegir una o dos como las más adecuadas para uso comercial.

Los programas de mejoramiento genético de maíz, se han orientado a desarrollar variedades de alto potencial de rendimiento; sin embargo, es frecuente que durante el proceso de mejoramiento se preste poca atención a la amplitud de la diversidad genética. En particular, la diversidad genética de maíz en el estado de Guerrero es amplia y ha sido poco aprovechada en programas formales de mejoramiento genético para fijar características asociadas con la rusticidad, la tolerancia a enfermedades y el potencial de rendimiento (Castillo y Goodman, 1989).

Por otro lado, para la selección de variedades superiores en rendimiento de grano es recomendable conocer su potencial productivo y comportamiento agronómico valorado en distintas condiciones agroclimáticas, definidos por clima, suelo y manejo agronómico por los agricultores (Eberhart y Russell 1966).

Acorde a las características agroecológicas y socioeconómicas que presentan las regiones intermedias semicálidas de Guerrero, una variedad de buenas características genéticas y agronómicas con adaptación a una amplia gama de ambientes de la región, sería una mejor alternativa comercial más económica que un híbrido convencional.

Para obtener variedades mejoradas adaptadas específicamente a las regiones semicálidas de Guerrero, el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Iguala, Guerrero, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP),

ha venido trabajando sobre el aprovechamiento de poblaciones nativas de origen subtropical *per se* o en combinación con maíces mejorados desde 1985. Paralelamente, en el Campo Experimental de Montecillo, Estado de México, del Colegio de Postgraduados (CP), se inició un proceso de adaptación por selección a los Valles Altos de México (2250 m altitud) en 1991 en siete variedades tropicales.

Ambos grupos de poblaciones se evaluaron en el ciclo Invierno-Primavera de 2003 en el Campo Experimental Iguala, Gro; observándose que las variedades tropicales seleccionadas en Valles Altos aún mostraban adaptación y características agronómicas deseables de altura de planta y mazorca, sanidad de planta y mazorca, y rendimiento de grano.

Con la perspectiva de que las poblaciones tropicales seleccionadas para adaptación en altitud de 2250 m pudieran responder favorablemente en altitudes intermedias; y que estas combinadas con poblaciones mejorados con germoplasma de esta región pudieran generar cruza intervarietales con buena respuesta heterótica.

Se generaron cruza intervarietales en un esquema factorial, las cuales fueron evaluadas en 16 ambientes, junto con la variedad local del agricultor que sirvió como testigo, para detectar aquellas con mayor potencial productivo, estabilidad, consistencia a través de ambientes y con mejores características agronómicas, que pudieran superar a las poblaciones nativas de las regiones intermedias de Guerrero.

Acorde con estos antecedentes, se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis, los resultados y discusión del presente trabajo de investigación se desarrolla en tres capítulos que más adelante se presentan.

1.1. OBJETIVOS

- Generar cruzas intervarietales para las regiones semicálidas del estado de Guerrero, usando germoplasma tropical y subtropical.
- Estimar los efectos de aptitud combinatoria y la heterosis en diferentes localidades y años.
- Evaluar el comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de los cruzamientos y poblaciones progenitoras, por su estabilidad e interacción con los ambientes de evaluación de las regiones semicálidas del estado de Guerrero.

1.2. HIPÓTESIS

- Las poblaciones genéticamente divergentes producirán cruzas intervarietales con alto potencial productivo y superarán a sus progenitores en rendimiento de grano y otras características agronómicas.
- Al menos dos progenitores exhibirán efectos de aptitud combinatoria relevante; y entre sus cruzas intervarietales.
- Existen variedades y cruzas intervarietales estables y consistentes a través de ambientes de evaluación de las regiones semicálidas del estado de Guerrero.

LITERATURA CITADA

- Balderrama C., S., J. A. Mejía C., F. Castillo G., y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valle altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147.
- Castillo G., F y M. M. Goodman. 1989. Agronomic evaluation of Latin American maize accessions. *Crop Sci.* 29: 853-861.
- Castillo G., F. 1994. Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. In: Memoria del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Monterrey N. L., México. pp. 78-98.
- Comstock, R., and H. Robinson. 1948. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- De la Loma J., L. 1982. *Genética General y Aplicada*. 3ª edición UTHEA. México, D. F. 752 p.
- Eberhart, S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Finlay, K. W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Gardner, C. O., and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety crosses diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Gauch, H., and R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79: 753-761.
- Gómez M., N. O., R. Valdivia B., y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(2): 103-120.

- Goodman, M. M., J. Moreno, F. Castillo G., R. N. Holley., and M. L. Carson. 2000. Using tropical maize germplasm for temperate breeding. *Maydica* 45: 221-234.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGT. México. 563 p.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety of maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1): 43-59.
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34(10): 923-932.

II. APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ EN ALTITUDES INTERMEDIAS DEL ESTADO DE GUERRERO

RESUMEN

El estado de Guerrero está constituido por muchos nichos agroecológicos, donde es posible adaptar una o varias cruzas intervarietales de maíz como alternativa para los agricultores con el fin de mejorar su producción de grano. Se evaluaron siete poblaciones de maíz, de las cuales cuatro son de origen tropical que habían sido seleccionadas por al menos 10 generaciones para adaptación a valles altos y tres de clima subtropical, 12 cruzas simples, y seis testigos, todos en un diseño experimental látice triple 5 x 5, en los ciclos de Verano-Otoño de 2004 a 2008, en 16 ambientes de altitud intermedia. El propósito fue estudiar el comportamiento de las poblaciones progenitoras y detectar al menos una craza intervarietal con mejor valor genético, valorado por su potencial de rendimiento. En el análisis global de los tratamientos se detectaron diferencias altamente significativas para rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$). Las poblaciones subtropicales *per se* fueron en general superiores a las tropicales adaptadas a Valles Altos, aunque en Iguala, estado de Guerrero, la relación se invirtió. Dos poblaciones tropicales presentaron aptitud combinatoria general superior significativa, mientras que las poblaciones subtropicales fueron semejantes. Las cruzas intervarietales que mostraron alto rendimiento y heterosis aceptable fueron aquellas que tuvieron al menos uno de sus progenitores de alta ACG y sus efectos de ACE resultaron positivos.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones tropicales y subtropicales, rendimiento de grano.

COMBINING ABILITY AND HETEROSIS IN INTERVARIETAL CROSSES OF MAIZE FOR INTERMEDIATE ALTITUDES OF THE STATE OF GUERRERO

SUMMARY

In the state of Guerrero, México, there are many agroecological niches, where it is possible to adapt one or several intervarietal crosses of maize as an alternative for the local farmers in order to improve their grain production. Seven maize populations, four of tropical origin that were selected for 10 generations to adapt them to high valleys and three of subtropical climate, plus 12 simple crosses, and six checks, were evaluated in a triple lattice 5 x 5 experimental design, in the Summer-Autumn season from 2004 to 2008, in 16 environments of intermediate altitude. The purpose of this work was to study the performance of the parent populations and to detect at least one intervarietal cross with the better genetic value, determined by its yield potential. In the combined analysis of the entries, it was detected highly significant differences for grain yield ($t\ ha^{-1}$). Subtropical populations *per se* generally were superior to the adapted tropical ones to High Valleys, although in Iguala, state of Guerrero, the relationship was the opposite. Two tropical populations presented significant general combining ability, whereas the subtropical populations were similar. The intervarietal crosses that showed high yield and acceptable heterosis were those that had at least one of their parents having high GCA and their effect of SCA were positive.

Key words: *Zea mays* L., tropical and subtropical populations, grain yield.

2.1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal componente de la alimentación en México, con variantes de uso de grano asociada con los tipos de maíz dentro y entre regiones. Más del 75 % de la superficie de maíz cultivada en México ocupa poblaciones nativas (criollos), como ocurre en el estado de Guerrero donde se siembran poblaciones nativas específicas por región. En altitudes alrededor de 1600 m los maíces mejorados llegan a adaptarse, principalmente en los pequeños valles y lomeríos; en cambio, en suelos delgados la mejor opción son las poblaciones nativas.

En Guerrero se encuentra un gran número de nichos agroecológicos donde los agricultores no disponen de maíces mejorados comerciales específicos; una de estas áreas es la región de la Montaña. En el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Iguala, Guerrero, del INIFAP, se trabaja desde 1990 con poblaciones nativas de origen subtropical (\pm 1600 m de altitud) *per se* o en selección a partir de cruzamientos intervarietales. Paralelamente, en el campo experimental de Montecillo, Estado de México, del Colegio de Postgraduados (CP), se inició en 1991 un proceso de selección de algunas variedades o poblaciones tropicales para adaptación a Valles Altos (2250 m altitud). Ambos grupos de poblaciones se evaluaron en el ciclo Invierno-Primavera de 2003 en el Campo Experimental Iguala, donde mostraron niveles favorables de altura de planta, altura de mazorca, sanidad de planta y mazorca, y rendimiento de grano. Con base en estos dos grupos varietales, se planeó generar cruza intervarietales en arreglo factorial con la perspectiva de detectar aquéllas que se adaptaran y produjeran mejor calidad de planta y rendimiento de grano, que los maíces nativos de las regiones intermedias de la Montaña de Guerrero (1550 m altitud).

Se consideró que al combinar poblaciones de maíz genéticamente divergentes (Moll *et al.*, 1962; Gómez *et al.*, 1988) se podrían detectar cruza con alto potencial de rendimiento. Se diseñó

un esquema factorial de apareamiento para determinar respuestas heteróticas (Comstock y Robinson, 1948), identificar cruza intervarietales de alto rendimiento de grano por su heterosis (Moll *et al.*, 1962; Jugenheimer, 1990; Balderrama *et al.*, 1997), así como a las poblaciones progenitoras de mejor respuesta en sus cruzamientos (Sprague y Tatum, 1942; Márquez, 1988), que se adapten a la región semicálida de Guerrero.

La cruza intervarietal podría tener buena adaptación en una amplia gama de regiones intermedias de la Montaña, y podría ser una alternativa comercial más barata que un híbrido convencional, y también tener mejores características agronómicas que las poblaciones nativas de la región. El objetivo de esta investigación fue identificar al menos una cruza intervarietal con buen potencial de rendimiento en diferentes localidades y años de las regiones semicalidas del estado de Guerrero.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético estuvo conformado por dos grupos de variedades. El primero con cuatro variedades tropicales sometidas de 1991 a 2002 a un proceso de selección para adaptación en el Campo Experimental Montecillo, CP, donde prevalecen condiciones de clima templado.

Las variedades son: VS-521, una variedad sintética obtenida por selección del compuesto V, integrado por 20 familias de hermanos completos (FHC) del Costeño Estabilizado III; VS-529, formada por recombinación de siete líneas derivadas de las variedades VS-521 y V-524; SINT-3-HE, una variedad sintética experimental integrada con ocho líneas de hoja erecta; HEI-1, un híbrido experimental progenitor hembra del híbrido H-516, que se llevó a generaciones avanzadas de recombinación para su estabilización genética. Las cuatro poblaciones se usaron como progenitores femeninos en los cruzamientos.

El segundo grupo de progenitores lo integraron tres variedades mejoradas, adaptadas específicamente a las regiones montañosas de Guerrero: 1) CIST (Complejo Interracial Subtropical), formada con germoplasma de las razas Pepitilla, Tuxpeño, Celaya y Cónico, y en ella se aplicó selección recurrente durante tres ciclos; 2) VE-1, obtenida del cruzamiento de V-531 con un maíz nativo de tipo semi-Ancho; 3) VE-3, obtenida del cruzamiento de una variedad experimental tropical resistente a sequía (población integrada con germoplasma Tuxpeño, ETO, Cristalino del Caribe y Costeño Tropical) con un maíz Ancho del municipio de Quechultenango, Gro., retrocruzado hacia el criollo (Gómez *et al.*, 1996). CIST, VE-1 y VE-3 se usaron como progenitores masculinos.

Localidades

Las actividades de campo se desarrollaron en dos etapas. Primero se generaron las cruzas intervarietales en cada ciclo agrícola de Invierno-Primavera 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 en el Campo Experimental Iguala, ubicado a 17° 52' 54'' N y 98° 45' 25'' O con altitud de 750 m, clima *Awo*, con una precipitación pluvial media anual de 977 mm (Cuadro 2.1). La segunda etapa fue evaluar las cruzas intervarietales, los progenitores y los testigos locales del productor cooperante.

Cuadro 2.1. Características climáticas y ubicación de las localidades del estado de Guerrero, donde se condujeron los experimentos de evaluación de campo. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Localidades ^o	Clima	Altitud (m)	Latitud N	Longitud O	Precipitación (mm)
Iguala	<i>Aw₀ (w)(i')g</i>	750	17° 52' 54''	99° 09' 55''	977
Acatlán	<i>(A) Cb (w₀) (w) (i') gw''</i>	1296	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Santa Ana	<i>(A) Cb (w₀) (w) (i') gw''</i>	1336	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Olinalá	<i>Aw₁ (w) (i') g</i>	1535	17° 48' 15''	98° 45' 53''	1065
Teloloapan	<i>A (C) w₂ (w) ig</i>	1521	18° 21' 16''	99° 51' 58''	1231
Ahuacatitlán	<i>A (C) w₂ (w) ig</i>	1620	18° 21' 30''	99° 48' 47''	1231

^oIncluye localidades y años de prueba: Iguala 2007; Acatlán 2004; Santa Ana 2005-2006; Olinalá 2004-2007; Teloloapan 2004-2008; Ahuacatitlán: 2005-2007. Fuente: García, 1988.

En cada localidad y año de evaluación se incluyeron los 12 cruzamientos, los siete progenitores y la población nativa (criollo) de cada agricultor cooperante. Todos los experimentos se condujeron en condiciones de temporal y bajo el manejo de los agricultores cooperantes.

Diseño experimental y manejo agronómico

Se usó el diseño experimental látice triple 5 x 5, que incluyó 12 cruzas intervarietales, los siete progenitores y 6 testigos; sin embargo, para uniformizar la información se consideró la información de los 19 materiales experimentales más el criollo local, y se analizó como bloques completos al azar. La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de largo y 85 cm de ancho. Se fertilizó con la fórmula 90N-60P-00K; el control de malezas y plagas se efectuó con base en las recomendaciones del INIFAP. La información sobre rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) ajustado al 12 % de humedad se analizó para los cinco años y 16 localidades.

Análisis estadístico

Se hizo la partición de la información de acuerdo a la agrupación por afinidad de las poblaciones, y el siguiente modelo estadístico para el arreglo factorial de cruzamientos: $Y_{ijklm} = \mu + A_i + L(A)_{ij} + R(AL)_{ijk} + M_l + H_m + (MH)_{lm} + (MxA)_{il} + (HxA)_{im} + (MH)x(A)_{ilm} + (MxL(A))_{ijl} + (HxL(A))_{ijm} + (MHxL(A))_{ijlm} + E_{ijklm}$; donde: Y_{ijklm} = rendimiento observado para el cruzamiento del macho l , con la hembra m en la k - ésima repetición del experimento en el i - ésimo año, en la j - ésima localidad; μ = promedio de todas las unidades experimentales; A_i = efecto de año i ; $L(A)_{ij}$ = efecto de la j - ésima localidad anidada en el i - ésimo año; $R(AL)_{ijk}$ = efecto de la k - ésima repetición anidada en la j - ésima localidad y el i - ésimo año; M_l = efecto del l - ésimo macho, (ACG ♂); H_m = efecto de la m - ésima hembra (ACG ♀); $(MH)_{lm}$ = efecto de interacción del macho l con la hembra m (ACE); $(MxA)_{il}$ = efecto de interacción del año i con la ACG de del macho l ; $(HxA)_{im}$ = efecto de interacción del año i con la ACG de la hembra m ; $(MH)x(A)_{ilm}$ = efecto de interacción del año i por la ACE macho por hembra lm ; $MxL(A)_{ijl}$ = efecto de interacción de ACG de macho con la localidad j anidado en el año i ; $HxL(A)_{ijm}$ = efecto de interacción de la ACG de hembra m

con la localidad j anidado en el año i ; $(MH \times L(A))_{ijklm}$ = efecto de interacción de la ACE de la cruce lxm por la localidad j anidada en el año i ; E_{ijklm} = efecto aleatorio de la unidad experimental $ijklm$. Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

Modelo genético

Con el diseño factorial o diseño 2 de Carolina del Norte se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de los progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruces (Comstock y Robinson, 1948; Comstock y Robinson, 1952).

Heterosis

La estimación de la heterosis de los cruzamientos intervarietales se hizo con base en el progenitor medio de la siguiente forma: $H_{ij} = [(F_{ij}) - (PM_i + PM_j)/2] / [(PM_i + PM_j)/2] \times 100$; donde H_{ij} = heterosis; F_{ij} = media de la primera generación de la cruce entre los dos progenitores; MP_i = media del progenitor hembra; MP_j = media del progenitor macho.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado de localidades

El análisis de varianza combinado de 16 localidades en cinco años de evaluación de las cruzas y sus progenitores generó 30 fuentes de variación (Cuadro 2.2). De éstas, el 76.67 % mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) y el 23.33 % restante no mostraron significancia ($p > 0.05$). Se puede observar que años, localidades anidadas en años, tratamientos, la interacción tratamientos x años y los tratamientos x localidades anidadas en años, mostraron diferencias altamente significativas para rendimiento de grano. Sin embargo, al descomponer estas tres últimas fuentes de variación mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) y no significativas.

En la partición de los tratamientos en grupos y tratamientos anidados en grupos, en este último se encontraron diferencias altamente significativas en progenitores y cruzas. Sin embargo, al descomponer a los progenitores en hembras y machos, se observó que sólo hubo diferencias altamente significativas entre hembras, no así entre los progenitores machos, lo cual indica que las poblaciones subtropicales manifiestan comportamiento estadísticamente semejante. Al descomponer las cruzas en: aptitud combinatoria general de hembras (ACG ♀) se presentaron diferencias altamente significativas, mientras que la aptitud combinatoria general de machos (ACG ♂) y la aptitud combinatoria específica interacción de hembras x machos (ACE) no revelaron significancia estadística (Cuadro 2.2).

Las interacciones significativas con años y localidades se atribuye a que existen respuestas diferenciales de la diversidad genética entre las poblaciones y sus cruzas en este estudio, a las relativas diferentes condiciones climáticas y edáficas de las localidades donde se establecieron los cruzamientos; estos resultados concuerdan con los encontrados por Vergara *et al.* (2005).

Dado que los años fueron diferentes, permitieron diferenciar a los tratamientos y a la mayoría de las interacciones de manera significativa, excepto a interacciones como la aptitud combinatoria general de machos (ACG ♂) por años, la interacción de hembras por machos (ACE) por años, la interacción de machos por localidades anidadas en años y la interacción de la aptitud combinatoria general de hembras (ACG ♀) por localidades anidadas en años. La significancia estadística en los resultados indica que el comportamiento observado entre los materiales genéticos, se atribuye a que los progenitores hembra difieren en su origen genético (Gómez *et al.*, 1988), es decir, poseen diferente germoplasma y esto se relaciona con adaptación climática; mientras que los progenitores macho presentan semejanza.

Adicionalmente, se puede mencionar que la expresión del material genético y la variación entre ellos respondieron a las condiciones diferenciales de adversidad que se presentaron en las localidades y años de evaluación. De tal manera que la aptitud combinatoria general de los progenitores hembra presentó diferencias estadísticas, mientras que la aptitud combinatoria general de los machos fue homogénea; esta tendencia se mantuvo para las interacciones en años y ambientes (Cuadro 2.2). Estos resultados sugieren que existe la posibilidad de obtener cruzas que se adapten y expresen su máximo potencial de rendimiento en un amplio número de ambientes.

Poblaciones progenitoras *per se*

En la comparación de medias por localidad (datos no mostrados), el comportamiento *per se* de los progenitores masculinos y femeninos por localidad y a través de localidades se encontró variación en rendimiento de grano; algo similar ocurrió con el testigo local con la aclaración que éste fue la semilla del agricultor en cada experimento.

