

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONOMICAS
COORDINACIÓN DE POSTGRADO



ANALISIS GENETICO DE LAS CRUZAS DIALELICAS
DE SEIS LINEAS ELITE DE MAIZ CON
GERMOPLASMA DE TEOCINTLE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL

P R E S E N T A

MARGARITO CHUELA BONAPARTE

ZAPOPAN, JAL.

MARZO DE 1999

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL

CONSEJO PARTICULAR



DR. J. JESUS SANCHEZ GONZALEZ
DIRECTOR

DR. JOSE LUIS RAMIREZ DIAZ
ASESOR



DR. JOSE ROM PARRA
ASESOR

Zapopan, Jal., marzo de 1999

AGRACEDIMIENTOS

Al INIFAP, por todas las facilidades otorgadas para realizar los estudios de Maestría y la presente investigación, así como por las oportunidades otorgadas para superarme profesionalmente.

A la Universidad de Guadalajara, por darme la oportunidad de superarme profesionalmente a través de los estudios de maestría.

Al CONACYT, por haber financiado parcialmente la presente investigación a través del Proyecto 1588 PB.

Al Dr. José de Jesús Sánchez González, por las facilidades para participar en sus trabajos de investigación y utilizar algunos de sus experimentos con propósitos de tesis, por sus orientaciones para realizar el análisis estadístico de la información, por la celeridad en la revisión de las diferentes versiones del escrito y por sus acertadas sugerencias y correcciones para hacer más entendible la descripción de los resultados.

Al Dr. José Luis Ramírez Díaz, por su disponibilidad para aclararme dudas acerca de la interpretación de los resultados, por el entusiasmo y rapidez con que revisó y corrigió las diversas versiones del escrito, así como por sus acertadas observaciones, correcciones y comentarios para hacer objetiva y entendible la descripción de los resultados.

Al Dr. José Ron Parra, por la rapidez con que realizó la revisión de la tesis, así como por sus valiosos y acertados comentarios para mejorar la interpretación y presentación de los resultados.

Al M. C. Salvador de la Paz Gutiérrez por haberme motivado para iniciar los estudios de Maestría.

Al M. C. Juan Fco. Casas Salas por todo el apoyo en el trabajo de campo y en la realización de diversos trámites administrativos necesarios para relizar el examen profesional.

A la Sra. Ana Ma. Sánchez Herrera por su disposición y valiosa ayuda para ayudarme a realizar y agilizar los trámites administrativos necesarios para realizar el examen profesional.

A todos los maestros, que con sus conocimientos contribuyeron a que cumpliera con mi programa de estudios de maestría.

A mis compañeros de estudios de maestría y trabajo, que con su apoyo, confianza y amistad contribuyeron a que culminara en forma satisfactoria con esta etapa.

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre, con admiración y respeto, como una muy pequeña muestra de agradecimiento por lo que fue capaz de lograr para sus hijos a pesar de las adversidades, y gracias a lo cual todos sus hijos tuvimos la oportunidad de superarnos a través de los estudios.

A mis hermanos y sus familias por todo el apoyo que siempre me han brindado en todos los aspectos: Ma. de Jesús y sus hijos; José y Marina e hijas; Javier y Estela e hijos; Verónica y Antonio e hijos; Ma. Guadalupe y Raúl e hijos; Ma del Carmen y José e hijos.

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCION	1
11. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Los recursos fitogenéticos y su importancia	5
2.2. El teocintle, su importancia y situación actual	6
2.3. Posibilidades de las especies silvestres en el mejoramiento genético del maíz	8
2.4. Uso de especies silvestres en el mejoramiento de maíz	11
2.5. Diseño de experimentos de cruzas dialélicas	14
2.6. Componentes de varianza y tipos de acción génica en una población y su importancia en el mejoramiento genético	16
III. MATERIALES Y METODOS	20
3.1. Material genético	20
3.2. Método de cruzamientos dialélicos utilizado	22
3.3. Características experimentales	23
3.4. Establecimiento y manejo de los experimentos	23
3.5. Caracteres bajo estudio	24
3.6. Análisis estadístico de la información	26
3.6.1. Transformaciones	26
3.6.2. Análisis de varianza	26
3.6.3. Pruebas de hipótesis nulas para aptitud combinatoria general y específica del análisis de varianza	27