Cuadro 2.2. Análisis de varianza combinado a través de 16 localidades del estado de Guerrero, en cinco años para rendimiento de grano. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc
Años	4	70.05	17.51	11.40**
Localidades / Años	11	1158.55	105.32	68.55**
Repeticiones / Localidades x Años	32	49.16	1.54	
Tratamientos	19	213.56	11.24	20.04**
Grupos	3	166.62	55.54	99.03**
Tratamientos / Grupos	16	36.06	2.25	4.02**
Progenitores	5	14.51	2.90	5.17**
Hembras	3	12.84	4.28	7.63**
Machos	2	1.67	0.83	1.49
Cruzas	11	16.26	1.48	2.64**
Hembras (ACG ♀)	3	9.02	3.01	5.36**
Machos (ACG ♂)	2	2.54	1.27	2.26
Hembras x Machos (ACE)	6	6.79	1.13	2.02
Tratamientos x Años	76	132.23	1.74	3.10**
Grupos x Años	12	40.71	3.39	6.05**
Tratamientos / Grupos x Años	64	91.52	1.43	2.55**
Hembras x Años	12	20.54	1.71	3.05**
Machos x Años	8	19.50	2.44	4.35**
Cruzas x Años	44	46.45	1.06	1.88**
ACG ♀ x Años	12	25.56	2.13	3.80**
ACG ♂ x Años	8	7.86	0.98	1.75
ACE x Años	24	18.05	0.75	1.34
Tratamientos x Localidades / Años	209	259.58	1.24	2.21**
Grupos x Localidades / Años	33	97.00	2.94	5.24**
Tratamientos / Grupos x Localidades / Años	176	162.57	0.92	1.65**
Hembras x Localidades / Años	33	34.96	1.06	1.89**
Machos x Localidades / Años	22	13.37	0.61	1.08
Cruzas x Localidades / Años	121	123.78	1.02	1.82**
ACG ♀ x Localidades / Años	33	25.42	0.77	1.37
ACG ♂ x Localidades / Años	22	27.93	1.27	2.26**
ACE x Localidades / Años	66	60.90	0.92	1.65**
Error	608	341.00	0.56	
Total	959	2224.12		

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; (ACG ♂): aptitud combinatoria general de machos; (ACG ♀): aptitud combinatoria general de hembras; ACE: aptitud combinatoria específica; **: significancia ($p \leq 0.01$).

De manera general se puede destacar que el comportamiento promedio *per se* del grupo de progenitores masculinos (subtropicales) fue 16 % superior al de progenitores femeninos (tropicales); esta relación fue consistente en general, excepto en Olinalá e Iguala 2007, donde rindieron menos los progenitores masculinos.

El comportamiento *per se* de los progenitores masculinos en promedio de las 16 localidades fue estadísticamente homogéneo, mientras que entre los progenitores femeninos hubo diferencias significativas. El testigo (criollo local) fue superior con respecto al comportamiento *per se* promedio de los progenitores masculinos en siete localidades; al compararse los promedios de las hembras *per se* por localidad, el testigo local fue superior en 12 localidades.

Al comparar medias de cada localidad y de cada crusa en particular con respecto al comportamiento promedio del testigo local, se encontraron cruzas con rendimiento promedio inferior al del criollo regional; así como cruzas intervarietales que estadísticamente no fueron diferentes al testigo. No obstante, se puede destacar que hubo cruzas que superaron estadísticamente en cada localidad al criollo local, ejemplo: SINT-3-HE x VE-1 (Olinalá 2004); VS-521 x VE-1 (Teloloapan 2004); VS-529 x CIST (Ahuacatlán 2005); SINT-3-HE x CIST (Olinalá 2006); HEI-1 x CIST (Ahuacatlán 2006); VS-529 x CIST (Olinalá 2007); VS-521 x VE-3 (Iguala 2007), con diferencias que fluctuaron entre 0.884 a 2.965 t ha⁻¹.

El promedio de todos los cruzamientos fue semejante al comportamiento promedio de los criollos locales; al analizar por localidad y año se observa clara superioridad de los cruzamientos en Iguala 2007, lugar donde se ha hecho el manejo generacional de las poblaciones progenitoras; en el resto de los ambientes la semejanza entre el promedio de grupo de cruzas y el criollo local fue persistente. No obstante, la variación entre cruzamientos fue significativa y la heterosis promedio fue 13.4 %, por lo que se consideró conveniente revisar el comportamiento individual por crusa. En la comparación de medias por año se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

dentro y entre años, y se detectaron cruzas intervarietales con buen potencial de rendimiento de grano.

Las cruzas varietales más sobresalientes en cuatro años y en 16 ambientes fueron: VS-529 x CIST, VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3; aunque también hubo cruzas con bajo rendimiento de grano en al menos tres años; por ejemplo, las cruzas VS-521 x CIST y HEI-1 x VE-3. Estas cruzas mostraron bajo rendimiento en el promedio global, mientras que las 10 restantes fueron estadísticamente sobresalientes en rendimiento de grano, las cuales superaron a sus progenitores, aunque estadísticamente no son diferentes al promedio de los testigos locales.

El rendimiento de grano del testigo local (criollo local), superó estadísticamente a la cruz VS-521 x CIST, a los cuatro progenitores hembra y a dos progenitores macho (CIST y VE-1). Estos resultados indican que el comportamiento tanto de las cruzas como el de ambos grupos de progenitores, en cada localidad y año de evaluación, fue relativamente variable, atribuyéndose este comportamiento al origen genético de los progenitores (Gómez *et al.*, 1988; Caballero y Cervantes, 1990; De la Cruz *et al.*, 2003) con los que fueron formados.

Aptitud combinatoria

Con el promedio de las 16 localidades para cada cruz se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). De los machos, la variedad experimental VE-1 fue la que presentó mayor efecto de ACG con una diferencia no significativa de 106 kg ha^{-1} de rendimiento de grano con respecto al CIST; mientras que de las hembras, la VS-529 mostró mayor efecto ACG, junto con SINT-3-HE que superó significativamente, por 0.265 t ha^{-1} , a HEI-1 y a VS-521. Este resultado indica que las poblaciones progenitoras subtropicales fueron semejantes en cuanto a efectos genéticos aditivos;

mientras que entre las poblaciones tropicales VS-529 y SINT-3-HE aportaron, en promedio, mejores cruzamientos por su mejor valor reproductivo (Cuadro 2.3).

Los efectos de interacción de ACE junto con los de ACG pueden explicar el comportamiento de los cruzamientos; para los cruzamientos de VS-529 los efectos de ACE fueron poco relevantes y sobresalieron por los efectos de ACG significativos de ese progenitor. La cruce SINT-3-HE x CIST presentó efecto positivo de ACE y sus progenitores exhibieron efectos de signo opuesto de ACG (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) en promedio de 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Valor ACG (♀)	Efecto ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	6.268 a	6.236 a	6.146 a	6.217 a	0.084
<i>ACE</i>	0.119	-0.018	- 0.101		
VS-521	5.709	6.116 a	6.235 a	6.020	- 0.113
<i>ACE</i>	- 0.243	0.058	0.185		
VS-529	6.221 a	6.294 a	6.324 a	6.280 a	0.147
<i>ACE</i>	0.009	- 0.023	0.014		
HEI-1	6.061 a	6.035 a	5.947	6.014	- 0.118
<i>ACE</i>	0.115	- 0.017	- 0.098		
Valor ACG(♂)	6.065 a	6.170 a	6.163 a	6.133	
<i>Efecto ACG (♂)</i>	- 0.068	0.038	0.030		
DMS (♂) = 0.150		DMS (♀) = 0.173		DMS (Cruzas) = 0.299	

DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

Este resultado concuerda con lo reportado por Caballero y Cervantes (1990), quienes mencionan que al menos un progenitor debe expresar efecto de ACG positiva para que una cruce manifieste potencial de rendimiento de grano relevante; mientras que cuando ambos progenitores presentan efectos positivos de ACG se espera que la cruce presente buen potencial de rendimiento (Reyes *et al.*, 2004) como es el caso de VS-529 x VE-1; a pesar que su efecto de ACE fue irrelevante (- 0.023). Por tanto, este resultado sugiere que no necesariamente el efecto de ACE debe ser positiva para que una cruce exhiba alto rendimiento como lo manifiesta Escorcia *et al.* (2010). En la cruce VS-521 x CIST, los efectos de ACG de ambos progenitores y su efecto de ACE fueron negativos (- 0.243) lo que determinó el menor rendimiento de grano; en contraste, la cruce HEI-1 x CIST mostró efecto positivo (+ 0.115) de ACE y contribución negativa de ACG de los progenitores, la cual en conjunto expresó buen rendimiento de grano.

El análisis de estos resultados indica que al cruzar dos progenitores, la descendencia expresa un efecto de ACE que puede depender del grado de divergencia genética entre ambos progenitores. Por tanto, es importante destacar los efectos aditivos que presentaron los progenitores masculinos y femeninos y los no aditivos de sus interacciones, expresados y observados en cada ambiente. Esto sugiere que existe la posibilidad de seleccionar buenos progenitores para aprovecharlos como patrón heterótico, porque es probable que combinen con otros genotipos y generen buena descendencia dado que existen diferencias entre los progenitores, como lo señala Hallauer (1990).

La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE indica que ambos tipos de acción génica son importantes (Baker, 1978). Sin embargo, para el mejoramiento genético por selección se debe tomar en cuenta a los efectos genéticos aditivos (ACG) como el componente más importante (Vasal *et al.*, 1992), mientras que para la hibridación se debe considerar a los efectos de

dominancia como los expresados en las cruzas (ACE) que muestran buen potencial de rendimiento.

Heterosis

Con la información global obtenida en 16 ambientes para cruzas se estimó la heterosis en porcentaje y en $t\ ha^{-1}$. Hubo diferencias significativas entre cruzas; siete de ellas expresaron su máximo potencial y superaron el rendimiento promedio general ($6.133\ t\ ha^{-1}$) mientras que cinco exhibieron valores inferiores a dicho promedio (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Promedio de 16 localidades del estado de Guerrero, para rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$, de los progenitores hembra, macho, cruzas, heterosis, en % y en $t\ ha^{-1}$, y heterobeltiosis. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis		HB
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	($t\ ha^{-1}$)	(%)
SINT-3-HE	CIST	5.304	5.792	6.268	13.5	0.720	8.2
VS-521	CIST	5.251	5.792	5.709	2.3	0.188	-1.4
VS-529	CIST	5.118	5.792	6.221	14.4	0.766	7.4
HEI-1	CIST	4.438	5.792	6.061	18.6	0.946	4.6
SINT-3-HE	VE-1	5.304	5.786	6.236	15.2	0.691	7.8
VS-521	VE-1	5.251	5.786	6.116	10.1	0.598	5.7
VS-529	VE-1	5.118	5.786	6.294	15.5	0.842	8.8
HEI-1	VE-1	4.438	5.786	6.035	18.5	0.923	4.3
SINT-3-HE	VE-3	5.304	5.933	6.146	9.8	0.528	3.6
VS-521	VE-3	5.251	5.933	6.235	11.3	0.643	5.1
VS-529	VE-3	5.118	5.933	6.324	15.9	0.798	6.6
HEI-1	VE-3	4.438	5.933	5.947	15.4	0.761	0.2
	Media	5.028	5.837	6.133	13.4	0.700	5.1

HB: heterobeltiosis

La heterosis promedio fue 13.4 %, lo que representa superioridad de 0.7 t ha⁻¹ de los cruzamientos, con respecto al promedio de las poblaciones progenitoras. Con respecto a la heterosis para cada cruzamiento, se encontraron valores de 2.3 a 18.6 %; y ocho de las doce cruzas intervarietales superaron la heterosis promedio (13.4 %). Se puede señalar, que las cruzas que mostraron mayor porcentaje de heterosis (HEI-1 x CIST y HEI-1 x VE-1 con 18.6 y 18.5 %), no necesariamente fueron las que presentaron mayor rendimiento de grano (6.061 y 6.035 t ha⁻¹), como lo reporta Escorcía *et al.* (2010), pues el porcentaje está influido por el bajo rendimiento de HEI-1. En cambio, hubo cruzas varietales como SINT-3-HE x CIST, SINT-3-HE x VE-1, VS-529 x VE-1, VS-521 x VE.3 y la VS-529 x VE-3, que exhibieron porcentajes moderados de heterosis (13.5, 15.2, 15.5, 11.3 y 15.9 %), pero sus rendimientos (6.268, 6.236, 6.294, 6.235 y 6.324 t ha⁻¹) superaron al promedio general. Este resultado indica que la heterosis está controlada por interacciones dominantes, así como por cierto grado de efectos aditivos. Además, se encontraron cruzas como: HEI-1 x CIST, VS-529 x VE-1 y HEI-1 x VE-1) que aportaron más de 0.140 t ha⁻¹ en rendimiento de grano con respecto al valor promedio (Moll *et al.*, 1962; Jugenheimer, 1990); lo anterior parece indicar que estas cruzas presentan valores altos tanto en porcentajes como en t ha⁻¹ de heterosis, no así para la heterobeltiosis (Cuadro 2.4).

Las cruzas (VS-521 x CIST y HEI-1 x VE-3) presentaron bajo rendimiento de grano, heterosis (5.709 y 5.947 t ha⁻¹; 2.3 y 15.4 %; 0.188 y 0.761 t ha⁻¹); la primera cruza intervarietal mostró valores inferiores a la heterosis en rendimiento promedio (0.700 t ha⁻¹) mientras que para la segunda exhibió lo contrario, es decir, superó dicho promedio. Estos resultados sugieren que probablemente, estos progenitores no sean adecuados para el mejoramiento genético porque al cruzarse manifiestan efectos de ACE negativos. Finalmente, el 50.0 % de las cruzas intervarietales superaron el valor promedio (5.1) de la heterobeltiosis y el resto fueron inferiores a dicho valor.

2.4. CONCLUSIONES

- Las poblaciones progenitoras con germoplasma subtropical presentaron mayor rendimiento que aquellas con germoplasma tropical después de haber sido seleccionados por más de 10 años a 2250 m de altitud.
- Las poblaciones nativas locales presentaron competitividad relevante frente al promedio de los cruzamientos; muy pocos cruzamientos intervarietales lo superaron.
- Se detectaron poblaciones progenitoras con buena Aptitud Combinatoria General y sus cruzas con buena Aptitud Combinatoria Específica, a través de 16 ambientes.
- Se encontraron cruzas intervarietales de alto rendimiento, en la que al menos uno de sus progenitores fue de alta ACG y los efectos de ACE resultaron positivos, heterosis promedio aceptable de 13.4 %.

2.5. LITERATURA CITADA

- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.
- Balderrama C., S., J. A. Mejía C., F. Castillo G., y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valle altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147.
- Caballero H., F., y T. Cervantes S. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 1(2): 43 - 64.
- Comstock, R., and H. Robinson. 1948. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock, R. and H. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. *In: Gowen, J. W.* (ed). *Heterosis*. Hafner Publishing Company. New York, N. Y. pp: 494-516.
- De La Cruz L., L., J. Ron P., J. L. Ramírez D., J. J. Sánchez G., M. Morales R., M. Chuela B., S. A. Hurtado de la P., y S. Mena M. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 1-10.
- Escorcía G., L. N., J. D. Molina G., F. Castillo G., y J. A. Mejía C. 2010. Rendimiento, Heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(3): 271-279.
- Gómez V., A. J., M.A. Avila P., H. Angeles A., C. Díaz E., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. *Pub. Esp.* 16. INIFAP. Toluca, Edo., México. 102 p.
- García M., E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 4ta. Ed. UNAM. México, D. F. 217 p.

- Gómez M., N. O., R. Valdivia B., y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(2): 103-120.
- Hallauer, A. R. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35(1): 1-16.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. R. Piña G. (trad.). Editorial LIMUSA. Cuarta reimpresión. México. 841 p.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGT. México. 563 p.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety of maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Reyes L., D., J. D. Molina G, M. A. Oropeza R., y E. C. Moreno P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1): 49-56.
- SAS. Statistical Analysis System Institute 2002. *The SAS System for Windows*. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34(10): 923-932.
- Vasal, S. K., G. Srinivasan, J. Crossa, and D. L. Beck. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 32: 884-890.
- Vergara A., N., S. A. Rodríguez H., y H. S. Córdova O. 2005. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays* L.) tropical y subtropical. *Agron. Mesoamericana* 16(2): 137-143.

III. ESTABILIDAD DE CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO

RESUMEN

La orografía y agroecología del estado de Guerrero es muy diversa, y en las áreas agrícolas de altitud intermedia (1200 a 1700 m) prácticamente no se siembran variedades mejoradas debido a las condiciones climáticas y edáficas poco favorables, por lo que se dificulta establecer un programa de mejoramiento genético de maíz para cada nicho ecológico del estado. En estas áreas se examinó la estabilidad de 25 variedades de maíz en 16 ambientes, durante cinco ciclos agrícolas de Verano - Otoño del 2004 al 2008, con el propósito de identificar por lo menos una craza intervarietal estable, consistente y con buen potencial de rendimiento en varios ambientes de la región semicálida. La información se analizó de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad y combinando las localidades, encontrándose diferencias significativas entre variedades. Con esta información se realizó el análisis de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell y descrito por Molina; además se aplicó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). De 20 genotipos analizados, que incluyeron un testigo (criollo local del agricultor), dos grupos de progenitores y sus cruza posibles, y un diseño genético factorial 4 x 3, los progenitores masculinos V15 y V16 mostraron estabilidad y consistencia a través de los ambientes; similar comportamiento mostraron las cruza intervarietales: V3, V7 y V9, que además fueron sobresalientes en rendimiento de grano; V11 mostró mayor potencial productivo, buen rendimiento en ambientes desfavorables y consistencia. Las cruza intervarietales V1, V4, V6, V10, la variedad local y los progenitores femeninos V17, V18 y V20, tuvieron buena respuesta en ambientes favorables pero fueron inconsistentes, al ser sensibles a las condiciones desfavorables en los ambientes. El análisis AMMI permitió conocer la contribución de las variedades (9.6 %), ambientes (55.2 %) e interacción variedad por ambiente (17.6 %); también explicó mejor la respuesta compleja de las variedades, detectando las idóneas para cada ambiente. Los dos métodos produjeron resultados semejantes, por lo que es posible seleccionar y separar variedades por su potencial de rendimiento de grano, estabilidad y consistencia en los ambientes usando tanto el uno como el otro.

Palabras clave: *Zea mays* L., variedades tropicales y subtropicales, rendimiento de grano.

STABILITY FOR INTERVARIETAL CROSSES OF MAIZE FOR THE SEMIWARM REGION OF GUERRERO

SUMMARY

The orography and agroecology of the state of Guerrero, Mexico, are very diverse and in the agricultural areas located at intermediate altitude (1200 to 1700 m) the local farmers practically do not use improved varieties due to unfavorable climatic conditions and soil problems. These factors make difficult to establish a program of genetic improvement in maize for each ecological niche in the state. It was studied, in some areas of the region, the stability of 25 varieties of maize in 16 environments, during five agricultural cycles in the Summer - Autumn season from 2004 to 2008, with the purpose of identifying at least one stable intervarietal cross, consistent and with good yield potential in several environments of the semi-warm region. Data was analyzed in a combined statistical analysis for a complete random block design with three replications and also in a single analysis for each location. Results showed significant differences among varieties. With this information, the analysis of stability parameters proposed by Eberhart and Russell and described by Molina was done. In addition, it was applied the model of main additive effects and multiplicative interaction (AMMI). From 20 analyzed genotypes, that included a check (a farmer's landrace), two groups of parents and their possible crosses, and a factorial genetic design 4 x 3, the male parents V15 and V16 showed stability and consistency through the environments; similar performance showed the intervarietal crosses V3, V7 and V9, which also produced high grain yield; V11 showed the highest yield potential as well as a good yield and consistency on unfavorable environments. The intervarietal crosses V1, V4, V6, V10, the farmer's landrace and the female parents V17, V18 and V20, had a good performance in favorable environments, but they were inconsistent due to their sensitivity to unfavorable environmental conditions. The AMMI Analysis allowed to know the contribution of the varieties (9,6%), environments (55,2%) and the interaction variety by environment (17,6%); it also allowed to better explain the complex response of the varieties, and detecting the better ones for each environment. Both methods used here generated similar results, so it is possible to select varieties based on their grain yield potential, stability and consistency in the environments using one of each method.

Key words: *Zea mays* L., tropical and subtropical varieties, grain yield.

3.1. INTRODUCCIÓN

La diversa orografía y agroecología del estado de Guerrero, México, hay existen áreas productoras de maíz (*Zea mays* L.) ubicadas en regiones de altitud intermedia cercana a 1750 m. En estas regiones, que comprende una superficie de 55,500 ha, se distinguen nichos agroecológicos donde los maíces mejorados pueden adaptarse y adoptarse, principalmente en pequeños valles y lomeríos. Dado que en estas áreas agrícolas no hay variedades mejoradas o híbridos generados específicamente para estas regiones, y además se desconoce el grado de adaptación a estos ambientes de las variedades mejoradas disponibles en el mercado, los agricultores usan sus poblaciones nativas. En algunas áreas de la región algunas compañías privadas han introducido híbridos que han mostrado un comportamiento aceptable en un año específico; sin embargo, han mostrado un comportamiento errático a través de años, debido a la gran variación ambiental que se presenta entre años y localidades.

Para atender la demanda de variedades mejoradas específicas para las regiones semicálidas de Guerrero en el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Iguala, Guerrero, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desde la década de 1990 se trabaja en el aprovechamiento de poblaciones nativas tanto *per se* como para fuentes de germoplasma en cruzamientos. Paralelamente, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, se inició la adaptación de siete variedades tropicales a los Valles Altos (2250 m altitud), y se ha acumulado más de 10 años de selección. Estas poblaciones se observaron en el Campo Experimental Iguala, donde mostraron un buen grado de adaptación y características agronómicas deseables. Ambos grupos varietales se utilizaron como progenitores en un esquema de cruzamientos factorial, que se evaluaron en 16 ambientes de 2004 a 2008.

Para la selección de variedades superiores es conveniente evaluar el comportamiento agronómico en distintas condiciones agroclimáticas, para identificar poblaciones con buen potencial genético en ambientes específicos, definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico (Eberhart y Russell 1966); además seleccionar una o más variedades con respuesta favorable a la mayoría de los ambientes (estabilidad). Para valorar la estabilidad e interacción de las variedades de maíz con el ambiente, la metodología de parámetros de estabilidad es una de las más usadas (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966), y se ha propuesto la aplicación del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Gauch y Zobel, 1988). La primera metodología estima el coeficiente de regresión (b_i) y la varianza de las desviaciones de regresión (S_{di}^2), para cada variedad evaluada en varios ambientes; la segunda estructura al análisis de varianza en fuentes de variación debido a ambientes y variedades (efectos principales aditivos) y considera a la interacción variedades por ambiente (efectos multiplicativos) con un análisis de componentes principales. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento de cruzamientos y variedades progenitoras por su potencial de rendimiento así como por su interacción con los ambientes de evaluación, localizados en la región semicálida del estado de Guerrero, mediante los análisis de parámetros de estabilidad y AMMI.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se usaron dos grupos varietales de germoplasma. El primer grupo usado como progenitores femeninos se integró con las variedades VS-521, VS-529, SINT-3-HE y HEI-1, seleccionadas para las condiciones ambientales de los Valles Altos de México, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados (CP) (2240 m altitud), de 1991 a 2002. El segundo grupo, progenitores masculinos, se integró con las variedades mejoradas, adaptadas específicamente a las siguientes regiones montañosas de Guerrero: Complejo interracial subtropical (CIST) y las variedades experimentales VE-1 y VE-3 formadas con el cruzamiento de una variedad tropical con una población nativa de tipo semi-Ancho. Con estos dos grupos de progenitores se formaron los 12 cruzamientos intervarietales. Se evaluaron cruza, progenitores y además se incluyeron cinco testigos comerciales, más la variedad del agricultor cooperante. En adelante se referirá como variedades a las poblaciones progenitoras y sus cruzamientos.

Localidades de evaluación

Las actividades de campo se desarrollaron en dos etapas. En la primera se generaron las cruza intervarietales en los ciclos agrícolas Invierno - Primavera 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008, en el Campo Experimental Iguala y cuyas características geográficas y climáticas se presentan en el Cuadro 3.1.

En la segunda etapa se evaluaron las cruza intervarietales, progenitores y testigos en los ciclos agrícolas Verano-Otoño de 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 en las localidades de Iguala, Acatlán, Santa Ana, Olinalá, Teloloapan y Ahuacatitlán, en el estado de Guerrero (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Características climáticas y ubicación de las localidades de evaluación en campo del estado de Guerrero, México. Ciclos Verano - Otoño 2004 a 2008.

Localidades ^o	Clima	Altitud	Latitud	Longitud	Pp (mm)
		(m)	N	O	
Iguala	<i>Aw₀ (w) (i')g</i>	750	17° 52' 54''	99° 09' 55''	977
Acatlán	<i>(A) Cb (w₀) (w) (i') gw''</i>	1296	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Santa Ana	<i>(A) Cb (w₀) (w) (i') gw''</i>	1336	17° 39' 26''	99° 09' 55''	833
Olinalá	<i>Aw₁ (w) (i') g</i>	1535	17° 48' 15''	98° 45' 53''	1065
Teloloapan	<i>A (C) w₂ (w) ig</i>	1521	18° 21' 16''	99° 51' 58''	1231
Ahuacatlán	<i>A (C) w₂ (w) ig</i>	1620	18° 21' 30''	99° 48' 47''	1231

^o Localidades y años de prueba: Iguala 2007; Acatlán 2004; Santa Ana 2005-2006; Olinalá 2004-2007; Teloloapan 2004-2008; Ahuacatlán 2005-2007; Pp: precipitación pluvial. Fuente: García, 1988

Diseño experimental y manejo agronómico

En un diseño experimental látice triple 5 x 5 se incluyeron 12 cruzas intervarietales, siete progenitores, cinco testigos comerciales y la variedad local del agricultor cooperante. Los experimentos se condujeron en condiciones de temporal bajo el manejo de los agricultores cooperantes.

La unidad experimental fueron dos surcos de 5 m de largo y 85 cm de ancho. Se fertilizó con la fórmula 90N-60P-00K; el control de malezas y plagas se efectuó con base en las recomendaciones del INIFAP. Se calculó el rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) ajustado al 12 % de humedad para los 16 ambientes.

Análisis estadístico

La información por localidad simple se analizó con base en un diseño de bloques completos al azar, considerando sólo 20 variedades: los dos grupos de progenitores, sus cruzas posibles y la variedad del agricultor. En los análisis de regresión se tomó en cuenta los promedios por variedad y por localidad para estimar los parámetros de estabilidad, los coeficientes de regresión (b_i) y las desviaciones de regresión (S_{di}^2) con base en Eberhart y Russell (1966) y Molina (1992).

Para el análisis de estabilidad de cada variedad se utilizó el siguiente modelo estadístico: $Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$; donde, $i = 1, 2, 3, \dots, v$ (variedades); $j = 1, 2, 3, \dots, n$ (ambientes); Y_{ij} = comportamiento de la i - ésima variedad en el j - ésimo ambiente (promedio de repeticiones); μ_i = media de la i - ésima variedad sobre todos los ambientes (promedio de repeticiones y ambientes); β_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i - ésima variedad en los diferentes ambientes; δ_{ij} = desviación de regresión de la i - ésima variedad en el j - ésimo ambiente; $I_j = (\sum Y_{ij} / v) - (\sum Y_{ij} / vn) =$ índice ambiental; es decir, I_j es la diferencia entre la media de todas las variedades en el j - ésimo ambiente menos la media general. La clasificación de las variedades se hizo de acuerdo con la descripción utilizada por Carballo y Márquez (1970) en función de los valores obtenidos de los parámetros b_i y S_{di}^2 .

Además se realizó el análisis con base en el modelo AMMI, propuesto por Gauch y Zobel (1988), el cual involucra componentes principales (ACP) para analizar los efectos no aditivos de interacción variedad por ambiente (Gollob, 1968). El modelo AMMI está conformado por parámetros aditivos y multiplicativos, el modelo es: $Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum B_n t_{in} \delta_{jn} + E_{ij}$; donde Y_{ij} = rendimiento promedio de la i - ésima variedad en el j - ésimo ambiente; μ = efecto de la media general; G_i = efecto de la i -ésima variedad; A_j = efecto del i -ésimo ambiente; $N =$

Corresponde al número de componentes principales retenidos en el modelo; B_n = es el valor singular para cada componente principal; t_{in} = valores en los vectores de las variedades para cada componente principal; δ_{jn} = valores de los vectores de los ambientes para cada componente principal; E_{ij} = es el residuo que corresponde al error experimental. Los análisis se realizaron con el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell

El análisis de varianza combinado para rendimiento de grano mostró diferencias significativas ($p < 0.01$) entre variedades y en la interacción variedades por ambientes. Estos resultados revelan el comportamiento diferencial relativo de las cruzas intervarietales de maíz y de sus progenitores a través de los ambientes involucrados, debido a la respuesta diferencial de las variedades a las condiciones del suelo, clima y precipitación pluvial de los sitios y años de evaluación. El rendimiento promedio en $t\ ha^{-1}$ de las 20 variedades evaluados en cada ambiente, así como los valores de los índices ambientales (I_j), se muestra en el Cuadro 3.2. Se observan las diferencias entre variedades y productividad de las mismas en cada ambiente, reflejándose la importancia de conducir evaluaciones en diferentes localidades y años para observar la respuesta de las variedades a diferentes ambientes (Becker y León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

En el análisis combinado se detectaron diferencias significativas entre cruzamientos y progenitores, y dentro de grupos sólo hubo diferencias significativas para las cruzas intervarietales y los progenitores hembra. Las diferencias entre condiciones ambientales en los 16 ambientes, influyeron de manera relativa en la expresión del potencial de rendimiento de cada variedad en particular en un ambiente específico (Eberhart y Russell, 1966), por lo que el comportamiento no fue el mismo bajo diversas condiciones agroecológicas (Ali *et al.*, 2003). El análisis de varianza, de acuerdo con la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966), descrito por Molina (1992), reveló diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades y ambientes anidados en variedades (Cuadro 3.3). Lo anterior indica la posibilidad de seleccionar variedades con mejor potencial genético y estabilidad en una serie de ambientes o para condiciones específicas, como lo sugieren Eberhart y Russell (1966) y De León *et al.* (2005).

Cuadro 3.2. Rendimiento promedio (t ha⁻¹) de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes con altitudes intermedias en el estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Var	Ambientes																
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	M
V1	5.245	10.270	5.460	6.043	6.375	6.477	6.106	5.778	5.856	7.180	6.053	5.267	4.793	7.618	5.931	5.832	6.268
V2	4.475	8.943	4.911	5.976	6.383	5.817	5.393	5.536	5.339	5.149	6.351	5.914	5.081	4.944	6.170	4.962	5.709
V3	4.939	10.383	4.763	7.119	5.969	5.671	5.724	6.176	6.172	6.174	5.524	6.370	4.839	7.698	6.091	5.919	6.221
V4	3.892	9.568	5.824	5.845	5.832	4.710	5.320	6.667	6.286	6.810	6.262	5.187	5.234	7.544	6.564	5.433	6.061
V5	4.141	12.084	5.107	6.290	5.809	6.417	5.262	6.029	6.371	4.715	6.120	6.746	5.313	6.075	6.427	6.873	6.236
V6	4.718	10.840	5.974	6.453	5.848	6.156	6.789	4.817	5.297	5.926	5.459	7.242	5.286	5.157	6.456	5.440	6.116
V7	4.703	9.803	4.896	6.056	5.807	6.596	6.028	6.358	6.210	6.369	6.528	5.531	5.440	7.434	6.730	6.213	6.294
V8	3.031	10.716	4.837	6.179	5.601	5.542	5.764	6.050	5.558	5.854	5.493	7.173	5.710	6.017	7.007	6.028	6.035
V9	4.122	9.897	5.634	6.115	6.289	6.173	5.502	5.174	5.850	5.657	6.308	7.012	5.295	6.929	6.305	6.075	6.146
V10	5.409	11.079	5.478	5.631	6.289	7.404	6.185	5.183	5.777	5.908	5.267	5.203	5.911	6.709	6.459	5.863	6.235
V11	5.710	9.551	4.312	5.831	5.831	6.392	5.889	6.074	6.392	6.623	5.857	6.856	5.547	6.873	6.672	6.773	6.324
V12	5.112	10.713	4.977	6.252	6.098	4.636	5.463	5.775	5.816	5.731	5.404	5.883	5.314	6.448	5.745	5.789	5.947
V13	4.847	10.358	4.016	5.770	5.949	8.666	6.107	5.323	5.833	6.296	6.076	7.579	2.947	5.683	7.571	6.427	6.216
V14	4.721	8.780	5.828	6.362	6.630	6.037	7.168	5.728	5.845	4.292	5.432	4.819	3.116	5.148	5.244	6.061	5.701
V15	3.522	9.077	5.051	6.298	5.917	5.280	5.282	5.221	6.001	5.070	5.991	6.089	4.637	6.161	5.864	6.093	5.722
V16	3.786	10.156	4.738	5.696	5.374	6.156	5.918	5.887	6.620	5.475	6.765	5.947	4.579	6.080	6.044	5.805	5.939
V17	5.215	9.056	5.155	5.100	4.919	4.890	5.877	4.374	4.009	3.683	3.654	4.472	5.054	6.784	5.890	5.366	5.219
V18	3.053	8.893	3.874	4.914	4.724	5.911	5.920	4.214	3.975	4.652	4.540	5.028	4.896	7.798	5.463	5.471	5.208
V19	3.822	8.107	3.572	5.205	5.148	4.966	6.335	5.603	4.231	3.642	5.527	4.788	4.374	5.554	5.418	5.226	5.095
V20	2.475	7.725	3.756	5.232	4.568	5.373	6.349	4.099	3.271	4.442	3.733	3.744	4.709	5.205	5.144	3.570	4.587
M	4.347	9.800	4.908	5.918	5.768	5.964	5.919	5.503	5.535	5.482	5.617	5.842	4.904	6.393	6.160	5.761	5.864
<i>I_j</i>	-1.517	3.936	-0.956	0.055	-0.096	0.100	0.055	-0.361	-0.329	-0.381	-0.247	-0.021	-0.960	0.529	0.296	-0.103	
DMS	1.720	1.686	1.546	0.978	0.937	1.274	1.330	1.227	1.056	0.870	1.181	0.948	0.828	1.773	0.765	1.000	

V: variedad; A: ambiente; M: media; g_i : efecto genotípico; I_j : índice ambiental; DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

En la identificación y clasificación de las variedades de maíz por su estabilidad, con base en los estimadores de los coeficientes de regresión (b_i) y desviaciones de regresión (S_{di}^2) para las seis categorías propuestas por Carballo y Márquez (1970), al considerar los coeficientes de regresión $b_i > 1.0$; $b_i = 1.0$ y $b_i < 1.0$ y las desviaciones de regresión $S_{di}^2 > 0$; $S_{di}^2 = 0$, se identificaron cinco grupos de los seis posibles (Cuadro 3.4), en la forma siguiente: A) las

variedades V3, V7, V9, V12, V15 y V16 presentaron $b_i = 1.0$ y $S_{di}^2 = 0.0$, es decir son estables y consistentes; las primeras cuatro son cruza intervarietales y los dos últimos progenitores masculinos.

Cuadro 3.3. Análisis de varianza para la estimación de los parámetros de estabilidad de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Fuente de variación	gl	SC	CM
Variedades	19	71.19	3.747**
Ambientes / Variedades	300	540.15	1.800**
Ambientes (lineal)	1	409.54	409.541**
variedades x Ambientes (lineal)	19	10.31	0.543**
Desviaciones conjuntas	280	120.29	0.430**
Error conjunto	608	113.67	0.187

** = altamente significativo; * = Significativo

B) con $b_i = 1.0$ y $S_{di}^2 > 0.0$, con respuestas proporcionales al potencial de los ambientes e inconsistencia, se integró con las variedades V1, V4, V6, V10, V13, V17, V18 y V20, de ellas las cuatro primeras son cruza intervarietales, el quinto es la variedad local y las tres últimas corresponden a progenitores femeninos; C) coeficientes de regresión $b_i < 1.0$ y desviaciones de regresión $S_{di}^2 = 0.0$, los cruzamientos intervarietales V2 y V11 respondieron mejor a los ambientes desfavorables y tuvieron respuestas consistentes; es decir, amortiguaron mejor las condiciones ambientales desfavorables; resultados similares a los reportados por Alcazar y Sierra (1984), aunque ellos trabajaron con otro tipo de material genético y en otros ambientes; D) los

progenitores V14 y V19, presentaron coeficientes de regresión $b_i < 1.0$ y desviaciones de regresión $S_{di}^2 > 0.0$, respondieron mejor en ambientes desfavorables pero fueron inconsistentes; sin embargo, participaron en cruzas intervarietales estables de alto rendimiento de grano, que es lo que se esperaba encontrar y más aún su cruzamiento fue estable.

F) $b_i > 1.0$ y la $S_{di}^2 > 0.0$, en este grupo se ubicaron las variedades V5 y V8, que respondieron bien en ambientes favorables y fueron inconsistentes; ya que su rendimiento tiende a ser bajo en condiciones ambientales críticas y responden diferencialmente en ambientes específicos (Becker y León, 1988; Ali *et al.*, 2003), fenómeno conocido como interacción genotipo por ambiente (Byth, 1981), que dificulta la selección de genotipos de buen potencial genético (Eberhart y Russell 1966). Estas variedades resultaron sensibles a los cambios ambientales pero no significa que no sean útiles, ya que ofrecen la posibilidad de responder mejor en otras condiciones ambientales diferentes a las de este estudio y ser una mejor opción en la explotación comercial como cruzas intervarietales de maíz, combinaciones que mostraron un alto rendimiento de grano.

Entre las cruzas más sobresalientes en rendimiento de grano estuvieron V3 y V7, clasificadas como estables y consistentes; en tanto que V1, V5 y V10, se consideraron como inconsistentes. La variedad V11 se puede considerar como germoplasma interesante por su alto rendimiento de grano, consistencia y buena respuesta en ambientes desfavorables, como las localidades semicálidas del estado de Guerrero. Los progenitores masculinos y femeninos poseen una buena base genética obtenida durante el proceso de selección, ya que generaron cruzas idóneas para responder a condiciones ambientales tanto favorables como adversas (Córdova, 1991).

El análisis general de las cruzas varietales indica que los progenitores masculinos tuvieron mayor influencia, que *per se* presentaron mayor rendimiento que los femeninos porque su origen es de regiones semicálidas (Cuadro 3.4). Los progenitores masculinos VE-1 y VE-3 que fueron

estables, son valiosas como poblaciones segregantes en la selección de individuos sobresalientes para el mejoramiento del rendimiento de grano y mantenimiento de la estabilidad. La contribución de los progenitores femeninos fue aportar heterosis, y las cruzas con VS-529 (V19) y SINT-3-HE (V17) mostraron consistencia en rendimiento y en los parámetros de estabilidad, como lo sugieren Mejía y Molina (2003). Los progenitores hembras y machos se ubicaron en diferentes grupos y notoriamente difirieron en sus parámetros de estabilidad (b_i y S_{di}^2).

Cuadro 3.4. Rendimiento promedio (primera línea) y parámetros de estabilidad (segunda línea) de 19 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			
	CIST	VE-1	VE-3	<i>Per se</i> (♀)
SINT-3-HE	6.268 a	6.236 a	6.146 a	5.219
b_i y S_{di}^2	= 1.0; > 0.0	> 1.0; > 0.0	= 1.0; = 0.0	= 1.0; > 0.0
VS-521	5.709	6.116 a	6.235 a	5.208
b_i y S_{di}^2	< 1.0; = 0.0	= 1.0; > 0.0	= 1.0; > 0.0	= 1.0; > 0.0
VS-529	6.221 a	6.294 a	6.324 a	5.095
b_i y S_{di}^2	= 1.0; = 0.0	= 1.0; = 0.0	< 1.0; = 0.0	< 1.0; > 0.0
HEI-1	6.061 a	6.035 a	5.947	4.587
b_i y S_{di}^2	= 1.0; > 0.0	> 1.0; > 0.0	= 1.0; = 0.0	= 1.0; > 0.0
<i>Per se</i> (♂)	5.701	5.722	5.939	
	< 1.0; > 0.0	= 1.0; = 0.0	= 1.0; = 0.0	
DMS (cruzas) = 0.299				

A: variedad estable y consistente ($b_i = 1.0$; $S_{di}^2 = 0.0$); B: estable pero inconsistente ($b_i = 1.0$; $S_{di}^2 > 0.0$); C: responde mejor en ambientes desfavorables y consistente ($b_i < 1.0$; $S_{di}^2 = 0.0$); D: responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistente ($b_i < 1.0$; $S_{di}^2 > 0.0$); E: responde mejor en buenos ambientes y consistente ($b_i > 1.0$; $S_{di}^2 = 0.0$); F: responde mejor en buenos ambientes e inconsistente ($b_i > 1.0$; $S_{di}^2 > 0.0$); DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

Las variedades locales de los agricultores cooperantes (V13) mostraron respuestas aceptables a sus ambientes porque estuvieron adaptadas a las condiciones ambientales específicas, y en algunos casos lograron estas poblaciones nativas superar a las cruza varietales en rendimiento de grano. La inconsistencia mostrada en ellas, se atribuye a que en cada ambiente de evaluación se utilizó la población nativa del agricultor cooperante, que no fue la misma en todos los ambientes de prueba.

Análisis AMMI

En el análisis de varianza combinado para 20 variedades y 16 ambientes (Cuadro 3.5) hubo diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en todas las fuentes de variación para rendimiento de grano. La significancia de la interacción variedad por ambiente ($I_{V \times A}$) indica que las variedades tuvieron un comportamiento diferencial a los ambientes de prueba.

Cuadro 3.5. Análisis de varianza AMMI para 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2004 a 2008.