3.6.4.	Estimación de efectos para aptitud combinatoria general y específica	27
3.6.5.	Pruebas de hipótesis de los efectos de aptitud combinatoria para cada progenitor y cruza	29
3.6.6.	Componentes de varianza	31
IV.	RESULTADOS	34
4.1.	Análisis de varianza	34
4.1.1.	Prueba de hipótesis nula para tratamientos	35
4.1.2.	Prueba de hipótesis nula para aptitud combinatoria general	35
4.1.3.	Prueba de hipótesis nula para aptitud combinatoria específica	42
4.1.4.	Coefficientes de variación	44
4.2.	Estimación de efectos para aptitud combinatoria general y específica	44
4.2.1.	Rendimiento de grano	45
4.2.2.	Acame de raíz	47
4.2.3.	Acame de tallo	50
4.2.4.	Mazorcas sanas	53
4.2.5.	Mazorcas dañadas	56
4.2.6.	Días a floración masculina	58
4.2.7.	Días a floración femenina	61
4.2.8.	Altura de planta	64
4.2.9.	Altura de mazorca	67
4.2.10.	Aspecto de planta	70
4.3.	Consideraciones sobre la transferencia de germoplasma de teocintle	73
4.4.	Componentes de varianza	76

V. DISCUSION	88
VI. CONCLUSIONES	92
VII. BIBLIOGRAFIA	95

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág
1. Poblaciones de teocintle y líneas de maíz incluidas en el estudio.	21
2. Análisis de varianza para el método 4 de Griffing para bloques completos al azar.	28
3. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para rendimiento de grano (kg/ha).	36
4. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para acame de raíz.	36
5. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para acame de tallo.	37
6. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para mazorcas sanas.	37
7. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para mazorcas dañadas.	38
8. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración masculina.	38
9. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración femenina.	39
10. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para altura de planta (cm).	39
11. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para altura de mazorca (cm).	40
12. Cuadrados medios y significancia en cruzas maíz-teocintle para aspecto de planta.	40
13. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para rendimiento de grano (kg/ha).	46
14. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para acame de raíz.	49
15. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para acame de tallo.	52

16. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para mazorcas sanas.	55
17. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para mazorcas dañadas.	57
18. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración masculina.	60
19. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración femenina.	63
20. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para altura de planta.	65
21. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para altura de mazorca.	69
22. Aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) y pruebas de hipótesis en cruzas maíz-teocintle para aspecto de planta.	72
23. Efecto de seis fuentes de teocintle en la ACG de seis líneas élite de maíz.	75
24. Efecto de seis fuentes de teocintle en la ACE de seis líneas élite de maíz.	77
25. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para rendimiento de grano (Kg/ha).	81
26. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para acame de raíz.	81
27. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para acame de tallo.	84
28. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para mazorcas sanas.	84
29. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para mazorcas dañadas.	85
30. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración masculina.	85

31. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para número de días a floración femenina.	86
32. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para altura de planta.	86
33. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para altura de mazorca.	87
34. Componentes de varianza en cruzas maíz-teocintle para aspecto de planta.	87

RESUMEN

El trabajo se realizó en condiciones de temporal en el Mpio. de Tlajomulco de Zúñiga en el ciclo PV 1996. Tuvo como objetivos estimar el efecto de diferentes fuentes de teocintle sobre la aptitud combinatoria y varianzas genéticas para diferentes características agronómicas de importancia en el cultivo de maíz. Se partió de la hipótesis de que la incorporación de germoplasma de teocintle modifica positivamente las medias y varianzas genéticas de algunas características de importancia. El estudio consistió en la evaluación de cruzas dialélicas (en Retrocruza 2) realizadas entre seis líneas élite de maíz con y sin teocintle. El método de cruzas utilizado fue el 4 de Griffing para los modelos fijo y aleatorio. Las líneas de maíz utilizadas fueron LPC-1, LPC-2, LPC-5, LPC-18, LPC-21 y Mo17W, en tanto que las fuentes de teocintle fueron Mesa Central, Chalco, Oaxaca, Mazatlán, Jalisco y *Zea diploperennis*. Los resultados más sobresalientes indican que la incorporación de germoplasma de algunas fuentes de teocintle representa una opción para mejorar la ACG y ACE de algunas líneas; en tanto que otras las mejoran en alguna característica pero reducen su valor en otras que pueden ser más importantes. En cuanto a aptitud combinatoria general LPC-2 y LPC-21 fueron las líneas que más se beneficiaron con el teocintle, y la cruce de estas dos líneas presentó resultados positivos y superiores a los esperados de la ACG de las líneas. Con la incorporación de germoplasma de teocintle se mejoró la aptitud combinatoria general de LPC-1 en mazorcas dañadas (CH), acame de raíz (MAZ), acame de raíz y tallo (ZD); LPC-2 en acame de raíz (MC, CH, MAZ y JAL), acame de tallo (OAX, MAZ y ZD), rendimiento de grano (MAZ); LPC-5 en mazorcas sanas (JAL y ZD) y mazorcas dañadas (ZD); LPC-21 en aspecto de planta (OAX, JAL, ZD). También hubo casos en los que se mejoró la ACG para alguna característica pero se empeoró en otras más importantes como en LPC-18 con OAX que tendió a bajar el porte de planta, pero propició mayores problemas de acame de raíz, redujo la proporción de mazorcas sanas y aumentó la de dañadas y además, empeoró el aspecto de planta. Mo17W solamente mejoró su ACG para acame de raíz (CH), en tanto que con MC y MAZ no mejoró para ninguna característica y si tendió a favorecer un incremento en los problemas de acame de raíz. En cuanto a aptitud combinatoria específica hubo varios efectos significativos, pero los más destacados se encontraron en la cruce LPC-2 x LPC-21 que respondió favorablemente a cuatro de las seis fuentes de teocintle: se mejoró en rendimiento de grano (CH, OAX y MAZ), acame de raíz ((CH y MAZ), acame de tallo y aspecto de planta (CH y JAL), mazorcas sanas (OAX y JAL) y mazorcas dañadas (MAZ y JAL). En cuanto a varianzas genéticas se tiene que para rendimiento, en las fuentes ZD, JAL y MC, al igual que en el material original, la varianza aditiva fue de mayor importancia. Los efectos más importantes se dieron en acame de raíz y tallo, ya que en el material original la varianza de dominancia fue la importante, en tanto que dentro de las fuentes de teocintle fue, en general, la varianza genética aditiva.

I. INTRODUCCION

Las plantas son, directa o indirectamente, la base de la alimentación humana y animal. Para satisfacer la demanda de alimentos de la creciente población humana se requieren variedades de plantas cada vez más productivas, con adaptación y resistencia a condiciones ambientales adversas, que produzcan alimentos de mayor calidad y en mayor cantidad, etc. La materia prima fundamental para producir genotipos superiores es la diversidad genética de la especie vegetal o animal que se quiere mejorar. El manejo adecuado de esta diversidad genética permite generar y seleccionar genotipos adecuados para diferentes condiciones de producción.

Todas las especies vegetales domesticadas derivan de alguna forma de las especies silvestres, las que representan un banco de genes que ha sido poco estudiado y utilizado para el mejoramiento de las especies cultivadas. Diversas causas han propiciado que se hayan destruido enormes superficies de ecosistemas, con lo que también han desaparecido muchas especies vegetales y con ellas se han perdido muchos genes que podrían haber sido agronómicamente deseables.

Desde hace varias décadas se han realizado intentos por utilizar especies silvestres de varios géneros en el mejoramiento de cultivos de importancia económica. Muchos estudios han sido suspendidos en las primeras etapas debido a que los híbridos

muestran caracteres indeseables; muchos otros han tenido continuidad y han mostrado el potencial de mejorar tanto caracteres cualitativos (resistencia a enfermedades) como caracteres cuantitativos tales como rendimiento y heterosis. Como ejemplos de lo anterior se tiene que en México se ha colectado un frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* forma silv. mexicana) que contiene una proteína llamada arcelina, la que le confiere a la semilla resistencia al ataque de plagas (gorgojos) de almacén (Cardona y Posso, 1987); Eubanks, citado por Sánchez (1997), señala que *Zea diploperennis* y *Tripsacum dactyloides* confieren resistencia a plagas de la raíz (*Diabrotica virgifera*). Lo anterior confirma la importancia de prestar mayor atención a los recursos fitogenéticos silvestres, como una opción para el mejoramiento genético, no sólo de maíz y frijol, sino de todas aquellas especies de importancia económica actual y potencial.

En cuanto a las especies vegetales cultivadas, el maíz es uno de los tres cereales de mayor importancia mundial, por lo que no es raro que sea uno de los cultivos más estudiados tanto genética como agrónomicamente. Para producir genotipos superiores de maíz, los programas de mejoramiento genético tradicionalmente han utilizado variedades comerciales mejoradas y criollas donde se incluyen diferentes razas de maíz. En cuanto al mejoramiento genético se han logrado avances muy importantes pero, a pesar de lo anterior, se menciona que la base genética que se utiliza para producir genotipos superiores de maíz es reducida. Para tratar de ampliar la

base genética se han utilizado, en los programas de mejoramiento genético, materiales con un origen geográfico diferente, e incluso se ha recurrido al uso de agentes mutagénicos.