Fuente de variación	Gl	SC	CM	% SC	Media	CV (%)
Ambientes (A)	19	1228.60	81.91**	55.24	5.864	13.32
Variedades (V)	15	213.56	11.24**	9.60		
Interacción V x A	285	391.81	1.38**	17.62		
CP1	33	88.61	2.69**	22.62		
CP2	31	69.37	2.24**	17.71		
CP3	29	54.19	1.89**	13.83		
Residual	608	341.00	0.56	15.33		

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; CV (%): coeficiente de variación; CP: Componente principal.

En el análisis AMMI el 9.6 % de la suma de cuadrados total fue atribuida a efectos de las variedades, mientras que los efectos ambientales e interacción genotipo por ambiente representaron 55.24 y 17.62 %.

El análisis de estos resultados indica que al menos una variedad interaccionó con los ambientes, pero también es posible que al menos una variedad sea estable y consistente, como se encontró en el análisis de parámetros de estabilidad. Las variedades V1, V5, V7 y V11 fueron sobresalientes en rendimiento promedio a través de ambientes, mientras que V2 y V12 presentaron los valores más bajos entre los cruzamientos, en forma similar a lo observado con la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966).

El método AMMI permite descomponer la variación para la interacción variedades por ambientes y en el biplot se puede apreciar la dispersión de las variedades en función del rendimiento promedio de las coordenadas del primer componente principal (CP1). Las variedades V5, V13, V14, V17, V18 y V20 presentaron valores absolutos superiores a 0.40 sobre el CP1 (Figura 3.1), y se infiere que estas variedades contribuyeron en mayor grado a la interacción variedades por ambientes ($I_{V \times A}$). Estos mismos fueron detectados en el análisis de parámetros de estabilidad y se clasificaron como inconsistentes.

En el análisis AMMI se identificaron ocho variedades con valor del CP1, menor al valor absoluto 0.20, por lo que estas variedades presentaron efectos pequeños de $I_{V \times A}$ (Crossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002); cinco de ellas (V3, V7, V9, V12 y V15) fueron estables en el análisis de Eberhart y Russell (1966). Las variedades V2, V11 y V10 también mostraron valores bajos para el CP1; las dos primeras se clasificaron como consistentes y buena respuesta en ambientes desfavorables, y la tercera con buena respuesta en todos los ambientes, de manera inconsistente. Estas variedades mostraron rendimientos de 5.709 a 6.324 t ha⁻¹ (Figura 3.1).

En la Figura 3.2 se observa el comportamiento de las variedades y las de mayor interacción con los ambientes en función de las coordenadas del CP1 y CP2. Las variedades V4, V5, V13, V14, V17, V18 y V20 junto con los ambientes A11 (Olinalá 2007), A9 (Olinalá 2005), A4 (Ahuacatitlán 2007) y A13 (Teloloapan 2005) aportaron más a la interacción variedades por ambientes, reforzando el hecho de que las variedades fueron sensibles a los cambios ambientales de los sitios de evaluación.

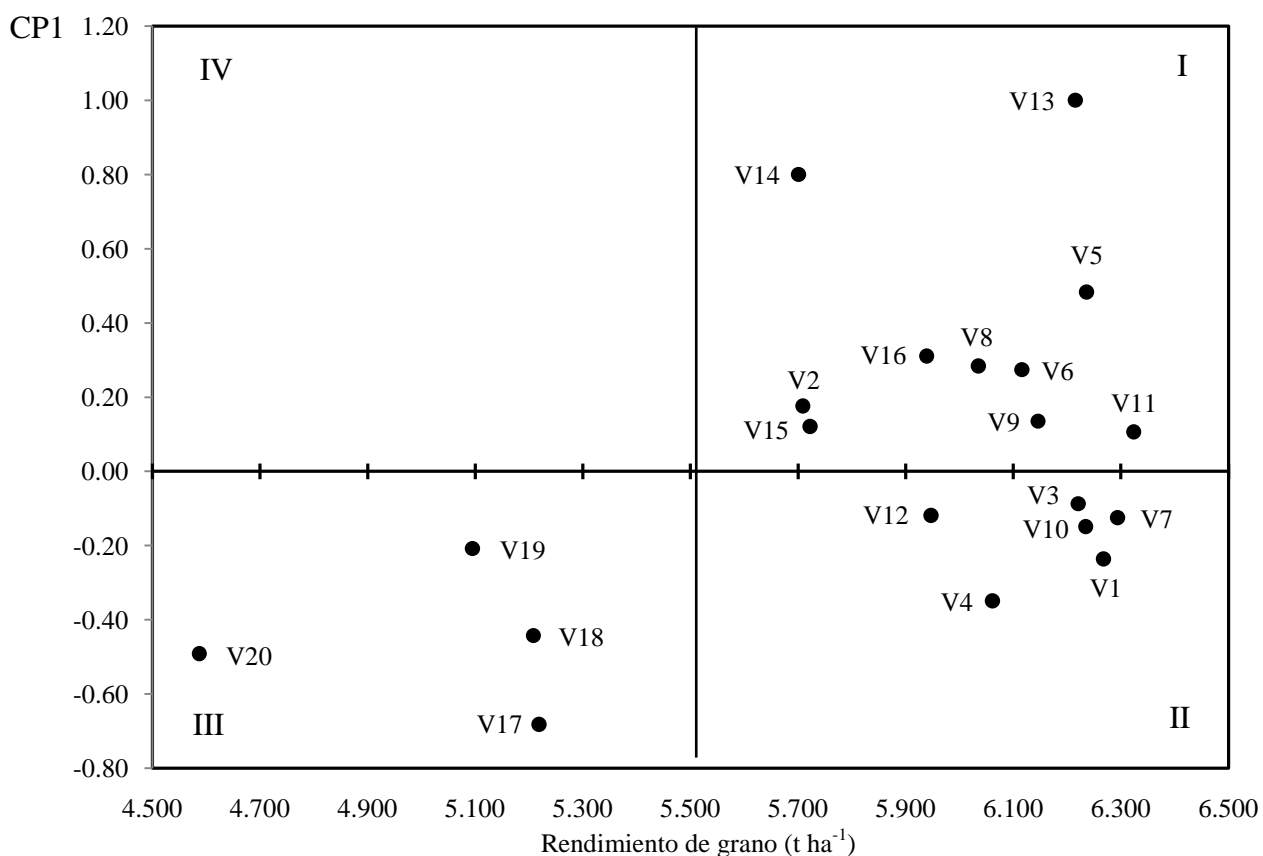


Figura 3.1. Representación gráfica del CP1 en función del rendimiento (t ha⁻¹) promedio de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero durante el período Verano - Otoño 2004 a 2008.

En relación a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señalan que aquellos que exhiben un ángulo menor de 90° tienen la cualidad de clasificar a las variedades de manera semejante, por lo que

este resultado sugiere que se puede elegir a los idóneos para la evaluación de las variedades y probar otras localidades. Con base en la mayor longitud de los vectores de cada ambiente, las que mejor discriminaron a las variedades (Figura 3.2) fueron las localidades de Ahuacatlán 2007, Olinalá 2005 y 2007, y Teloloapan 2005 (A4, A9, A11 y A13), de acuerdo con los criterios aplicados por Kempton (1984) y Yan *et al.* (2000).

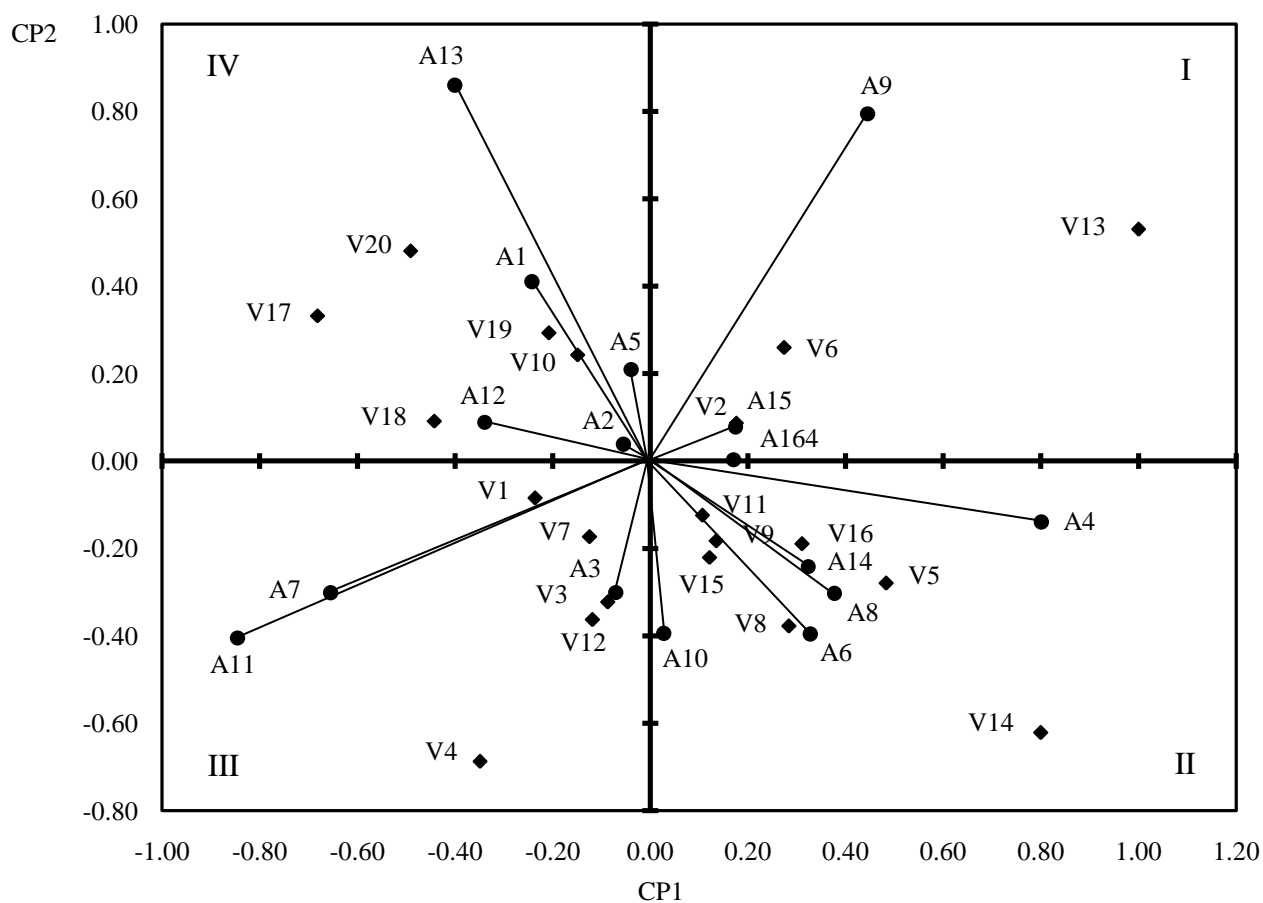


Figura 3.2. Representación gráfica del CP1 y CP2 de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero durante el período Verano - Otoño 2004 a 2008.

Ocho variedades mostraron una tendencia cercana a cero y en un sentido más estricto las variedades V2, V7, V9 y V11 serían las más estables y consistentes en los ambientes donde

fueron evaluadas. Además, se puede señalar que al evaluar el mismo material genético en más de dos años en los mismos ambientes, estos expresaron un comportamiento relativamente variable y una tendencia de discriminación de los materiales en los ambientes contrastantes. Este resultado confirma la importancia de evaluar las variedades por varios ciclos en un mismo lugar antes de tomar cualquier decisión para su uso comercial.

3.4. CONCLUSIONES

- Los parámetros de estabilidad permitieron identificar y caracterizar a las variedades en cinco grupos. Seis variedades mostraron estabilidad y consistencia; cuatro fueron cruza intervarietales y dos progenitores masculinos.
- La VS-529 x VE-3 respondió mejor en ambientes desfavorables, mostró consistencia a los cambios ambientales y fue la que expresó el mayor potencial de rendimiento de grano (6.324 t ha^{-1}).
- Doce variedades fueron inconsistentes, a las que no deberán considerarse en una siembra amplia y en este grupo se ubicó la variedad local del agricultor y tres progenitores femeninos; estas variedades fueron sensibles a los cambios desfavorables que prevalecieron en los ambientes.
- El análisis AMMI permitió conocer la contribución de cada fuente de variación, por ejemplo: las variedades aportaron 9.60 %, los ambientes 55.24 % y la interacción variedad por ambiente el 17.62 %, por lo que fue de gran utilidad para entender mejor la respuesta compleja de las variedades para un carácter como el rendimiento de grano; además detectó variedades adecuados para cada ambiente.
- Los dos métodos usados en este estudio mostraron resultados semejantes, por lo que es posible elegir una o dos variedades como deseables por su buen potencial genético para rendimiento de grano y estabilidad; además, el mejorador podrá apoyarse en otros criterios para la elección de las mejores variedades y su aprovechamiento en programas de mejoramiento o en siembras comerciales.

3.5. LITERATURA CITADA

- Alcazar A., J. J., y M. Sierra M. 1984. Evaluación de variedades tropicales de maíz de planta baja en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 6: 24-35.
- Ali, N., F. Javidfar, and Y. Mirza. 2003. Selection of stable rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes through regression analysis. *Pak. J. Bot.* 35: 175-183.
- Becker, H. C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1- 23
- Byth, D. E. 1981. A conceptual basis of genotypic x environment interactions for plant improvement. *In: Byth, D. E., and V. E. Mungomery, (eds). Interpretation of Plant Response and Adaptation to Agricultural Environments. Australian Institute of Agricultural Science.* pp: 254-265.
- Carballo C., A., y F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5: 129-146.
- Córdova S., H. 1991. 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. *Agron. Mesoamericana* 2: 1-10.
- Crossa, J., H. Gauch, and R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- De León C., H., F. Rincón S., M. H. Reyes V., S. Garduño D., G. Martínez Z., R. Cavazos C., y J. D. Figueroa C. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Eberhart, S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.

- Fikere, M., T. Tadesse, and T. Letta. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 3(6): 80-87.
- Finlay, K. W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ta. Ed. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Gauch, H., and R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79: 753-761.
- Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33: 73-115.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103: 123-135.
- Medina, S., C. Marín, V. Segovia, A. Bejarano, Z. Venero, R. Ascanio, y E. Meléndez. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agron. Trop.* 52(3): 255-275.
- Mejía C., J. A., y J. D. Molina G. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 89-94.
- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT editor S. A., México, D. F. 349 p.
- SAS, Statistical Analysis System Institute. 2002. The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Yan, W. L., A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.

IV. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ EN LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO

RESUMEN

En las regiones semicálidas del estado de Guerrero (alrededor de 1500 m altitud), prevalece la siembra de semillas nativas de maíz (criollos). Actualmente se ha hecho mejoramiento genético ahí y se plantea la posibilidad de proponer una o varias cruzas intervarietales a los agricultores como alternativa para mejorar su producción de grano. En este sentido, se evaluó el comportamiento agronómico de cinco variedades progenitoras y sus cruzas en arreglo factorial; dos de ellas son de origen tropical seleccionadas al menos por 10 generaciones para adaptación a los Valles Altos, y tres tienen alguna proporción de germoplasma de clima subtropical del estado de Guerrero. Además de las seis cruzas simples intervarietales, se agregaron los progenitores, la variedad local del agricultor y seis variedades testigo en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en el ciclo Verano-Otoño de 2009, en dos localidades de altitud intermedia. El análisis combinado a través de ambientes mostró diferencias significativas en rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$), entre cruzas, progenitores y testigos. Las cruzas intervarietales VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 fueron superiores a sus progenitores, a la variedad local del agricultor y a los testigos comerciales en rendimiento de grano y otros atributos como sanidad de mazorca y planta; de expresión intermedia para altura de planta y días a floración masculina y femenina; y tuvieron menor acame. Las variedades progenitoras subtropicales *per se* fueron ligeramente mejores en rendimiento, peso de mazorca y diámetro de mazorca, con respecto a las variedades tropicales y éstas presentaron ligeramente mejor sanidad de planta y mazorca. Los progenitores VE-1, VE-3 y VS-529 presentaron efectos de ACG positiva, y sus cruzamientos fueron los que mostraron mayor rendimiento de grano, heterosis, precocidad, y mejor aspecto de planta y mazorca, mientras que CIST y SINT-3-HE exhibieron efectos de ACG negativos. Con estos resultados es posible seleccionar cruzas varietales con características agronómicas favorables y de alto potencial productivo como opciones para apoyar a la agricultura tradicional de maíz de áreas intermedias, en principio en el estado de Guerrero donde se realizó el estudio.

Palabras clave: *Zea mays* L., variedades tropicales y subtropicales, aptitud combinatoria general y específica, heterosis, rendimiento de grano.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF INTERVARIETAL CROSSES OF MAIZE IN THE SEMIWARM REGION OF GUERRERO

SUMMARY

In the semi-warm regions of the state of Guerrero, Mexico, (about 1500 m of altitude), landraces of maize are mostly planted by local farmers. Currently, some genetic improvement in local maize has been done, and there is a possibility of proposing to the farmers one or several intervarietal crosses as an alternative for them to increase their grain production. In this regard, it was evaluated the agronomic performance of five parental varieties and their crosses from a factorial way; two of the varieties are of tropical origin and were selected at least for 10 generations for adaptation to High Valleys, and the other three have some proportion of germplasm of subtropical climate of the state of Guerrero. Besides the six intervarietal single crosses and their parents, it was included a local variety of the farmers plus six varieties as checks, all evaluated in a complete random block design with four replications in the Summer-Autumn season in 2009 at two locations of intermediate altitude. The combined analysis through environments showed significant differences for grain yield ($t\ ha^{-1}$), among crosses, parents and checks. The intervarietal crosses VS-529 x VE-1 and VS-529 x VE-3 were superior to their parents, to the local variety of the farmers and to the commercial checks for grain yield and other attributes as healthy ears and plants; of intermediate expression for plant height and days to masculine and feminine flowering and less lodging. The subtropical parental varieties *per se* were slightly better for yield and weight and diameter of ear with respect to the tropical varieties, and these showed a slightly better health of plant and ear. The parents VE-1, VE-3 and VS-529 showed positive GCA effects, and their crosses were those that showed the highest grain yield, heterosis, earliness, and the better aspect of plant and ears, whereas CIST and SINT-3-HE showed negative GCA effects. These results suggest that it could be possible to select varietal crosses with favorable agronomic characteristics and high yield potential as an option to support the maize traditional agriculture of intermediate areas, firstly in the state of Guerrero, where the study was realized.

Key words: *Zea mays* L., tropical and subtropical varieties, general and specific combining ability, heterosis, grain yield

4.1. INTRODUCCIÓN

La selección del maíz (*Zea mays* L.) por el hombre a través de muchas generaciones y diversos ambientes, ha generado gran diversidad genética de cultivares (razas, sub-razas y tipos). El conocimiento sobre la diversidad genética, la aptitud combinatoria general y específica, y la heterosis son propiedades del germoplasma de suma importancia para generar híbridos y variedades, así como para ampliar la variabilidad genética y reducir la deriva genética. Al menos el 80 % de la superficie cultivada con maíz en México es ocupada con poblaciones nativas (criollos); en el estado de Guerrero, se presenta una situación semejante en sus más de 480 mil hectáreas maiceras. Dada la orografía del estado de Guerrero, se distingue por su alto heterogeneidad que determina amplia diversidad de nichos agroecológicos, diversidad de poblaciones nativas adaptadas a condiciones específicas de cada región; para los cuales los agricultores no disponen de maíces mejorados específicos para uso comercial, sin embargo, en áreas de altitud intermedia de alrededor de 1500 m los maíces mejorados pueden alcanzar ciertos niveles de adaptación, principalmente en pequeños valles y lomeríos.

En el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz que se desarrolla en el Campo Experimental Iguala, Guerrero, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP), se trabaja desde 1985 con poblaciones nativas de origen subtropical (\pm 1600 m de altitud) *per se* o en combinación con maíces mejorados. Paralelamente, en el Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad – Genética, en el Campus Montecillo, Estado de México, del Colegio de Postgraduados (CP), se inició en 1991 un programa de selección por adaptación a Valles Altos (2250 m altitud) de variedades tropicales. Ambos grupos de poblaciones se evaluaron en el ciclo Invierno-Primavera de 2003 en el Campo Experimental Iguala (región tropical), donde han mostrado niveles favorables de altura de planta, altura de mazorca, sanidad

de planta, sanidad de mazorca y rendimiento de grano favorables. Con base en estos dos grupos varietales, se planeó generar cruza intervarietales en arreglo factorial con el propósito de detectar las mejor adaptadas y las de mayor calidad de planta y rendimiento de grano, en relación con los maíces nativos de las regiones intermedias de Guerrero (1300 a 1600 m altitud).