Una opción poco utilizada para aumentar la diversidad genética con fines de mejoramiento del maíz es el uso de las especies silvestres o relacionadas. Los parientes silvestres del maíz, colectivamente denominados teocintles, representan una fuente potencial de genes ya que existen teorías que señalan que el maíz cultivado se originó precisamente de éstos (Galinat, 1985).

Existen estudios moleculares que indican que todos los genes que se encuentran en el maíz cultivado están presentes en el teocintle, pero existen genes en éste que no están en el maíz. Lo anterior, aunado a diversos trabajos que indican la factibilidad y la viabilidad del cruzamiento genético entre maíz y teocintle refuerzan el supuesto de que se puede incrementar la diversidad genética del maíz cultivado mediante este procedimiento, con lo que se esperaría mejorar algunas de las características agronómicas de importancia económica en este cultivo.

Una vez que se ha logrado transferir germoplasma de teocintle al maíz, es necesario conocer su efecto sobre los diferentes caracteres agronómicos de importancia económica. Una estrategia genética utilizada son los estudios de aptitud combinatoria, ya que dan información acerca de los tipos de acción génica que controlan

los diferentes caracteres agronómicos, los que a su vez ayudan a definir las estrategias de selección a seguir en un programa de mejoramiento genético. Una de las técnicas utilizadas para realizar los estudios mencionados son los diseños de cruzas dialélicas.

El presente trabajo forma parte de un proyecto que persigue la utilización de especies silvestres (*Zea mexicana* (Schrad.) Kuntze y *Zea diploperennis*, Iltis, Doebley & Guzmán) en el mejoramiento de líneas élite de maíz con patrones de combinación reconocido. El estudio incluye la evaluación de las cruzas dialélicas entre líneas élite de maíz que contienen germoplasma de teocintle y que fueron desarrolladas por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Centro (CIPAC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se tiene como objetivo estimar el efecto de diferentes fuentes de teocintle sobre la aptitud combinatoria y varianzas genéticas en diversas características agronómicas de importancia, bajo la hipótesis de que con la incorporación de germoplasma de teocintle se incrementa la heterosis y se modifican positivamente las medias y varianzas genéticas de algunos caracteres de importancia agronómica en las líneas de maíz consideradas en el estudio.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Los recursos fitogenéticos y su importancia

Sánchez (1997) menciona que los recursos fitogenéticos consisten en la diversidad de material genético contenido en las variedades tradicionales de plantas y cultivares modernos utilizados por los agricultores, incluyendo a los parientes silvestres de dichas plantas. Estos recursos desempeñan un papel de gran importancia ya que bien utilizados representan una opción para incrementar la variabilidad genética, que es la base para desarrollar variedades mejoradas adecuadas para diferentes condiciones de producción; son fuente de nuevas opciones de cultivos y de resistencia a factores adversos como plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas.

Los parientes silvestres de los cultivos son de importancia primordial ya que todas las especies vegetales domesticadas derivan de alguna forma de éstas. Estas especies silvestres representan un recurso potencial en el mejoramiento de las especies cultivadas ya que una parte de su material genético es exclusivo y con las herramientas de biotecnología e ingeniería genética se considera que éstas representan una de las fuentes de genes de mayor importancia para mejoramiento genético en general (Sánchez, 1997). También cita varios ejemplos del uso potencial de estos recursos como son: a) *Zea perennis* y *Zea diploperennis* son resistentes a los virus MDMV, MCDV, MCMV y MSV, b) *Phaseolus metcalfei* es tolerante al

frío y *P. acutifolius* a sequía y a altas temperaturas, c) las formas silvestres mexicanas de *Phaseolus vulgaris* tienen altos niveles de resistencia a los gorgojos brúquidos *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus*, d) *Zea diploperennis* y *Tripsacum dactyloides* confieren resistencia a plagas de la raíz (*Diabrotica virgifera*).

2.2. El teocintle, su importancia y situación actual

Diversos autores consideran que hay una estrecha relación entre el maíz y el teocintle, ya que se considera que el maíz cultivado se originó del teocintle (Galinat, 1985). Los parientes silvestres del maíz se conocen colectivamente con el nombre de teocintle (Sánchez y Ruíz, 1996) y está representado por especies anuales y perennes diploides ($2n=20$) y por una especie tetraploide ($2n=40$). Se encuentra distribuido dentro de las áreas tropicales y subtropicales de México, Guatemala, Honduras y Nicaragua, y se localiza como poblaciones aisladas de tamaño que va desde menos de un Km² hasta varios cientos (Sánchez y Ruíz 1996).

La situación de la distribución del teocintle en México se encuentra bien documentada gracias a los trabajos de Sánchez y colaboradores (Wilkes, 1996). Sánchez y Ruíz (1996) presentan tablas y mapas con información (ubicación, altitud, latitud y longitud) sobre la distribución de las poblaciones de teocintle que se han colectado en México. Reportan más de 190 sitios de

existencia de poblaciones. La diversidad documentada del teocintle comprende 10 grupos anuales y perennes: los anuales se encuentran en ocho grupos de población geográficamente aislados de los cuales seis se encuentran en México (Nobogame, Durango, Mesa Central, Chalco, Balsas y Oaxaca) y dos en Guatemala (razas Guatemala (*Zea luxurians*) y Huehuetenango). Hay dos teocintles perennes (*Zea diploperennis* que es diploide y el tetraploide *Zea perennis*) que sólo existen en áreas restringidas de Jalisco, México (Sánchez y Ruíz, 1996).

En cuanto a la situación actual del teocintle, Wilkes (1996) menciona que la situación de las poblaciones de teocintle en México y Guatemala es: rara para Nobogame, Durango y Oaxaca; indeterminada para Mesa Central y Chalco; estable para Balsas; en peligro para Huehuetenango y Guatemala. También señala que el tamaño de las poblaciones es, en orden decreciente, Balsas, Mesa Central, Chalco, Nobogame y Durango igual a Oaxaca. Por otra parte Sánchez y Ruíz (1996) señalan que es difícil estimar con precisión el peligro de extinción de las poblaciones de teocintle, pero que de acuerdo con lo observado en los últimos 12 años, con excepción de la Cuenca del Balsas - inclusive la mayor parte de las poblaciones de los estados de Guerrero, Michoacán, Jalisco y México - el resto de poblaciones pueden considerarse amenazadas.

Sánchez y Ruíz (1996) mencionan que en el Diario Oficial de la Federación se publicó una lista de la situación de varias especies

vegetales, la que indica que *Zea perennis* está en peligro de extinción y que *Zea diploperennis* es una especie amenazada, pero no menciona algo respecto a la situación de los teocintles anuales.

2.3. Posibilidades de las especies silvestres en el mejoramiento genético del maíz.

Kato (1996) señala que con base en los resultados obtenidos por Doebley (1984) y Kato y López (1990), se puede indicar que el maíz y el teocintle se han mantenido relativamente aislados genéticamente a partir de la domesticación del primero, por lo que se deduce que han tenido la oportunidad de evolucionar independientemente. Sin embargo no se descarta la posibilidad de una baja frecuencia de introgresión ya que en muchas regiones conviven simpátricamente y forman híbridos fértiles.

Kato (1996) menciona que en algunos estudios que analizan características morfológicas, han propuesto que ocurre un considerable flujo genético entre maíz y teocintle y viceversa; pero que estudios cromosómicos, isoenzimáticos y algunos estudios morfológicos llegan a una conclusión diferente. En estos trabajos se considera que la introgresión no ocurre en algunos casos y en otros ocurre en frecuencias muy bajas. Señala que la información y las evidencias que se tienen sobre introgresión maíz-teocintle son indirectas y circunstanciales y por lo tanto no son concluyentes, por lo que persiste la necesidad de estudios futuros.

Sano (1993) señala que diversos estudios bioquímicos y moleculares han mostrado claramente que la diversidad genética en las formas domesticadas es mucho menor que en sus progenitores silvestres. Características útiles como resistencia a enfermedades, a insectos y a tensiones ambientales han sido transferidas de las formas silvestres a las especies cultivadas. En el caso del germoplasma exótico considera que no ha sido utilizado ampliamente por los mejoradores de plantas porque con las características deseables frecuentemente lleva algunas indeseables que afectan la calidad del producto, el rendimiento de grano o la adaptación.

Sánchez y Ruíz (1996) señalan que el teocintle en algunas regiones es considerado como una maleza y los productores tratan de erradicarlo; pero en otras regiones lo utilizan como forraje para el ganado e incluso hay personas que le atribuyen propiedades benéficas por lo que es utilizado en el mejoramiento del maíz. Los productores mencionan que en cuatro años aproximadamente obtienen un maíz nuevo con mejor respuesta que sus variedades tradicionales o híbridos. Uno de los reportes mas antiguos que existen sobre el teocintle es el de Carl Lumholtz (1902), citado por Sánchez y Ruíz (1996), donde se indica que gente de tierra caliente mezcla un almud de teocintle con la semilla del maíz y que la combinación da resultados espléndidos en suelo fértil.