El cruzamiento de poblaciones de maíz genéticamente divergentes (Moll *et al.*, 1962; Gómez *et al.*, 1988; Goodman *et al.*, 2000; Vergara *et al.*, 2005) podría dar lugar a combinaciones de alto potencial de rendimiento, que valoradas en un esquema factorial de apareamiento se podría determinar respuestas heteróticas (Comstock y Robinson, 1948; Moll *et al.*, 1962; Balderrama *et al.*, 1997); al mismo tiempo se conocerían las poblaciones que tienen mejor respuesta en sus cruzamientos (Sprague y Tatum, 1942; Márquez, 1988). En las regiones intermedias de Guerrero, una crusa intervarietal con mejores características agronómicas y adaptación a la diversidad ambiental de la región, puede ser una alternativa comercial más barata que un híbrido convencional. Considerando esta situación, el objetivo de esta investigación fue estudiar el potencial productivo y otros atributos agronómicos de cruza intervarietales, resultantes de la combinación de poblaciones de orígenes diversas, en dos localidades semicálidas del estado de Guerrero.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético estuvo conformado por cuatro grupos de germoplasma. Dos grupos de poblaciones progenitoras y sus cruzamientos en arreglo factorial, más la variedad local del agricultor como testigo.

El primero con dos variedades tropicales seleccionadas para adaptación en el Campo Experimental Montecillo, CP, de 1991 a 2002 de clima templado. Los progenitores hembra fueron la VS-529, formada por recombinación de siete líneas derivadas de las variedades VS-521 y V-524; y el SINT-3-HE, una variedad sintética experimental integrada con ocho líneas de hoja erecta derivadas del híbrido B670; no obstante, estos progenitores fueron previamente seleccionadas por su buen potencial productivo en 16 localidades de evaluación (Palemón *et al.*, en prensa). Ambas poblaciones se usaron como progenitores femeninos en los cruzamientos.

El segundo grupo de progenitores que se usaron como machos fueron: 1) CIST (Complejo Interracial Subtropical), formado con germoplasma de las razas Pepitilla, Tuxpeño, Celaya y Cónico, con tres ciclos de selección recurrente; 2) VE-1, cruce de V-531 con una población nativa de tipo semi-Ancho; 3) VE-3, cruce de una variedad experimental tropical resistente a sequía (población integrada con germoplasma Tuxpeño, ETO, Cristalino del Caribe y Costeño Tropical) con un maíz Ancho del municipio de Quechultenango, Gro., y retrocruzada con el criollo (Gámez *et al.*, 1996), estas tres variedades fueron seleccionadas en regiones de altitud intermedia de Guerrero.

De manera genérica, en adelante las poblaciones progenitoras y sus cruzamientos, se considerarán como variedades.

Localidades

Las actividades de campo se desarrollaron en dos etapas. En la primera se formaron las cruzas intervarietales en el ciclo agrícola de Invierno-Primavera 2008, en el Campo Experimental Iguala, ubicado a 17° 52' 54'' N y 98° 45' 25'' O con altitud de 750 m, clima *Awo*, con una precipitación pluvial media anual de 977 mm. En la segunda etapa se evaluaron las cruzas intervarietales, los progenitores, las variedades comerciales y experimentales, y la población nativa local del agricultor cooperante, en Olinalá y Teloloapan, Gro. (Cuadro 4.1). Los dos experimentos se condujeron en condiciones de temporal con base en el manejo y prácticas culturales de los agricultores cooperantes.

Cuadro 4.1. Características climáticas y ubicación de las localidades del estado de Guerrero, donde se condujeron las evaluaciones de campo. Verano-Otoño 2009.

Localidades	Clima	Altitud (m)	Latitud N	Longitud O	Pp (mm)
Olinalá	<i>Aw_l (w) (i') g</i>	1535	17° 48' 15''	98° 45' 53''	1065
Teloloapan	<i>A (C) w₂ (w) ig</i>	1521	18° 21' 16''	99° 51' 58''	1231

Pp: precipitación pluvial; Fuente: García, 1988.

Diseño experimental y manejo agronómico

Para la evaluación de los materiales genéticos se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron las seis cruzas intervarietales, los cinco progenitores, tres testigos comerciales, tres variedades experimentales en proceso de mejoramiento y la variedad local del agricultor cooperante. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de largo y 0.85 m de ancho. Se fertilizó con la fórmula 90N-60P-00K; el control de malezas y plagas se efectuó con base en las recomendaciones del INIFAP. Se

registraron 15 variables, incluyendo el rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) ajustado al 12 % de humedad en ambas localidades.

Análisis estadístico

Se consideró necesario la partición de la información de acuerdo a la agrupación por afinidad de las poblaciones, aplicando el siguiente modelo estadístico para el arreglo factorial de cruzamientos: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + R(A)_{ij} + M_k + H_l + (MH)_{kl} + (MxA)_{ki} + (HxA)_{li} + (MH)_{x(A)}_{ikl} + E_{ijkl}$; donde: Y_{ijkl} = rendimiento observado para el cruzamiento del macho k , con la hembra l en la j - ésima repetición del experimento en el i - ésimo ambiente; μ = promedio de todas las unidades experimentales; A_i = efecto del ambiente i ; $R(A)_{ij}$ = efecto de la j - ésima repetición anidada en la i - ésima localidad; M_k = efecto del k - ésimo macho (ACG ♂); H_l = efecto de la l - ésima hembra (ACG ♀); $(MH)_{kl}$ = efecto de interacción del macho k con la hembra l (ACE); $(MxA)_{ik}$ = efecto de interacción del ambiente i con la ACG del macho k ; $(HxA)_{il}$ = efecto de interacción del ambiente i con la ACG de la hembra l ; $(MH)_{x(A)}_{ikl}$ = efecto de interacción del ambiente i por la ACE macho por hembra kl ; E_{ijkl} = efecto aleatorio de la unidad experimental $ijkl$. Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

Modelo genético

Para el grupo de cruzamientos intervarietales en arreglo factorial o diseño 2 de Carolina del Norte, se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de los progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruas (Comstock y Robinson, 1948; Comstock y Robinson, 1952).

Heterosis

La estimación de la heterosis de los cruzamientos intervarietales se hizo con base en el progenitor medio de la siguiente forma: $H_{ij} = \{[(F_{ij})-(PM_i+PM_j)/2]/[(PM_i+PM_j)/2]\} \times 100$; donde H_{ij} = heterosis del cruzamiento ij ; F_{ij} = media de la primera generación de la cruce entre los progenitores ij ; MP_i = media del progenitor hembra i ; MP_j = media del progenitor macho j .

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado

El análisis de varianza combinado a través de ambientes, generó 22 fuentes de variación. Para ambientes se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para 10 caracteres; en acame (ACM), número de mazorcas sanas (NMzS), peso de olote (PDO) y longitud de mazorca (LDMz), no se detectaron efectos significativos (Cuadro 4.2). Entre variedades, el peso de mazorca (PDMz) no mostró significancia estadística; para calificación de mazorca (CMz) hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$), mientras que para el resto de los caracteres mostraron efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$). En la partición de la fuente de variación de variedades, en grupos, no se encontró significancia estadística en altura de planta (ADP), calificación de planta (CPI), ACM y PDMz, y no se encontraron diferencias estadísticas entre variedades anidadas en grupos para PDMz, CMz y rendimiento de grano (RGr).

En la partición de variedades anidadas en los grupos de progenitores y cruzas, en el primer caso sólo se detectaron cambios significativos en LDMz ($p \leq 0.01$); en el segundo caso, se observó variación altamente significativa en número de hileras por mazorca (NHXMz). La partición de lo correspondiente a progenitores en las dos hembras y los tres machos, hubo diferencias significativas en diámetro de mazorca (DDMz) y NHXMz, y altamente significativos en LDMz entre progenitores hembras; en cambio, en los progenitores machos tuvieron un comportamiento similar en las 15 variables (Cuadro 4.2).

En la partición de cruzas en aptitud combinatoria general (ACG), las de hembras (ACG ♀) difirieron significativamente en NHXMz y DDMz. Para machos (ACG ♂), se observó significancia estadística en altura de mazorca (ADMz), CPI, CMz, NHXMz y RGr. Respecto a la

aptitud combinatoria específica o interacción de hembra por macho (ACE), no se detectaron diferencias significativas en ninguna de las 15 variables analizadas (Cuadro 4.2).

En la interacción variedades por ambientes el 53.3 % de las variables mostraron significancia estadística. En la interacción grupos por ambientes, la ADP, ADMz, número de mazorcas podridas (NMzP) y RGr ($t \text{ ha}^{-1}$), tuvieron efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$). La interacción variedades anidados en grupos por ambientes se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), PDMz, PDO y NHXMz.

En las interacciones progenitores macho por ambientes, para las variables DFM, DFF, PDMz, DDMz y RGr hubo efectos significativos ($p \leq 0.05$), y altamente significativos ($p \leq 0.01$) para PDO. En la interacción cruza por ambientes no se detectó significancia en 86.67 % de los caracteres; sin embargo, en DFM y PDO si hubo efectos significativos. En las interacciones ACG ♀ por ambientes, ACG ♂ por ambientes y la ACE por ambientes, no se detectaron efectos significativos en las 15 variables analizadas.

Las diferencias significativas entre los progenitores hembra para LDMz, DDMz y NHXMz, se atribuye a sus diferencias en el origen genético (Gómez *et al.*, 1988; Herrera *et al.*, 2004); es decir, provienen de diferente germoplasma. Sin embargo, entre los progenitores machos no se detectaron diferencias significativas, debido a que la expresión fenotípica y adaptación a las condiciones climáticas del sitio de evaluación.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de 15 caracteres de la evaluación de cruzas intervarietales, progenitores y testigos en altitudes intermedias del estado de Guerrero. Verano – Otoño 2009.

Fuente de variación	GL	DFM	DFE	ADP	ADMz	CPI	ACM	CMz	NMzP	NMzS	PDMz	PDO	LDMz	DDMz	NHXMz	RGr
Ambientes (Amb)	1	7.11*	93.44**	10336.11**	21437.84**	46.92**	17.36	24.83**	3906.25**	300.44	7875.08**	114.85	0.75	1.27**	48.42**	249.01**
Repeticiones / Amb	6	1.19	1.81	366.20	286.91	0.99	10.50	0.32	33.03	125.16	501.80	39.41	3.76	0.11	2.34	1.06
Variedades (Var)	17	34.28**	30.87**	540.38**	643.01**	0.84**	15.60**	0.32*	28.76**	236.59**	1021.54	122.03**	4.45**	0.16**	19.47**	1.91**
Grupos (Gpo)	3	55.21**	64.67**	480.46	934.09**	0.37	7.59	0.65**	62.47**	524.23**	1895.04	152.31**	4.63*	0.17*	12.12**	5.89**
Var / Gpo	14	29.80**	23.62**	553.22*	580.64**	0.94**	17.32**	0.24	21.54*	174.95**	834.36	115.54**	4.41**	0.16**	21.05**	1.06
Progenitores	4	37.48**	40.16**	278.29	305.19*	0.47*	4.71	0.15	2.23	69.87	290.11	6.83	4.28*	0.23*	4.22**	0.74
Hembras (H)	1	0.06	0.25	900.00	100.00	0.06	14.06	0.03	0.06	85.56	2.25	3.52	15.60**	0.33*	6.25*	0.34
Machos (M)	2	0.50	0.17	94.54	305.17	0.38	0.13	0.28	3.50	78.17	10.56	11.55	0.60	0.06	1.91	0.80
Cruzas	5	2.00	2.03	100.37	261.85	0.48	6.90	0.29	5.67	15.37	552.80	21.72	1.56	0.11	4.27**	1.37
H (ACG ♀)	1	5.33	4.08	165.02	24.08	0.59	0.33	0.16	1.02	0.52	684.03	0.56	1.65	0.27*	11.12**	2.16
M (ACG ♂)	2	0.44	0.15	85.15	510.25*	0.90*	4.75	0.54*	9.90	11.65	552.70	3.20	0.95	0.02	4.27*	2.09*
H x M (ACE)	2	1.90	2.90	83.27	132.33	0.01	12.33	0.09	3.77	26.52	487.28	50.82	2.12	0.11	0.86	0.26
Var x Amb	17	4.48**	3.21**	389.29	251.59*	0.35	7.46	0.23	23.72**	33.14	1822.57**	41.61*	1.86	0.09	2.54*	1.42**

Continuación del cuadro anterior.....

Fuente de variación	GL	DFM	DFF	ADP	ADMz	CPI	ACM	CMz	NMzP	NMzS	PDMz	PDO	LDMz	DDMz	NHXMz	RGr
Gpo x Amb	3	3.36	1.98	1280.33**	514.92**	0.93*	18.57*	0.14	47.42**	31.18	1758.63	27.92	3.06	0.03	0.15	2.54**
Var / Gpo x Amb	14	4.72**	3.47**	198.35	195.16	0.23	5.09	0.25	18.64	33.55	1836.27**	44.55**	1.60	0.10	3.06*	1.18
H x Amb	1	0.75	0.33	1.69	60.75	0.78	6.75	0.12	0.02	13.02	450.19	2.25	0.46	0.02	0.46	1.63
M x Amb	2	5.65*	5.06*	33.27	188.58	0.48	1.58	0.37	3.06	20.69	2740.01*	92.48**	2.53	0.20*	2.82	2.74*
Cruzas x Amb	5	3.48*	2.95	25.87	107.18	0.40	2.68	0.25	2.64	13.24	1830.46	52.62*	1.18	0.11	1.22	1.46
ACG ♀ x Amb	1	0.06	0.25	25.00	100.00	0.36	0.06	0.00	1.56	18.06	2111.40	19.14	0.49	0.08	0.02	1.82
ACG ♂ x Amb	2	2.17	3.50	37.04	58.50	0.18	7.88	0.11	3.50	16.17	89.29	0.38	0.34	0.02	3.75	0.11
ACE x Amb	2	2.69	2.15	30.56	49.00	7.86	46.36	0.20	3.52	5.90	1611.05	37.94	0.20	0.05	0.01	0.11
Error	143	1.47	1.55	258.45	137.10	0.27	5.55	0.16	10.66	44.89	824.35	20.43	1.48	0.06	1.41	0.67
Media		64.56	65.86	250.00	105.09	6.66	5.08	7.51	6.33	35.93	178.17	28.77	16.09	5.49	14.17	5.356
CV (%)		1.88	1.89	6.43	11.14	7.86	46.36	5.35	51.55	18.65	16.11	15.71	7.57	4.38	8.38	15.31

GL: grados de libertad; DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; ADP: altura de planta (cm); ADMz: altura de mazorca (cm); CPI: calificación de planta (1 mala - 9 excelente); ACM: acame; CMz: calificación de mazorca (1 mala - 9 excelente); NMzP: número de mazorcas podridas (%); NMzS: número de mazorcas sanas (%); PDMz: peso de mazorca (g); PDO: peso de olote (g); LDMz: longitud de mazorca (cm); DDMz: diámetro de mazorca (cm); NHXMz: número de hileras por mazorca; RGr: rendimiento de grano (t ha⁻¹); (ACG ♂): aptitud combinatoria general de machos; (ACG ♀): aptitud combinatoria general de hembras; ACE: aptitud combinatoria específica; **, *: significancia (p≤0.01 y 0.05); CV (%): coeficiente de variación en porcentaje.

Comportamiento agronómico de las variedades

Los progenitores femeninos fueron significativamente tres días más tardíos (66 días) respecto a los masculinos (63 días) en DFM y DFF (Cuadro 4.3); en otros atributos como ADP, ADMz, CPI, CMz, PDO, LDMz, DDMz, NMzS y NHXMz no hubo diferencias en ambos grupos de progenitores, aunque se puede mencionar que los progenitores femeninos fueron superadas numéricamente por los masculinos en 12.2, 9.1 y 5.9 % en ACM, NMzP y PDMz respectivamente, y en 327 kg más en rendimiento de grano.

Estos resultados indican que los progenitores masculinos VE-1, VE-3 y CIST, superaron ligeramente al grupo de las hembras en rendimiento de grano, porque en promedio fueron más precoces en días a floración y mostraron menor porte de mazorca; además se les atribuye a que estos materiales tienen germoplasma de la región intermedia y fueron seleccionados también en las regiones semicálidas; en cambio las hembras son de áreas cálidas y al ser sometidas para adaptación durante 10 años a Valles Altos, y estadísticamente mostraron mejor aspecto de planta y mayor número de hileras por mazorca e igualaron en nueve caracteres a los progenitores masculinos.

Se puede mencionar que los progenitores y sus cruzas estudiadas en este trabajo se han venido evaluando y analizando en años anteriores y para corroborar si mantienen su potencial de rendimiento y adaptabilidad en los mismos ambientes y años de evaluación. Se compararon los promedios de los cuatro grupos (progenitores masculinos y femeninos, cruzas varietales y testigos). Los progenitores masculinos VE-3 y VE-1 mostraron un comportamiento similar en 14 variables y sólo difirieron en ADMz, además mostraron menor ACM, MzP y PDO respecto al progenitor CIST (Cuadro 4.3). No obstante, CIST fue ligeramente mayor en LDMz y NHXMz respecto a los progenitores antes mencionados.

Cuadro 4.3. Comparación de medias de 15 caracteres medidos en 18 variedades evaluadas en dos localidades del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

	Variedades	DFM	DFF	ADP	ADMz	CPI	ACM	CMz	NMzP	NMzS	PDMz	PDO	LDMz	DDMz	NHXMz	RGr
V1	SINT-3-HE x CIST	63.63	65.00	241.25	95.75	6.28	5.88	7.50	4.25	41.00	177.19	28.34	15.63	5.45	15.30	5.322
V2	VS-529 x CIST	64.63	65.88	246.88	97.00	6.50	3.88	7.48	3.75	38.38	178.09	31.14	16.51	5.49	14.31	5.462
V3	SINT-3-HE x VE-1	63.63	64.63	242.25	101.13	6.55	4.00	7.48	4.63	41.50	186.54	30.28	15.63	5.65	15.48	5.697
V4	VS-529 x VE-1	64.75	65.88	249.25	108.38	6.83	4.00	7.75	4.63	41.00	183.03	30.98	16.31	5.41	14.06	6.323 a
V5	SINT-3-HE x VE-3	64.50	65.50	249.38	109.25	6.78	4.25	7.80	4.88	38.63	199.31 a	32.16	16.66	5.66	14.14	5.772
V6	VS-529 x VE-3	64.38	65.13	247.88	105.00	6.94	5.75	7.90 a	6.25	41.13	179.28	28.01	16.20	5.41	13.65	6.280 a
V7	CIST	62.50	63.88	249.00	99.00	6.50	5.50	7.43	7.88	36.00	185.85	31.33	16.74	5.50	14.80	5.540
V8	VE-1	62.75	64.13	245.63	91.50	6.38	5.25	7.36	6.63	31.00	186.06	30.69	16.28	5.55	14.06	5.066
V9	VE-3	63.00	64.13	252.50	103.75	6.80	5.38	7.71	7.63	36.75	183.98	29.00	16.25	5.66	13.88	5.668
V10	SINT-3-HE	66.75	68.25	243.13	102.88	6.95	3.75	7.58	6.88	38.88	174.04	30.54	15.61	5.49	15.71 a	5.244
V11	VS-529	66.63	68.00	258.13	107.88	6.83	5.63	7.49	7.00	34.25	174.79	29.60	17.59 a	5.20	14.46	4.952
V12	Cri-Reg	63.25	65.00	266.88 a	119.50 a	6.14	7.88 a	7.08	8.38	27.25	166.34	21.64	15.43	5.34	10.56	4.950
V13	Ancho	62.75	64.50	265.00 a	116.00	6.50	5.63	7.55	7.63	28.13	194.90	27.84	17.16	5.68	9.90	5.529
V14	Pepitilla	62.00	63.75	246.25	105.63	6.40	5.50	7.53	8.13	30.50	167.33	20.18	15.60	5.53	14.74	4.953
V15	CSeqC-10	66.50	67.50	234.38	87.38	6.53	5.00	7.48	4.25	36.00	183.25	29.28	15.48	5.43	15.05	4.962
V16	VS-535	68.38	69.50	253.50	110.25	7.06 a	4.50	7.23	10.88 a	25.00	169.35	34.96 a	16.45	5.54	15.70 a	4.377
V17	H-516	63.00	64.75	250.00	120.25 a	6.45	7.75 a	7.39	5.75	38.13	164.33	21.53	14.35	5.68	14.64	5.288
V18	H-565	69.00 a	70.13 a	258.75	111.13	7.46 a	2.00	7.40	4.63	43.25 a	153.44	30.54	15.71	5.24	14.65	5.027
	Media =	64.56	65.86	250.00	105.09	6.66	5.08	7.51	6.33	35.93	178.17	28.77	16.09	5.49	14.17	5.356
	DMS (0.05) =	1.20	1.23	15.94	11.61	0.52	2.34	0.40	3.24	6.64	28.48	4.48	1.21	0.24	1.18	0.813

V: variedad; DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; ADP: altura de planta (cm); ADMz: altura de mazorca (cm); CPI: calificación de planta (1 mala - 9 excelente); ACM: acame; CMz: calificación de mazorca (1 mala - 9 excelente); NMzP: número de mazorcas podridas (%); NMzS: número de mazorcas sanas (%); PDMz: peso de mazorca (g); PDO: peso de olote (g); LDMz: longitud de mazorca (cm); DDMz: diámetro de mazorca (cm); NHXMz: número de hileras por mazorca; RGr: rendimiento de grano (t ha⁻¹); DMS: diferencia mínima significativa (p≤0.05).