Galinat (1985) señala que el teocintle se consideró firmemente como el ancestro del maíz cuando se descubrió el parecido

citológico entre maíz y teocintle. Por otra parte Reeves (1950) reporta que el teocintle hibridiza bien con el maíz y que las plantas híbridas son fértiles, por lo que consideró factible que el germoplasma de teocintle pueda ser transferido a líneas de maíz por métodos tradicionales de mejoramiento, para posteriormente recobrar líneas modificadas superiores a las originales.

Galinat (1985) menciona que la mayoría de los genes de maíz y teocintle pertenecen a un mismo grupo y se recombinan libremente, por lo que la variabilidad necesaria para el mejoramiento del maíz puede obtenerse de las razas de maíz. También señala que hay ciertos bloques cromosómicos de teocintle que están aislados de libre recombinación con razas de maíz. Señala que diversos estudios han demostrado que el teocintle es una fuente importante de genes para resistencia a enfermedades causadas por virus y por *Cercospora maydis*.

Sánchez y Ruíz (1996) señalan que autores como Wilkes (1979) y Benz et al. (1990) le han atribuido una gran influencia al teocintle en el incremento de la variabilidad y la formación de las principales razas de maíz en México, debido entre otras razones al sistema de reproducción que permite la hibridación natural en los dos sentidos. Goodman (1985) reporta que se han realizado muchos intentos para utilizar teocintle y *Tripsacum* en el mejoramiento del maíz y que se han conseguido relativamente pocos éxitos. Asimismo señala que muchos de estos estudios se han orientado a fines

académicos más que prácticos.

Sehgal y Brown (1965) informaron que Mangelsdorf demostró que el germoplasma de teocintle puede ser incorporado a maíz por el método usual de retrocruza. Este método también fue utilizado exitosamente por Reeves (1950), Lambert y Leng (1965) en sus estudios.

2.4. Uso de especies silvestres en el mejoramiento de maíz

Reeves (1950) en un estudio utilizó líneas texanas de maíz y dos variedades de teocintle (Guatemala y Nobogame). En cuanto a rendimiento de grano encontró que varias de las líneas modificadas produjeron rendimientos cláramente superiores a los testigos y en algunos casos áltamente significativos. Concluye que el teocintle ofrece una fuente de germoplasma para el mejoramiento de algunas líneas de maíz, pero quizás no para todas. Señala que la posibilidad de mejoramiento depende de varios factores: a) la línea de maíz a mejorar, b) la variedad de teocintle y c) la proporción de germoplasma de teocintle incorporada.

Lambert y Leng (1965) estudiaron la respuesta de algunos caracteres cuantitativos (granos por hilera y peso de grano por planta) cuando se retrocruzó la línea de maíz Hy2 con distintas razas geográficas de teocintle (Chalco, Chapingo, Guerrero 243 y 249, Guatemala y Honduras). El objetivo de la investigación fue

detectar algunas diferencias en respuesta entre diferentes razas de teocintle. Los resultados mostraron grandes diferencias entre las distintas razas de teocintle. Los resultados difirieron en mayor grado mientras más distintas eran las razas geográficamente y fueron más similares cuando las razas de teocintle estaban situadas geográficamente más cerca. La respuesta diferencial puede indicar que las razas de teocintle difieren en contribuciones genéticas aditivas cuando se retrocruzan con las líneas endogámicas. Una explicación tentativa para las diferencias puede ser que los teocintles tienen alelos diferentes en algunos loci para las características en cuestión.

Nault y Findley (1981) señalan que en diferentes programas de mejoramiento han confirmado que *Zea diploperennis* es inmune o tolerante a enfermedades virales y micoplasmas importantes: es inmune a virus del enanismo clorótico del maíz, virus del moteado clorótico del maíz y micoplasma del achaparramiento del maíz; tolerante a DMSV (raza B), virus del rayado fino del maíz entre otros. En muchos casos ésta representa la única fuente conocida de resistencia para estas enfermedades en el cultivo. También señala que *Z. diploperennis* puede proveer resistencia a plagas del follaje, gusanos eloteros, barrenadores del tallo y plagas rizófagas. Por otra parte Nault et al. (1982) señalan que la interfertilidad entre maíz y teocintle es una ventaja que hace posible incorporar este grupo de resistencias al maíz.

Cohen y Galinat (1984) estudiaron la posibilidad de incrementar el rendimiento de grano de híbridos de maíz con la incorporación de germoplasma de teocintle y *Tripsacum*. En sus resultados encontraron que los híbridos con mayores rendimientos fueron con las líneas A-158 que contenían teocintle de los tipos Durango y Florida cruzados con los probadores Havel.

Sehgal (1963) estudió dos series de cruzamientos en donde participaron dos líneas de maíz derivadas de Minnesota A-158: a) líneas homocigotas para cromosomas o segmentos de cromosomas de teocintle y b) líneas homocigotas para cromosomas o segmentos cromosómicos extraídos de razas tripsacoides de varios países de América Latina. En el primer grupo utilizó teocintle de las razas Florida (Guatemala), Nobogame y Durango con la línea Texas 4R-3; realizó tres retrocruzamientos. Encontró que la contribución más importante del germoplasma de teocintle fue incrementar la variabilidad fenotípica en el tamaño, forma y longitud de la mazorca y el olote.

El mismo autor evaluó las cruzas posibles entre los grupos derivados de teocintle y *Tripsacum* con el objetivo de estimar los efectos heteróticos. Señala que el germoplasma de teocintle mejoró la aptitud para rendimiento en las combinaciones híbridas estudiadas. Concluyó que el germoplasma de teocintle y *Tripsacum* introducido a el maíz (cromosomas o segmentos cromosómicos) son heteróticos en combinaciones heterocigóticas. Los efectos

heteróticos del germoplasma de teocintle se manifestaron principalmente en incrementos de rendimiento, longitud de la espiga central y antesis temprana.

2.5. Diseño de experimentos de cruza dialélicas

Christie y Shattuck (1992) señalan que el término crusa dialélica se atribuye a un genetista Danés quien lo utilizó en el mejoramiento de ganado y lo usó para designar los cruzamientos de dos machos con dos hembras. También indican que el primer caso documentado en que se aplica el término a plantas fue en 1953.

Un sistema de crusa dialélica se define como el total de cruzamientos entre un grupo de progenitores (Allard, 1960). Por otra parte Griffing (1956) menciona que en el sistema de cruzamientos dialélicos se escoge una serie de p líneas endocriadas y se hacen cruza entre ellas. En los análisis de Griffing normalmente se analizan datos de F_1 , pero los de las F_2 y generaciones segregantes también pueden ser utilizados (Christie y Shattuck, 1992).

Griffing (1956) menciona que un sistema de cruzamientos dialélicos genera un máximo de p^2 combinaciones, las que pueden dividirse en tres grupos: 1) las líneas parentales, 2) una serie de $\frac{1}{2}$ de $p(p-1)$ que equivale a las cruza F_1 directas y 3) la serie de $\frac{1}{2}$ de $p(p-1)$ que representa a las cruza F_1 recíprocas. También

indica que las técnicas de cruzas dialélicas pueden variar dependiendo de si son incluidas o no las líneas progenitoras y las cruzas recíprocas F_1 . Con base en lo anterior existen cuatro métodos experimentales posibles: 1) se incluyen las líneas progenitoras, las cruzas directas y recíprocas F_1 (las p^2 combinaciones), 2) se incluyen las líneas parentales y las cruzas directas F_1 , 3) se incluye la serie de cruzas directas y recíprocas F_1 , pero no los progenitores y 4) se incluye la serie de cruzas directas F_1 , pero no las cruzas recíprocas ni los progenitores.

El mismo autor señala que se pueden presentar las dos situaciones siguientes: 1) cuando las líneas progenitoras o el material experimental se toma como una muestra al azar de alguna población acerca de la cual se van a hacer las inferencias, y éste se conoce como modelo aleatorio y 2) la situación en la que las líneas se seleccionan deliberadamente y no pueden considerarse como una muestra aleatoria de una población, sino que el material experimental constituye la población completa acerca de la cual se van a hacer las inferencias, el cual se conoce como modelo fijo.

Griffing (1956) señala que Sprague y Tatum (1945) definieron originalmente los conceptos de aptitud combinatoria general y específica. "El término aptitud combinatoria general es usado para designar la respuesta promedio de una línea en combinación híbrida y el término aptitud combinatoria específica es utilizado para designar los casos en los que ciertas combinaciones son

relativamente mejores o peores que lo que podría esperarse sobre las bases de la respuesta promedio de las líneas involucradas".

La utilidad de las cruzas dialélicas reside en que se utilizan para estimar las componentes genéticas de la variación entre los rendimientos de las cruzas, así como su capacidad productiva. Kempthorne, Curnow y Griffing, citados por Martínez (1983), fueron quienes identificaron plénamente las relaciones que existen entre la aptitud combinatoria general y específica y los componentes de la variación genética. La aptitud combinatoria general y específica se estiman a través de un diseño dialélico (Márquez, 1988). Sin embargo es importante señalar que los análisis propuestos por Griffing (1956) no proveen ninguna prueba para evaluar epistasis o ligamiento, a diferencia de los propuestos por Hayman y Jinks (Christie y Shattuck, 1992).