El mayor rendimiento de grano de la población VE-3, se atribuye a que su grano tiene mayor peso específico, a pesar de que el CIST presentó ligeramente mayor longitud de mazorca y número de hileras por mazorca, rindió 128 kg menos, debido a su menor peso específico. En los progenitores femeninos se detectó superioridad significativa del SINT-3-HE en NHXMz con respecto a la VS-529, mientras que este último estadísticamente mostró mayor ADP y LDMz, y fueron iguales en RGr ($t\ ha^{-1}$) y el resto de los caracteres.

Por otra parte, se detectaron diferencias significativas entre cruzas intervarietales: en ADMz, CPI, CMz, DDMz, NHXMz y RGr. En particular, las cruzas VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 fueron las más sobresalientes en rendimiento de grano y superaron al resto de cruzas intervarietales, progenitores, testigos y la variedad local del agricultor; además, fueron más precoces que los testigos tropicales y los progenitores femeninos; ligeramente más tardíos que los progenitores masculinos y similares al resto de las cruzas intervarietales; tuvieron altura de mazorca intermedia, más baja que la variedad local y que los testigos de la región cálida; específicamente la VS-529 x VE-3 tuvo mejor aspecto de mazorca.

La variedad local del agricultor mostró mayor altura de planta y mazorca, acame, mazorcas podridas, menor calificación de mazorca, e igualó en rendimiento de grano a los progenitores machos (CIST, VE-1 y VE-3), hembras (SINT-3-HE y VS-529) y las cruzas (SINT-3-HE x CIST, VS-529 x CIST y SINT-3-HE x VE-1).

Las poblaciones en proceso de mejoramiento mostraron similitud en 13 caracteres con respecto a las cruzas varietales. Los híbridos comerciales testigos (H-516 y H-565) y la variedad sintética (VS-535) fueron 2 a 4 días más tardíos en DFM y DFF; tuvieron 7 cm más de altura de planta, y 912 kg menos de rendimiento de grano que las cruzas intervarietales ($5.809\ t\ ha^{-1}$). En particular la VS-535 mostró una tendencia a presentar mayor NMzP y PDO que las cruzas varietales, y éstas fueron más precoces en sus floraciones y exhibieron mejor aspecto de mazorca,

por lo que se atribuye que estas cualidades influyeron en una mejor expresión del rendimiento de grano de las cruzas.

Estos resultados sugieren que las cruzas varietales presentaron heterosis promedio al 10 % para rendimiento y 13 % para sanidad de mazorca, respecto a ambos grupos de progenitores; este comportamiento corrobora que existe divergencia genética (Gómez *et al.*, 1988; Romero *et al.*, 2002; De la Cruz *et al.*, 2003) entre las variedades. De estos resultados se infiere que es posible seleccionar cruzas intervarietales con características agronómicas deseables para competir con variedades e híbridos comerciales en ambientes similares a las que fueron evaluadas.

Aptitud combinatoria general y específica

Para la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) se emplearon los datos de las cruzas varietales (Cuadro 4.4). Las variedades CIST y SINT-3-HE contribuyeron con efectos negativos de ACG en RGr, ADP y ADMz (-0.212, -0.418; -2.08, -6.38; -1.85, -0.71); es decir, sus cruzas tendieron a presentar menor altura de planta y mazorca, y con más notoriedad en la craza SINT-3-HE x CIST; estos efectos se consideran como deseables para reducir la vulnerabilidad al acame. En cambio, esos efectos negativos para RGr no benefician a la craza, pues es deseable que ambos progenitores o por lo menos uno presente efecto positivo de ACG, para que la craza manifieste buen potencial genético (Reyes *et al.*, 2004; Escorcía *et al.*, 2010).

Los efectos negativos de ACG de los progenitores, son favorables para el propósito de disminuir los DFM, DFF, ADP, ADMz, ACM, NMzP y PDO, en cambio cuando deseamos tener una mejor CPI, CMz, LDMz, NHXMz y RGr, se espera que los efectos de ACG de los progenitores sean positivos, ya que no es conveniente tener una variedad o híbrido de mayor altura de planta y mazorca, porque favorecería la vulnerabilidad al acame y dificultaría la

cosecha; mayor número de mazorcas podridas mermaría el rendimiento de grano, ya que este es un carácter complejo y determinado por genes menores. La cruza VS-529 x CIST presentó valores ligeramente bajos de PDMz y PDO, asimismo la cruza intervarietal VS-529 x VE-3 disminuyó moderadamente el PDO y NHXMz. Puede considerarse como favorable cuando se reduce el PDO, porque significa una mayor proporción de grano en la mazorca; en cambio si se reduce el PDMz y NHXMz se reflejará un decremento en rendimiento de grano.

Cuadro 4.4. Rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Valor	Efecto
	CIST	VE-1	VE-3	ACG (♀)	ACG(♀)
SINT-3-HE	5.322	5.697	5.772	5.597	-0.212
<i>ACE</i>	0.142	-0.101	-0.042		
VS-529	5.462	6.323	6.280	6.022	0.212
<i>ACE</i>	-0.142	0.101	0.042		
Valor ACG(♂)	5.392	6.010	6.026	5.809	
<i>Efecto ACG (♂)</i>	-0.418	0.201	0.217		
DMS (♂) = 0.545		DMS (♀) = 0.445		DMS (Cruzas) = 0.771	

DMS: diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

Por otra parte, el progenitor VE-3 presentó efectos de ACG (2.48 y 4.38) positivos en ADP y ADMz (Cuadros 3a y 4a del apéndice), mientras que el progenitor SINT-3-HE tuvo efectos negativos de ACG (-1.85 y -0.71) en los mismos caracteres; sin embargo, la cruza SINT-3-HE x

VE-3 registró un incremento en ADMz (5.9 cm). En tanto que una variedad deseable sería aquella que exprese buen potencial productivo como es el caso de las cruzas VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3, que además de buen RGr mostraron mejor CPI, CMz y NMzS.

Los efectos de interacción ACE en conjunto con los de ACG explicaron el comportamiento de las cruzas intervarietales; en los cruzamientos de VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 los efectos de ACE fueron poco relevantes y sobresalieron por los efectos positivos de ACG (Cuadro 4.4). La craza SINT-3-HE x CIST presentó efecto positivo de ACE, pero los efectos de ACE de sus progenitores fueron de signo negativo, por lo que no es una combinación deseable.

Los resultados de este análisis indican que la craza de dos progenitores con efectos positivos de ACG, pueden generar descendencia con efectos negativos o positivos en la ACE; además, se puede señalar que también depende del grado de divergencia genética de los progenitores (Gómez *et al.*, 1988; Goodman *et al.*, 2000; Herrera *et al.*, 2004). La proporción relativa de los efectos aditivos y los no aditivos indicó que ambos tipos de acción génica fueron importantes (Baker, 1978), lo que sugiere que es posible seleccionar mejores progenitores debido a diferencias relevantes (Hallauer, 1990). Cabe mencionar que en el mejoramiento genético por selección e hibridación los efectos genéticos aditivos (ACG) son de mayor importancia (Vasal *et al.*, 1992), al igual que los efectos de dominancia expresados en las cruzas (ACE) de buen potencial de rendimiento.

Heterosis

Con la información de progenitores *per se* y cruzas se estimó el porcentaje de heterosis con respecto al progenitor medio, y en toneladas por hectárea para rendimiento de grano (Cuadro 4.5). La heterosis promedio fue de 10.6 %, una ganancia en vigor híbrido del orden de 0.548 t ha⁻¹ respecto al promedio de los progenitores. La heterosis de cada cruzamiento se encontró en el

intervalo de -1.3 a 26.2 % y dos cruzas intervarietales presentaron heterosis con valor superior al promedio. Se puede destacar que las cruzas con mayor porcentaje de heterosis, VS-529 x VE-1 con 26.2 % y VS-529 x VE-3 con 18.2 %, fueron las de mayor rendimiento de grano (6.323 y 6.280 t ha⁻¹); resultados similares reportados por Escorcía *et al.* (2010); la heterosis en términos absolutos fue del orden de 1.314 y 0.970 t ha⁻¹, respectivamente, con respecto al valor *per se* promedio del par de progenitores correspondientes (Moll *et al.*, 1962).

Cuadro 4.5. Rendimiento de grano en toneladas por hectárea (t ha⁻¹) de los progenitores hembra, macho, cruzas y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(t ha ⁻¹)
SINT-3-HE	CIST	5.244	5.540	5.322	-1.30	-0.070
VS-529	CIST	4.952	5.540	5.462	4.12	0.216
SINT-3-HE	VE-1	5.244	5.066	5.697	10.51	0.542
VS-529	VE-1	4.952	5.066	6.323	26.24	1.314
SINT-3-HE	VE-3	5.244	5.668	5.772	5.80	0.316
VS-529	VE-3	4.952	5.668	6.280	18.27	0.970
	Media	5.098	5.425	5.809	10.61	0.548

Este resultado indica que la heterosis en este grupo varietal está controlada por dominancia o interacción entre genes de un mismo locus. Las cruzas intervarietales, SINT-3-HE x CIST, VS-529 x CIST, SINT-3-HE x VE-1 y SINT-3-HE x VE-3, exhibieron porcentajes inferiores al 10.6 % de heterosis; y mostraron menores rendimientos (5.322, 5.462, 5.697 y 5.772 t ha⁻¹) con respecto al promedio general (5.809 t ha⁻¹).

4.4. CONCLUSIONES

Las poblaciones subtropicales VE-1 y VE-3, fueron más productivos en rendimiento de grano, más precoces en días a floración masculina y días a floración femenina, mayor diámetro de mazorca, peso de mazorca y menor altura de mazorca, que las poblaciones tropicales en proceso de adaptación a Valles Altos.

La variedad local del agricultor fue más alto en planta y mazorca, mayor porcentaje de acame y mazorcas podridas, características no deseables; sin embargo, competió con los progenitores hembras y machos, en peso de olote, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y rendimiento de grano, y fueron menos productivos que las cruzas intervarietales VS-529 x VE-1, VS-529 x VE-3 y SINT-3-HE x VE-3.

Las cruzas intervarietales fueron precoces que los testigos comerciales; produjeron más mazorcas sanas y con número de hileras por mazorca, respecto a las poblaciones en proceso de mejoramiento. Hubo poblaciones progenitoras con efectos positivos de aptitud combinatoria general (ACG) y sus cruzas con buena aptitud combinatoria específica (ACE).

Finalmente se identificaron las cruzas intervarietales VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 de alto potencial productivo y con características agronómicas favorables, estas cruzas son idóneas para su promoción masiva en la Región intermedia de Guerrero.

4.5. LITERATURA CITADA

- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.
- Balderrama C., S., J. A. Mejía C., F. Castillo G., y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147.
- Comstock, R. and H. Robinson. 1948. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock, R. and H. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. *In: J. W. Gowen, (ed). Heterosis.* Hafner Publishing Company. New York, N. Y. pp: 494-516.
- De La Cruz L., L., J. Ron P., J. L. Ramírez D., J. J. Sánchez G., M. Morales R., M. Chuela B., S. A. Hurtado de la P., y S. Mena M. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 1-10.
- Escorcía G., L. N., J. D. Molina G., F. Castillo G., y J. A. Mejía C. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(3): 271-279.
- Gámez V., A. J., M. A. Avila P., H. Angeles A., C. Díaz E., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. Terrón I. 1996. Híbridos y Variedades de Maíz Liberados por el INIFAP hasta 1996. *Pub. Esp. 16.* INIFAP. Toluca, Edo., México. 102 p.
- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ta. Ed. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Gómez M., N. O., R. Valdivia B., y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(2): 103-120.

- Goodman, M. M., J. Moreno, F. Castillo G., R. N. Holley., and M. L. Carson. 2000. Using tropical maize germplasm for temperate breeding. *Maydica* 45: 221-234.
- Hallauer, A. R. 1990. Methods used in developing maize inbreeds. *Maydica* 35(1): 1-16.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. Ortega P., M. M. Goodman. 2004. Diversidad genética del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGT. México. 563 p.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Palemón A., F., N. O. Gómez M., F. Castillo G., P. Ramírez V., J. D. Molina G., y S. Miranda Colín. Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas intervarietales de maíz en altitudes intermedias del estado de Guerrero. *Agrociencia* (en prensa).
- Reyes L., D., J. D. Molina G, M. A. Oropeza R., y E. C. Moreno P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1): 49-56.
- Romero P., J., F. Castillo G., R. Ortega P. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-115.
- SAS. Statistical Analysis System Institute 2002. *The SAS System for Windows*. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34(10): 923-932.

- Vasal, S. K., G. Srinivasan, J. Crossa, and D. L. Beck. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 32: 884-890.
- Vergara A., N., S. A. Rodríguez H., y H. S. Córdova O. 2005. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays* L.) tropical y subtropical. *Agron. Mesoamericana* 16(2): 137-143.

V. DISCUSIÓN GENERAL

En las regiones semicálidas de Guerrero existe gran variación ambiental, donde prácticamente no se siembran variedades mejoradas debido a la fuerte variación de condiciones climáticas y edáficas poco favorables para el desarrollo y crecimiento de las variedades mejoradas introducidas, al tiempo que resulta difícil establecer un programa de mejoramiento genético para cada nicho ecológico.

Para encontrar solución a esta problemática regional, se plantea la posibilidad de usar cruzas intervarietales a partir de poblaciones mejoradas con antecedentes en la región, combinadas con algunas otras que en base a sus antecedentes pudieran aportar también buena respuesta. Se requiere entonces valorar el potencial de las poblaciones progenitoras y sus cruzas intervarietales y conocer su estabilidad y consistencia a través de ambientes para detectar candidatos a siembra comercial.

En esta investigación se evaluó el rendimiento de grano de cuatro poblaciones tropicales y tres subtropicales y sus cruzas intervarietales, para ello se generó información durante cinco años, en diferentes localidades semicálidas del estado de Guerrero. Del análisis combinado de la información obtenida en 16 ambientes, producto de cinco años de evaluación experimental de las cruzas y sus progenitores, permitió establecer diferencias en rendimiento de grano entre las poblaciones subtropicales y tropicales, así como entre las cruzas intervarietales; las respuestas diferenciales observadas se atribuyen a que los progenitores femeninos y masculinos difieren en su origen genético (Gómez *et al.*, 1988; Caballero y Cervantes, 1990; Goodman *et al.*, 2000; De la Cruz *et al.*, 2003); además las condiciones climáticas y edáficas de las localidades influyeron en la expresión del material genético (Vergara *et al.*, 2005).

Estimación de parámetros genéticos

Poblaciones progenitoras *per se*, cruzas intervarietales y la población nativa local. El rendimiento *per se* de los progenitores masculinos (subtropicales) en promedio de 16 localidades, mostraron rendimiento superior en 16 % con respecto a los progenitores femeninos (tropicales); esta relación fue consistente a través de localidades, excepto en Olinalá e Iguala 2007, donde los progenitores masculinos rindieron menos que los progenitores femeninos. Sin embargo, se identificaron cruzas intervarietales con rendimiento promedio superior al de las variedades locales de los agricultores cooperantes; este fue el caso de las cruzas SINT-3-HE x VE-1 (Olinalá 2004); VS-521 x VE-1 (Teloloapan 2004); VS-529 x CIST (Ahuacatlán 2005); SINT-3-HE x CIST (Olinalá 2006); HEI-1 x CIST (Ahuacatlán 2006); VS-529 x CIST (Olinalá 2007); VS-521 x VE-3 (Iguala 2007), cuyas diferencias fluctuaron entre 0.884 y 2.965 t ha⁻¹.

Por otra parte, hubo cruzas intervarietales tuvieron un comportamiento promedio similar a las poblaciones nativas locales. No obstante, al efectuar el análisis por localidad y año, se observó superioridad de los cruzamientos en Iguala 2007 debido, tal vez, a que esta localidad en la que se ha hecho el manejo genético de las poblaciones progenitoras es tropical.

En promedio de los 16 ambientes de evaluación, las cruzas intervarietales VS-529 x CIST, VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 fueron las más sobresalientes; mientras que las cruzas varietales VS-521 x CIST y HEI-1 x VE-3 mostraron bajo rendimiento de grano.

El rendimiento de grano de la variedad local del agricultor fue superior al promedio de los progenitores masculinos *per se* en siete localidades; en cambio los progenitores femeninos fueron inferiores en 12 localidades, esto indica que la variedad local muestra muy buena adaptación en su área de siembra.

Aptitud combinatoria. Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) se estimaron con base en el promedio de los cruzamientos a través de las 16 localidades. Hubo variación entre los efectos de ACG de los progenitores femeninos significativamente, mientras que los efectos de ACG de los masculinos fueron semejantes estadísticamente en rendimiento de grano. Este resultado sugiere que es posible obtener cruza intervarietales con alto potencial de rendimiento y adaptabilidad en la región semicálida de Guerrero. Las poblaciones progenitoras VE-1 y VE-3 (masculinos), VS-529 y SINT-3-HE (femeninos) fueron las que presentaron efectos positivos de ACG, además en promedio estos progenitores fueron las que formaron mejores cruzamientos por su mayor valor reproductivo. Los efectos de ACE junto con los de ACG explicaron el comportamiento de los cruzamientos; a pesar de que los efectos de ACE fueron poco relevantes, hubo cruza intervarietales específicas que sobresalieron por los efectos de ACG de sus progenitores.

Se puede mencionar que una cruza de alto rendimiento debe tener por lo menos uno ó ambos progenitores, con efectos positivos de ACG (Caballero y Cervantes, 1990; Reyes *et al.*, 2004), pero existen casos como la cruza VS-529 x VE-1, la que a pesar de tener efecto irrelevante de ACE (- 0.023) mostró buen potencial productivo. Este resultado sugiere que no necesariamente el efecto de ACE debe ser alto para que una cruza exprese alto rendimiento, como observó Escorcia *et al.* (2010). En la cruza VS-521 x CIST, los efectos de ACG en ambos progenitores y el efecto de ACE fueron negativos (- 0.243), lo que determinó el menor rendimiento de grano; en contraste, la cruza HEI-1 x CIST mostró un efecto positivo (+ 0.115) de ACE y una contribución negativa de ACG de sus progenitores, con una expresión intermedia de rendimiento de grano.

Estos resultados indican que al cruzar dos progenitores, la descendencia puede expresar un efecto positivo o negativo de ACE; y que estos efectos dependen del grado de divergencia genética de los progenitores (Moll *et al.*, 1965). Por lo tanto, es importante destacar los efectos

aditivos en los progenitores masculinos y femeninos, y los no aditivos de sus cruzas, expresados y observados en cada ambiente. Esto sugiere la posibilidad de seleccionar progenitores con buen potencial productivo para aprovecharse como un par heterótico, porque probablemente combine mejor con otras poblaciones que generen buena descendencia (Hallauer, 1990).

La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE indican que ambos tipos de acción génica fueron importantes en estos dos grupos poblacionales (Baker, 1978). Sin embargo, específicamente en la selección se deben tomar en cuenta los efectos genéticos aditivos (ACG) como el componente de mayor importancia (Vasal *et al.*, 1992), mientras que para la hibridación se deben considerar los efectos de dominancia (ACE).

Heterosis. Con base en la información global de los progenitores y sus cruzas obtenida a través de 16 ambientes, se estimó la heterosis, en porcentaje y en $t\ ha^{-1}$, donde siete cruzas intervarietales superaron el rendimiento promedio general ($6.133\ t\ ha^{-1}$), las otras cinco tuvieron valores inferiores al promedio. La heterosis promedio, equivalente a $0.7\ t\ ha^{-1}$ (13.4 %), es la superioridad de los cruzamientos, sobre el promedio de sus progenitores. Las cruzas con mayor porcentaje de heterosis (HEI-1 x CIST y HEI-1 x VE-1, con 18.6 y 18.5 %, respectivamente), no fueron las que presentaron mayor rendimiento de grano (6.061 y $6.035\ t\ ha^{-1}$), como lo encontró Escorcia *et al.* (2010). Este porcentaje fue influenciado por el bajo rendimiento del HEI-1 *per se*. En cambio, las cruzas varietales SINT-3-HE x CIST, SINT-3-HE x VE-1, VS-529 x VE-1, VS-521 x VE-3 y la VS-529 x VE-3, exhibieron porcentajes moderados de heterosis (13.5, 15.2, 15.5, 11.3 y 15.9 %), y los más altos rendimientos de grano (6.268 , 6.236 , 6.294 , 6.235 y $6.324\ t\ ha^{-1}$, respectivamente) superaron la heterosis promedio. Además, cruzas como SINT-3-HE x CIST, VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 mostraron rendimiento de grano superior en más de $0.140\ t\ ha^{-1}$ respecto al promedio global de los cruzamientos (Moll *et al.*, 1962; Jugenheimer,

1990). Este resultado indica que la heterosis está controlada por dominancia o interacción de genes de un mismo locus, por lo que algunas cruzas intervarietales presentaron valores altos tanto en porcentajes como en $t\ ha^{-1}$ de heterosis.

Parámetros de estabilidad

Las cruzas intervarietales y sus progenitores, mostraron una respuesta diferencial a través de las condiciones ambientales heterogéneas del suelo, clima y de la precipitación pluvial en los sitios y años de evaluación, lo cual refleja la importancia de evaluar el material genético en diferentes localidades y años para observar repuestas más confiables de las variedades (Becker y León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

Al combinar los valores de los coeficientes de regresión (b_i) con las desviaciones de regresión (S_{di}^2), se generan seis categorías propuestas por Carballo y Márquez (1970); de éstas se identificaron cinco de las seis posibles y se presentan en la forma siguiente: A) las cruzas VS-529 x CIST, VS-529 x VE-1, SINT-3-HE x VE-3, HEI-1 x VE-3, y los progenitores masculinos VE-1 y VE-3 se clasificaron como estables y consistentes; B) las cruzas SINT-3-HE x CIST, HEI-1 x CIST, VS-521 x VE-1, VS-521 x VE-3, los progenitores femeninos SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1, más la variedad local del agricultor, mostraron respuesta a ambientes favorables y fueron inconsistentes; C) las cruzas intervarietales VS-521 x CIST y VS-529 x VE-3, respondieron mejor a ambientes desfavorables y tuvieron respuestas consistentes; es decir, amortiguaron mejor las condiciones ambientales; estos resultados fueron similares a los reportados por Alcazar y Sierra (1984); D) los progenitores CIST y VS-529, respondieron mejor a los ambientes desfavorables, pero fueron inconsistentes; sin embargo, participaron en cruzas intervarietales estables de alto rendimiento de grano, que es lo que se esperaba encontrar; además, el

cruzamiento entre estos progenitores fue estable; F) las cruzas varietales SINT-3-HE x VE-1 y HEI-1 x VE-1 respondieron mejor a los ambientes favorables y fueron inconsistentes, ya que su rendimiento tendió a ser bajo en condiciones ambientales críticas y presentaron respuesta diferencial en ambientes específicos (Becker y León, 1988; Ali *et al.*, 2003). Esto muestra una forma de interpretar la interacción genotipo por ambiente (Byth, 1981); lo cual sugiere la dificultad de seleccionar germoplasma con buen potencial genético y estables (Eberhart y Russell 1966).

Las cruzas VS-529 x CIST y VS-529 x VE-1 sobresalieron por su alto rendimiento de grano, y se clasificaron como estables y consistentes; mientras que la cruza HEI-1 x VE3 a pesar de ser estable y consistente, pero presentó rendimiento significativamente inferior en 0.377 t ha^{-1} respecto al valor más alto (6.324 t ha^{-1}); las cruzas SINT-3-HE x CIST; SINT-3-HE x VE-1 y VS-521 x VE-3, mostraron buen rendimiento pero se clasificaron como inconsistentes. La cruza intervarietal VS-529 x VE-3 se puede considerar interesante por su alto rendimiento de grano y consistencia con buena respuesta en ambientes desfavorables de las localidades semicálidas del estado de Guerrero.

Los progenitores masculinos y femeninos se ubicaron en diferentes grupos según sus parámetros de estabilidad (b_i y S_{di}^2). Se puede destacar que las poblaciones progenitoras tropicales (SINT-3-HE y VS-529) y subtropicales (CIST, VE-1 y VE-3) poseen una buena base genética, ya que generaron cruzas intervarietales que respondieron bien a condiciones ambientales, tanto favorables como adversas (Córdova, 1991), se pueden considerar valiosas para la selección de individuos sobresalientes en el mejoramiento del rendimiento de grano y mantenimiento de la estabilidad, como lo sugieren Mejía y Molina (2003).

Las variedades locales del agricultor mostraron respuestas aceptables, ya que están bien adaptadas a sus condiciones ambientales específicas, en varios casos superaron el rendimiento de grano de las cruzas varietales. La inconsistencia que mostraron, se atribuye a que en cada ambiente de evaluación se utilizó la población nativa del agricultor cooperante, que no fue la misma en todos los ambientes de prueba, por lo que esta clasificación no debe considerarse definitiva. Las diferencias entre las condiciones ambientales influyeron en la expresión del potencial de rendimiento de cada variedad, en particular en un ambiente específico (Eberhart y Russell, 1966; Ali *et al.*, 2003). Los parámetros de estabilidad permitieron identificar variedades con alto potencial genético y estabilidad para rendimiento en una serie de ambientes y condiciones específicas (Eberhart y Russell, 1966; De León *et al.*, 2005).

Análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI)

En el análisis AMMI se observó que el 9.6 % de la suma de cuadrados total fue atribuible a los efectos de las variedades, mientras la variación atribuida que los efectos ambientales y a los de interacción genotipo por ambiente correspondieron 55.24 y 17.62 %, respectivamente; la significancia para la interacción genotipo por ambiente indica que al menos una variedad interaccionó con los ambientes, pero también es posible de que al menos una variedad sea estable y consistente, como se observó en el análisis de parámetros de estabilidad. El método AMMI permitió identificar a tres progenitores femeninos (SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1), a un masculino (CIST), a la variedad local del agricultor y a la cruce intervarietal SINT-3-HE x VE-1, como las que contribuyeron en mayor grado a la interacción variedad por ambiente ($I_{V \times A}$), reforzando el hecho de que las variedades fueron sensibles a los variantes ambientales; además, estas mismas variedades se clasificaron como inconsistentes en el análisis de parámetros de estabilidad.

El análisis gráfico AMMI las cruzas intervarietales VS-529 x CIST, VS-529 x VE-1, SINT-3-HE x VE-3, HEI-1 x VE-3 y el progenitor masculino VE-1, mostraron una ubicación cercana a cero y por lo tanto efectos pequeños de la $I_{V \times A}$ (Crossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002); mismas que fueron estables en el análisis de Eberhart y Russell (1966); las cruzas intervarietales VS-521 x CIST y VS-529 x VE-3 se clasificaron como consistentes y tuvieron buena respuesta en ambientes desfavorables; mientras que la cruza VS-521 x VE-3 mostró buena respuesta en todos los ambientes, pero fue inconsistente.

Con relación a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señalan que los ambientes que exhiben vectores con un ángulo cercano a cero tienen la cualidad de clasificar a las variedades de manera semejante, por lo que se pueden elegir localidades adecuadas para la evaluación de las variedades. De acuerdo a los criterios aplicados por Kempton (1984) y Yan *et al.* (2000), las localidades que mejor discriminaron a las variedades en este estudio fueron, Ahuacatlán 2007, Olinalá 2005 y 2007, y Teloloapan 2005 (A4, A9, A11 y A13). Al evaluar el material genético por varios años en los mismos ambientes, se observó un comportamiento relativamente variable en los ambientes contrastantes; este resultado confirma la importancia de evaluar variedades por varios ciclos en una misma localidad antes de tomar cualquier decisión para su uso comercial.

Otros atributos agronómicos de las cruzas intervarietales y sus progenitores

Las variedades sobresalientes por su potencial productivo, estabilidad y consistencia a través de ambientes, se evaluaron en el ciclo agrícola de 2009 en dos localidades, para valorar sus atributos agronómicos de manera más detallada.

De manera general los progenitores y sus cruzas intervarietales expresaron un comportamiento diferencial en las 15 variables. En efecto, la expresión fenotípica fue diferente en las dos

localidades de siembra como resultado de la divergencia genética entre el material genético (Gómez *et al.*, 1988).

Comportamiento agronómico de las variedades. El progenitor masculino VE-3 mostró mayor rendimiento de grano, debido principalmente a su mayor peso específico de su grano, el progenitor CIST fue también ligeramente superior en número de hileras por mazorca, pero tuvo 0.128 t ha⁻¹ menos de rendimiento de grano, debido a su menor peso específico del grano; esto indica la importancia del peso de grano como componente importante del rendimiento de grano. Los progenitores femeninos, SINT-3-HE y VS-529 difirieron en diámetro de mazorca y número de hileras por mazorca, pero fueron semejantes estadísticamente en rendimiento de grano (t ha⁻¹) y el resto de los caracteres.

El grupo de progenitores femeninos (66 días) fueron estadísticamente más tardíos por tres días respecto a los masculinos (63 días); también, los progenitores masculinos VE-1, VE-3 y CIST, superaron ligeramente al grupo de las hembras en rendimiento de grano, atribuyéndose este comportamiento a que fueron seleccionados en las regiones semicálidas, las hembras se seleccionaron en áreas cálidas y fueron seleccionadas para ser adaptadas a Valles Altos, expresando pequeños cambios en rendimiento de grano pero significativos en características agronómicas.

Las cruzas intervarietales variaron en altura de mazorca, calidad de planta y mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y rendimiento de grano. En particular, las cruzas VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3 presentaron mayor potencial productivo y superaron al resto de cruzas intervarietales, progenitores, testigos y a la variedad local del agricultor; además, fueron más precoces en días a floración masculina y femenina que los híbridos comerciales H-516 y H-565 y la variedad sintética VS-535. Por otra parte, tuvieron altura de mazorca más baja

que la variedad local y que los testigos de la región cálida; en particular la cruza VS-529 x VE-3 tuvo mejor aspecto de mazorca. Estas cualidades contribuyeron en una mejor expresión de rendimiento de grano en las cruzas. El rendimiento de grano de la variedad local fue semejante al de los progenitores masculinos (CIST, VE-1 y VE-3), femeninos (SINT-3-HE y VS-529) y cruzas intervarietales (SINT-3-HE x CIST, VS-529 x CIST y SINT-3-HE x VE-1); sin embargo, la población nativa mostró mayor altura de planta y de mazorca, mayor porcentaje de acame y mazorcas podridas, menor sanidad de mazorca.

Aptitud combinatoria general y específica. Los progenitores CIST y SINT-3-HE contribuyeron con efectos negativos de ACG en rendimiento de grano, altura de la planta y altura de la mazorca (-0.418,-0.212 t ha⁻¹; -2.08, -1.85 cm; -6.38, -0.71 cm) (Cuadros del apéndice 14a, 3a y 4a). Resultado que se reflejó en una menor altura de planta y de mazorca, en la cruza intervarietal SINT-3-HE x CIST; estos efectos se consideran deseables para amortiguar en cierto grado el acame; no así para rendimiento de grano, para el que es deseable que los efectos de ACG sean positivos (Reyes *et al.*, 2004; Escorcía *et al.*, 2010). Los efectos negativos de ACG de los progenitores son deseables para disminuir el ciclo vegetativo, altura de planta y mazorca, acame; en cambio, para una mejor calidad de planta y mazorca, mayor longitud y número de hileras por mazorca y rendimiento de grano, se desearía que los progenitores deseables expresarán efectos positivos.

La cruza VS-529 x CIST presentó ligeramente bajo peso de mazorca y peso de olote; mientras que la cruza intervarietal VS-529 x VE-3 mostró moderadamente menor número de hileras por mazorca. Este resultado puede considerarse favorable cuando se reduce el peso de olote porque significa una mayor proporción de grano; en cambio, si se reduce el peso de mazorca y número de hileras por mazorca se obtendría un decremento en rendimiento de grano.

Cabe mencionar que no es conveniente tener una variedad ó híbrido con mayor altura de planta y mazorca porque favorece un incremento de acame y dificulta la cosecha; un mayor número de mazorcas podridas porque merma el rendimiento de grano. Por lo tanto, una variedad deseable sería la que exprese buen potencial productivo como es el caso de las cruzas VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3, que además mostraron mejor calidad de planta, de mazorca y número de mazorcas sanas. La craza SINT-3-HE x CIST presentó efecto positivo de ACE; sin embargo, sus progenitores exhibieron efectos negativos de ACG y consecuentemente un rendimiento más bajo.

Heterosis. La heterosis promedio para rendimiento de grano fue de 10.6 %, equivalente a una ganancia por vigor híbrido del orden de 0.548 t ha^{-1} , respecto al promedio de los progenitores. Las cruzas intervarietales con mayor porcentaje de heterosis (VS-529 x VE-1 con 26.24 % y VS-529 x VE-3 con 18.27 %), fueron también las de alto rendimiento de grano (6.323 y 6.280 t ha^{-1}) esto indica que sus progenitores presentan divergencia genética y comportamiento *per se* contrastante (Moll *et al.*, 1962; Goodman *et al.*, 2000; Romero *et al.*, 2002; Herrera *et al.*, 2004); en términos absolutos la heterosis fue del orden de 1.314 y 0.970 t ha^{-1} , respectivamente. Las cruzas intervarietales, SINT-3-HE x CIST, VS-529 x CIST, SINT-3-HE x VE-1 y SINT-3-HE x VE-3, exhibieron porcentajes inferiores al 10.6 % de heterosis y mostraron también rendimientos inferiores (5.322 , 5.462 , 5.697 y 5.772 t ha^{-1}) con respecto al promedio general (5.809 t ha^{-1}).

Para la duración del ciclo biológico la heterosis fue negativo (-0.72 y -1.13 % para días a floración masculina y femenina, respectivamente); para calificación de la mazorca (1.78 %), la heterosis fue positiva al presentar las cruzas menor acame (-7.19 %), altura de planta y mazorca intermedia (-1.46 y 1.06 %), menor número de mazorcas podridas (-33.80 %), mayor número de mazorcas sanas (13.54 %). En componentes del rendimiento, las cruzas intervarietales presentaron menor peso de olote (-0.15 %), longitud de mazorca (-2.08 %), y número de hileras

de hileras por mazorca (-1.24 %), mientras que para diámetro y peso de mazorca fueron superiores en 1.01 y 2.26 % (Cuadros 1b al 14b del apéndice).

Los resultados de este análisis indican que al cruzar dos progenitores con efectos positivos de ACG, puede generar descendencia con efectos negativos o positivos de ACE; aunque también depende del grado de divergencia genética de los progenitores (Ponce, 2002; Esquivel *et al.*, 2009). La proporción relativa de los efectos aditivos y los no aditivos indicaron que ambos tipos de acción génica fueron importantes (Baker, 1978), por lo que es posible seleccionar mejores progenitores debido a mostraron diferencias relevantes (Hallauer, 1990).

En el mejoramiento genético por selección e hibridación, los efectos genéticos aditivos (ACG) son de suma importancia (Vasal *et al.*, 1992), al igual que los efectos de dominancia expresados en las cruzas (ACE) de buen potencial de rendimiento. Con base en el rendimiento de grano, heterosis, ACG, ACE, otras características agronómicas y los componentes de rendimiento, las mejores cruzas intervarietales, fueron VS-529 x VE-1 y VS-529 x VE-3.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Con base a los materiales genéticos involucrados y las condiciones agroecológicas en que se evaluaron se puede mencionar las siguientes conclusiones.

- La población nativa del agricultor, mostró mayor altura de planta y mazorca, porcentaje de acame y mazorcas podridas; sin embargo, compitieron con las cruzas intervarietales y en algunas localidades mostraron mayor rendimiento de grano.
- Las poblaciones progenitoras y sus cruzas intervarietales evaluadas en diferentes condiciones ambientales, mostraron buen comportamiento agronómico, moderada aptitud combinatoria general y específica, y heterosis aceptable. La divergencia genética de los progenitores fue un factor importante para obtener una expresión heterótica sobresaliente para el rendimiento de grano.
- Las poblaciones subtropicales tuvieron mejor expresión en las localidades semicálidas del estado de Guerrero, que las poblaciones tropicales en proceso de adaptación a Valles Altos durante 10 años, aunque estas últimas expresaron mejor aspecto de planta y mazorca.
- El ciclo biológico de las cruzas intervarietales fue negativo en días a floración masculina y femenina (-0.72 y -1.13 %) y positiva en calificación de mazorca (1.78 %), presentaron menor acame y número de mazorcas podridas (-8.07 y -33.92 %), mayor número de mazorcas sanas (13.2 %); además, en componentes del rendimiento, presentaron menor peso de olote (-0.2 %), mayor peso y diámetro de mazorca (2.25 y 1.01 %).
- Los parámetros de estabilidad permitieron identificar y agrupar el material genético en diferentes grupos. Seis materiales mostraron estabilidad y consistencia en los ambientes;

la crucea intervarietal VS-529 x VE-3 fue consistente y respondió mejor en ambientes desfavorables; además, fue la que expresó mayor potencial de rendimiento de grano (6.324 t ha^{-1}); 12 variedades se clasificaron como inconsistentes, las cuales se pueden aprovechar en ambientes específicos.

- El análisis AMMI complementó a los parámetros de estabilidad para interpretar mejor el comportamiento del material genético. Además, permitió conocer la contribución de las fuentes de variación; variedades (9.6 %), ambientes (55.2 %) y la interacción variedad por ambiente (17.6 %), y para entender mejor la respuesta compleja de las variedades, específicamente para rendimiento de grano.
- La caracterización agronómica de las poblaciones subtropicales, tropicales y de sus cruces intervarietales, permitió conocer otros atributos favorables, las cuales pueden servir como fuente de genes de este germoplasma.
- Finalmente, se identificaron dos cruces intervarietales de buen potencial productivo, estabilidad y consistencia a través de ambientes y con características agronómicas favorables, las cuales se pueden promover para siembra comercial en las localidades semicálidas del estado de Guerrero.

VII. LITERATURA CITADA GENERAL

- Alcazar A., J. J., y M. Sierra M. 1984. Evaluación de variedades tropicales de maíz de planta baja en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 6: 24-35.
- Ali, N., F. Javidfar, and Y. Mirza. 2003. Selection of stable rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes through regression analysis. *Pak. J. Bot.* 35: 175-183.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.
- Balderrama C., S., J. A. Mejía C., F. Castillo G., y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valle altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147.
- Becker, H. C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1- 23
- Byth, D. E. 1981. A conceptual basis of genotypic x environment interactions for plant improvement. *In: D. E., Byth, and V. E. Mungomery, (ed). Interpretation to Agricultural. Brisbane Queensland. Queensland Branch Australian Institute of Agricultural Science. p. 254-256.*
- Caballero H., F., y T. Cervantes S. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 1(2): 43 - 64.
- Carballo C., A. y F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5: 129-146.
- Castillo G., F y M. M. Goodman. 1989. Agronomic evaluation of Latin American maize accessions. *Crop Sci.* 29: 853-861.
- Castillo G., F. 1994. Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. *In: Memoria del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Monterrey N. L., México. pp. 78-98.*

- Comstock, R., and H. Robinson. 1948. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock, R. and H. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. *In: Gowen, J. W. (ed). Heterosis. Hafner Publishing Company. New York, N. Y. pp: 494-516.*
- Córdova S., H. 1991. 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. *Agronomía Mesoamericana* 2: 1-10.
- Crossa, J., H. Gauch, and R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- De la Cruz L., L., J. Ron P., J. L. Ramírez D., J. J. Sánchez G., M. Morales R., M. Chuela B., S. A. Hurtado de la P., y S. Mena M. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 1-10.
- De la Loma J., L. 1982. *Genética General y Aplicada. 3ª edición UTHEA. México, D. F. 752 p.*
- De León C., H., F. Rincón S., M. H. Reyes V., S. Garduño D., G. Martínez Z., R. Cavazos C., y J. D. Figueroa C. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Eberhart, S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Escorcía G., L. N., J. D. Molina G., F. Castillo G., y J. A. Mejía C. 2010. Rendimiento, Heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(3): 271-279.

- Esquivel E., G., F. Castillo G., J. M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García de los S., J. A. Acosta G., y A. Ramírez H. 2009. Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4): 311-318.
- Fikere, M., T. Tadesse, and T. Letta. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 3(6): 80-87.
- Finlay, K. W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Gámez V., A. J., M.A. Avila P., H. Angeles A., C. Díaz E., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. *Pub. Esp.* 16. INIFAP. Toluca, Edo., Méx. 102 p.
- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ta. Ed. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Gardner, C. O., and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety crosses diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Gauch, H., and R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79: 753-761.
- Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33: 73-115.
- Gómez M., N. O., R. Valdivia B., y H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(2): 103-120.
- Goodman, M. M., J. Moreno, F. Castillo G., R. N. Holley., and M. L. Carson. 2000. Using tropical maize germplasm for temperate breeding. *Maydica* 45: 221-234.
- Hallauer, A. R. 1990. Methods used in developing maize inbreeds. *Maydica* 35(1): 1-16.

- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. Ortega P., M. M. Goodman. 2004. Diversidad genética del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. R. Piña G. (trad). Editorial LIMUSA. Cuarta reimpresión. México. 841 p.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences* 103: 123-135.
- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. Primera edición. Editorial AGT. México. 563 p.
- Medina, S., C. Marín, V. Segovia, A. Bejarano, Z. Venero, R. Ascanio y E. Meléndez. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(3): 255-275.
- Mejía C., J. A., y J. D. Molina G. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 89-94.
- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT editor S. A., México, D. F. 349 p.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety of maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Moll R., H., J. H. Lonquist., J Vélez F., E. C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and divergence in maize. *Genetics* 52:139-144.
- Palemón A., F., N. O. Gómez M., F. Castillo G., P. Ramírez V., J. D. Molina G., y S. Miranda Colín. Aptitud combinatoria y heterosis en cruzas intervarietales de maíz en altitudes intermedias del estado de Guerrero. *Agrociencia* (en prensa).
- Ponce, A., D. D. 2002. Comportamiento de variedades de maíz (*Zea mays* L.) originales y adaptadas de razas mexicanas tropicales y subtropicales y de sus cruzas con variedades

- de clima templado. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 110 p.
- Reyes L., D., J. D. Molina G, M. A. Oropeza R., y E. C. Moreno P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1): 49-56.
- Romero P., J., F. Castillo G., R. Ortega P. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-115.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Econ. Bot.* 54(1): 43-59.
- SAS. Statistical Analysis System Institute 2002. The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34(10): 923-932.
- Vasal, S. K., G. Srinivasan, J. Crossa, and D. L. Beck. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 32: 884-890.
- Vergara A., N., S. A. Rodríguez H., y H. S. Córdova O. 2005. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays* L.) tropical y subtropical. *Agron. Mesoamericana* 16(2): 137-143.
- Yan, W. L., A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.

APÉNDICE

Cuadro 1a. Días a floración masculina (DFM) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	63.6	63.6	64.5	63.9	<i>-0.333</i>
ACE	<i>-0.167</i>	<i>-0.229</i>	<i>0.396</i>		
VS-529	64.6	64.8	64.4	64.6	<i>0.333</i>
ACE	<i>0.167</i>	<i>0.229</i>	<i>-0.396</i>		
Media ACG(♂)	64.1	64.2	64.4	64.3	
ACG (♂)	<i>-0.125</i>	<i>-0.063</i>	<i>0.188</i>		
DMS (♂) = 1.076		DMS (♀) = 0.878		DMS (Cruzas) = 1.521	

Cuadro 2a. Días a floración femenina (DFF) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	65.0	64.6	65.5	65.0	-0.292
ACE	<i>-0.146</i>	<i>-0.333</i>	<i>0.479</i>		
VS-529	65.9	65.9	65.1	65.6	0.292
ACE	<i>0.146</i>	<i>0.333</i>	<i>-0.479</i>		
Media ACG(♂)	65.4	65.3	65.3	65.3	
ACG (♂)	<i>0.104</i>	<i>-0.083</i>	<i>-0.021</i>		
DMS (♂) = 1.061		DMS (♀) = 0.866		DMS (Cruzas) = 1.500	

Cuadro 3a. Altura de planta (ADP, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	241.3	242.3	249.4	244.3	<i>-1.854</i>
ACE	<i>-0.958</i>	<i>-1.646</i>	<i>2.604</i>		
VS-529	246.9	249.3	247.9	248.0	<i>1.854</i>
ACE	<i>0.958</i>	<i>1.646</i>	<i>-2.604</i>		
Media ACG(♂)	244.1	245.8	248.6	246.1	
ACG (♂)	<i>-2.083</i>	<i>-0.396</i>	<i>2.479</i>		
DMS (♂) = 10.913		DMS (♀) = 8.911		DMS (Cruzas) = 15.434	

Cuadro 4a. Altura de mazorca (ADMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	95.8	101.1	109.3	102.0	<i>-0.708</i>
ACE	<i>0.083</i>	<i>-2.917</i>	<i>2.833</i>		
VS-529	97.0	108.4	105.0	103.5	<i>0.708</i>
ACE	<i>-0.083</i>	<i>2.917</i>	<i>-2.833</i>		
Media ACG(♂)	96.4	104.8	107.1	102.8	
ACG (♂)	<i>-6.375</i>	<i>2.000</i>	<i>4.375</i>		
DMS (♂) = 9.474		DMS (♀) = 7.736		DMS (Cruzas) = 13.398	

Cuadro 5a. Calificación de planta (CPI) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	6.3	6.6	6.8	6.5	<i>-0.110</i>
ACE	<i>-0.002</i>	<i>-0.027</i>	<i>0.029</i>		
VS-529	6.5	6.8	6.9	6.8	<i>0.110</i>
ACE	<i>0.002</i>	<i>0.027</i>	<i>-0.029</i>		
Media ACG(♂)	6.4	6.7	6.9	6.6	
ACG (♂)	<i>-0.256</i>	<i>0.044</i>	<i>0.212</i>		
DMS (♂) = 0.397		DMS (♀) = 0.324		DMS (Cruzas) = 0.562	

S: sanidad de la planta (1 = mala y 9 = excelente).

Cuadro 6a. Acame (ACM, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	5.9	4.0	4.3	4.7	<i>0.083</i>
ACE	<i>0.917</i>	<i>-0.083</i>	<i>-0.833</i>		
VS-529	3.9	4.0	5.8	4.5	<i>-0.083</i>
ACE	<i>-0.917</i>	<i>0.083</i>	<i>0.833</i>		
Media ACG(♂)	4.9	4.0	5.0	4.6	
ACG (♂)	<i>0.250</i>	<i>-0.625</i>	<i>0.375</i>		
DMS (♂) = 1.577		DMS (♀) = 1.288		DMS (Cruzas) = 2.230	

(%): porcentaje de plantas acamadas.

Cuadro 7a. Calificación de mazorca (CMz) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	7.5	7.5	7.8	7.6	<i>-0.058</i>
ACE	<i>0.071</i>	<i>-0.079</i>	<i>0.008</i>		
VS-529	7.5	7.8	7.9	7.7	<i>0.058</i>
ACE	<i>-0.071</i>	<i>0.079</i>	<i>-0.008</i>		
Media ACG(♂)	7.5	7.6	7.9	7.7	
ACG (♂)	<i>-0.163</i>	<i>-0.037</i>	<i>0.200</i>		
DMS (♂) = 0.226		DMS (♀) = 0.184		DMS (Cruzas) = 0.319	

S: sanidad de la mazorca (1 = mala y 9 = excelente).

Cuadro 8a. Número de mazorcas podridas (NMzP, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	4.3	4.6	4.9	4.6	<i>-0.146</i>
ACE	<i>0.396</i>	<i>0.146</i>	<i>-0.542</i>		
VS-529	3.8	4.6	6.3	4.9	<i>0.146</i>
ACE	<i>-0.396</i>	<i>-0.146</i>	<i>0.542</i>		
Media ACG(♂)	4.0	4.6	5.6	4.7	
ACG (♂)	<i>-0.729</i>	<i>-0.104</i>	<i>0.833</i>		
DMS (♂) = 1.993		DMS (♀) = 1.628		DMS (Cruzas) = 2.819	

(%): porcentaje.

Cuadro 9a. Número de mazorcas sanas (NMzS, %) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	41.0	41.5	38.6	40.4	<i>0.104</i>
ACE	<i>1.208</i>	<i>0.146</i>	<i>-1.354</i>		
VS-529	38.4	41.0	41.1	40.2	<i>-0.104</i>
ACE	<i>-1.208</i>	<i>-0.146</i>	<i>1.354</i>		
Media ACG(♂)	39.7	41.3	39.9	40.3	
ACG (♂)	<i>-0.583</i>	<i>0.979</i>	<i>-0.396</i>		
DMS (♂) = 4.700		DMS (♀) = 3.838		DMS (Cruzas) = 6.647	

(%): porcentaje.

Cuadro 10a. Peso de mazorca (PDMz, g) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	177.2	186.5	199.3	187.7	<i>3.775</i>
ACE	<i>-4.225</i>	<i>-2.019</i>	<i>6.244</i>		
VS-529	178.1	183.0	179.3	180.1	<i>-3.775</i>
ACE	<i>4.225</i>	<i>2.019</i>	<i>-6.244</i>		
Media ACG(♂)	177.6	184.8	189.3	183.9	
ACG (♂)	<i>-6.267</i>	<i>0.877</i>	<i>5.390</i>		
DMS (♂) = 19.162		DMS (♀) = 15.646		DMS (Cruzas) = 27.099	

g: gramos.

Cuadro 11a. Peso de olote (PDO, g) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	28.3	30.3	32.2	30.3	<i>0.108</i>
ACE	<i>-1.508</i>	<i>-0.458</i>	<i>1.967</i>		
VS-529	31.1	31.0	28.0	30.0	<i>-0.108</i>
ACE	<i>1.508</i>	<i>0.458</i>	<i>-1.967</i>		
Media ACG(♂)	29.7	30.6	30.1	30.2	
ACG (♂)	<i>-0.413</i>	<i>0.475</i>	<i>-0.063</i>		
DMS (♂) = 3.488		DMS (♀) = 2.848		DMS (Cruzas) = 4.933	

g: gramos.

Cuadro 12a. Longitud de mazorca (LDMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	15.6	15.6	16.7	16.0	<i>-0.185</i>
ACE	<i>-0.258</i>	<i>-0.158</i>	<i>0.417</i>		
VS-529	16.5	16.3	16.2	16.3	<i>0.185</i>
ACE	<i>0.258</i>	<i>0.158</i>	<i>-0.417</i>		
Media ACG(♂)	16.1	16.0	16.4	16.2	
ACG (♂)	<i>-0.088</i>	<i>-0.188</i>	<i>0.275</i>		
DMS (♂) = 0.794		DMS (♀) = 0.648		DMS (Cruzas) = 1.123	

Cuadro 13a. Diámetro de mazorca (DDMz, cm) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	5.5	5.7	5.7	5.6	<i>0.075</i>
ACE	<i>-0.094</i>	<i>0.044</i>	<i>0.050</i>		
VS-529	5.5	5.4	5.4	5.4	<i>-0.075</i>
ACE	<i>0.094</i>	<i>-0.044</i>	<i>-0.050</i>		
Media ACG(♂)	5.5	5.5	5.5	5.5	
ACG (♂)	<i>-0.044</i>	<i>0.019</i>	<i>0.025</i>		
DMS (♂) = 0.176		DMS (♀) = 0.143		DMS (Cruzas) = 0.248	

Cuadro 14a. Número de hileras por mazorca (NHXMz) de cruzamientos, aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE, cursivas) promedio de dos ambientes del estado de Guerrero. Verano - Otoño 2009.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			Media ACG (♀)	ACG(♀)
	CIST	VE-1	VE-3		
SINT-3-HE	15.3	15.5	14.1	15.0	<i>0.481</i>
ACE	<i>0.013</i>	<i>0.225</i>	<i>-0.237</i>		
VS-529	14.3	14.1	13.7	14.0	<i>-0.481</i>
ACE	<i>-0.012</i>	<i>-0.225</i>	<i>0.238</i>		
Media ACG(♂)	14.8	14.8	13.9	14.5	
ACG (♂)	<i>0.317</i>	<i>0.279</i>	<i>-0.596</i>		
DMS (♂) = 0.821		DMS (♀) = 0.670		DMS (Cruzas) = 1.161	

Cuadro 1b. Días a floración masculina (DFM) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(días)
SINT-3-HE	CIST	66.8	62.5	63.6	-1.547	-1.000
VS-529	CIST	66.6	62.5	64.6	0.097	0.063
SINT-3-HE	VE-1	66.8	62.8	63.6	-1.737	-1.125
VS-529	VE-1	66.6	62.8	64.8	0.097	0.063
SINT-3-HE	VE-3	66.8	63.0	64.5	-0.578	-0.375
VS-529	VE-3	66.6	63.0	64.4	-0.675	-0.438
	Media	66.7	62.8	64.3	-0.724	-0.469

Cuadro 2b. Días a floración femenina (DFF) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(días)
SINT-3-HE	CIST	68.3	63.9	65.0	-1.608	-1.063
VS-529	CIST	68.0	63.9	65.9	-0.095	-0.063
SINT-3-HE	VE-1	68.3	64.1	64.6	-2.361	-1.563
VS-529	VE-1	68.0	64.1	65.9	-0.284	-0.188
SINT-3-HE	VE-3	68.3	64.1	65.5	-1.039	-0.688
VS-529	VE-3	68.0	64.1	65.1	-1.419	-0.938
	Media	68.1	64.0	65.3	-1.134	-0.750

Cuadro 3b. Altura de planta (ADP, cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(cm)
SINT-3-HE	CIST	243.1	249.0	241.3	-1.956	-4.813
VS-529	CIST	258.1	249.0	246.9	-2.637	-6.688
SINT-3-HE	VE-1	243.1	245.6	242.3	-0.870	-2.125
VS-529	VE-1	258.1	245.6	249.3	-1.042	-2.625
SINT-3-HE	VE-3	243.1	252.5	249.4	0.631	1.563
VS-529	VE-3	258.1	252.5	247.9	-2.913	-7.438
	Media	250.6	249.0	246.1	-1.465	-3.688

Cuadro 4b. Altura de mazorca (ADMz, cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(cm)
SINT-3-HE	CIST	102.9	99.0	95.8	-5.139	-5.188
VS-529	CIST	107.9	99.0	97.0	-6.224	-6.438
SINT-3-HE	VE-1	102.9	91.5	101.1	4.051	3.938
VS-529	VE-1	107.9	91.5	108.4	8.715	8.688
SINT-3-HE	VE-3	102.9	103.8	109.3	5.747	5.938
VS-529	VE-3	107.9	103.8	105.0	-0.768	-0.813
	Media	105.4	98.1	102.8	1.064	1.021

Cuadro 5b. Calificación de planta (CPI) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(S)
SINT-3-HE	CIST	7.0	6.5	6.3	-6.691	-0.450
VS-529	CIST	6.8	6.5	6.5	-2.439	-0.163
SINT-3-HE	VE-1	7.0	6.4	6.6	-1.689	-0.112
VS-529	VE-1	6.8	6.4	6.8	3.409	0.225
SINT-3-HE	VE-3	7.0	6.8	6.8	-1.455	-0.100
VS-529	VE-3	6.8	6.8	6.9	1.835	0.125
	Media	6.9	6.6	6.6	-1.172	-0.079

S: sanidad (1 = mala y 9 = excelente).

Cuadro 6b. Acame (ACM) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(P)
SINT-3-HE	CIST	3.8	5.5	5.9	27.027	1.250
VS-529	CIST	5.6	5.5	3.9	-30.337	-1.688
SINT-3-HE	VE-1	3.8	5.3	4.0	-11.111	-0.500
VS-529	VE-1	5.6	5.3	4.0	-26.437	-1.438
SINT-3-HE	VE-3	3.8	5.4	4.3	-6.849	-0.313
VS-529	VE-3	5.6	5.4	5.8	4.545	0.250
	Media	4.7	5.4	4.6	-7.194	-0.406

(%): porcentaje de plantas acamadas; P: plantas.

Cuadro 7b. Calificación de mazorca (CMz) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(S)
SINT-3-HE	CIST	7.6	7.4	7.5	0.000	0.000
VS-529	CIST	7.5	7.4	7.5	0.251	0.019
SINT-3-HE	VE-1	7.6	7.4	7.5	0.084	0.006
VS-529	VE-1	7.5	7.4	7.8	4.377	0.325
SINT-3-HE	VE-3	7.6	7.7	7.8	2.044	0.156
VS-529	VE-3	7.5	7.7	7.9	3.947	0.300
	Media	7.5	7.5	7.7	1.784	0.134

S: sanidad de la mazorca (1 = mala y 9 = excelente).

Cuadro 8b. Número de mazorcas podridas (NMzP) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(NMzP)
SINT-3-HE	CIST	6.9	7.9	4.3	-42.373	-3.125
VS-529	CIST	7.0	7.9	3.8	-49.580	-3.688
SINT-3-HE	VE-1	6.9	6.6	4.6	-31.481	-2.125
VS-529	VE-1	7.0	6.6	4.6	-32.110	-2.188
SINT-3-HE	VE-3	6.9	7.6	4.9	-32.759	-2.375
VS-529	VE-3	7.0	7.6	6.3	-14.530	-1.063
	Media	6.9	7.4	4.7	-33.805	-2.427

Cuadro 9b. Número de mazorcas sanas (NMzS) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(NMzS)
SINT-3-HE	CIST	38.9	36.0	41.0	9.516	3.563
VS-529	CIST	34.3	36.0	38.4	9.253	3.250
SINT-3-HE	VE-1	38.9	31.0	41.5	18.784	6.563
VS-529	VE-1	34.3	31.0	41.0	25.670	8.375
SINT-3-HE	VE-3	38.9	36.8	38.6	2.149	0.813
VS-529	VE-3	34.3	36.8	41.1	15.845	5.625
	Media	36.6	34.6	40.3	13.536	4.698

Cuadro 10b. Peso de mazorca (g) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(g)
SINT-3-HE	CIST	174.0	185.9	177.2	-1.532	-2.756
VS-529	CIST	174.8	185.9	178.1	-1.237	-2.231
SINT-3-HE	VE-1	174.0	186.1	186.5	3.603	6.488
VS-529	VE-1	174.8	186.1	183.0	1.441	2.600
SINT-3-HE	VE-3	174.0	184.0	199.3	11.344	20.306
VS-529	VE-3	174.8	184.0	179.3	-0.059	-0.106
	Media	174.4	185.3	183.9	2.260	4.050

g: gramos

Cuadro 11b. Peso de olote (g) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%).
Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(g)
SINT-3-HE	CIST	30.5	31.3	28.3	-8.386	-2.594
VS-529	CIST	29.6	31.3	31.1	2.216	0.675
SINT-3-HE	VE-1	30.5	30.7	30.3	-1.102	-0.337
VS-529	VE-1	29.6	30.7	31.0	2.758	0.831
SINT-3-HE	VE-3	30.5	29.0	32.2	8.041	2.394
VS-529	VE-3	29.6	29.0	28.0	-4.394	-1.288
	Media	30.1	30.3	30.2	-0.145	-0.053

g: gramos

Cuadro 12b. Longitud de mazorca (cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(cm)
SINT-3-HE	CIST	15.6	16.7	15.6	-3.400	-0.550
VS-529	CIST	17.6	16.7	16.5	-3.787	-0.650
SINT-3-HE	VE-1	15.6	16.3	15.6	-1.999	-0.319
VS-529	VE-1	17.6	16.3	16.3	-3.654	-0.619
SINT-3-HE	VE-3	15.6	16.3	16.7	4.590	0.731
VS-529	VE-3	17.6	16.3	16.2	-4.248	-0.719
	Media	16.6	16.4	16.2	-2.083	-0.354

Cuadro 13b. Diámetro de mazorca (cm) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(cm)
SINT-3-HE	CIST	5.5	5.5	5.5	-0.796	-0.044
VS-529	CIST	5.2	5.5	5.5	2.570	0.138
SINT-3-HE	VE-1	5.5	5.6	5.7	2.378	0.131
VS-529	VE-1	5.2	5.6	5.4	0.698	0.037
SINT-3-HE	VE-3	5.5	5.7	5.7	1.570	0.087
VS-529	VE-3	5.2	5.7	5.4	-0.345	-0.019
	Media	5.3	5.6	5.5	1.012	0.055

Cuadro 14b. Número de hileras por mazorca (NHXMz) de los progenitores hembra, macho, cruza y heterosis (%). Teloloapan y Olinalá, Gro. Verano - Otoño 2009.

Progenitores		Rendimiento			Heterosis	
Hembra (♀)	Macho (♂)	(♀)	(♂)	Cruza	(%)	(H)
SINT-3-HE	CIST	15.7	14.8	15.3	0.287	0.044
VS-529	CIST	14.5	14.8	14.3	-2.179	-0.319
SINT-3-HE	VE-1	15.7	14.1	15.5	3.946	0.588
VS-529	VE-1	14.5	14.1	14.1	-1.402	-0.200
SINT-3-HE	VE-3	15.7	13.9	14.1	-4.436	-0.656
VS-529	VE-3	14.5	13.9	13.7	-3.661	-0.519
	Media	15.1	14.2	14.5	-1.241	-0.177

H: hileras.