2.6. Componentes de varianza y tipos de acción génica en una población y su importancia en el mejoramiento genético.

Una población es un grupo reproductivo integrado por individuos que comparten una carga genética común (Falconer, 1976). Una población está formada por genotipos que se encuentran en ciertas proporciones, los que a su vez están integrados por genes que también se encuentran en determinadas proporciones (Márquez, 1995), por lo que las propiedades genéticas de una población son expresables en términos de frecuencias génicas y genotípicas (Falconer, 1976). Dado que los parientes tienden a parecerse entre

si, esto puede ser utilizado para predecir el resultado de la reproducción selectiva y para indicar el mejor método de realizar la selección. El uso de los individuos más deseables como progenitores proporciona la base para la reproducción selectiva (Falconer, 1976).

Con propósitos de selección en una población, es conveniente conocer los tipos de acción génica, ya que los progenitores transmiten a la siguiente generación los genes y no los genotipos. El tipo de acción génica es la manera en que un gene manifiesta su efecto, sea en forma individual o en combinación con otro u otros genes (Molina, 1992). Sánchez (1974) menciona que Molina divide los tipos de acción génica en tres grandes grupos de acuerdo con el origen de esta acción génica:

- a) La acción génica intralocus que puede ser aditiva y de dominancia. Cuando un gene en un locus no interacciona con su alelo su acción es aditiva, en tanto que cuando interacciona con su alelo la acción es del tipo dominante.

- b) La acción génica interloci que se refiere a la interacción que presenta un gene en un locus cuando se encuentra frente a uno o mas genes de otro u otros loci, lo que se conoce como epistasis.

c) La interacción entre el o los genes y el ambiente, que se conoce como interacción genotipo-ambiente.

Las propiedades a observar en una población en relación con un carácter cuantitativo son las medias, las varianzas y covarianzas (Falconer, 1976). Para analizar las propiedades genéticas de una población hay que desglosar el fenotipo en sus componentes. Uno de los aspectos de mayor importancia en el estudio genético de una población consiste en cuantificar la varianza total y desglosarla en sus componentes para cuantificar la magnitud de la varianza genética aditiva, la de dominancia y la epistática. Lo anterior es de vital importancia ya que estas magnitudes sugerirán el método de mejoramiento más adecuado para aprovechar esta variación (Allard, 1960).

La variación atribuible a causas genéticas puede dividirse en varianza genética aditiva, varianza de dominancia y epistasis. El valor reproductivo de un individuo se asocia con los efectos aditivos de los genes (Falconer, 1976) y es el componente más importante puesto que es la causa principal del parecido entre parientes y, por lo tanto, la principal determinante de las propiedades genéticas observables de la población y de la respuesta de ésta a la selección.

Para hacer mejoramiento en una población es necesario que ésta sea variable genéticamente a fin de escoger los mejores genotipos.

De la variabilidad total la única que contribuye a los avances por la selección es la parte genética, y en forma particular la parte aditiva (Allard, 1960), por lo que la estimación de las varianzas genéticas es de gran importancia en mejoramiento de plantas. El progreso en la mejora de las plantas depende de la naturaleza, magnitud e interrelaciones de las variaciones genéticas y de las no heredables en características agrícolas importantes (Allard, 1960). La selección aprovecha los efectos génicos aditivos, en tanto que la hibridación los no aditivos (Márquez, 1995).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Material genético

El presente estudio consistió en la evaluación de cruzas dialélicas, conteniendo germoplasma de teocintle, entre seis líneas élite de maíz del Programa de Mejoramiento Genético del Campo Experimental Centro de Jalisco del INIFAP. De las seis líneas de maíz utilizadas, cinco fueron obtenidas en México y presentan un grado de endogamia equivalente a una línea S_5 ; la línea Mo17W proviene de la Faja Maicera de EUA. Las líneas mexicanas participan como progenitoras de los híbridos comerciales del INIFAP H-315, H-357, H-358, H-359 y H-360 (Ramírez et al., 1995a, 1995b y 1995c) o en híbridos experimentales sobresalientes (Cuadro 1). Con base en resultados de caracterización morfológica y revisión de literatura se eligieron seis poblaciones de teocintle que representan la diversidad encontrada en México (Sánchez, 1997): Mesa Central, Chalco, Oaxaca, Mazatlán, Jalisco y *Zea diploperennis* (Cuadro 1).

Cada una de las líneas de maíz fue cruzada con las seis poblaciones de teocintle y retrocruzada dos veces, con lo que se obtuvieron seis versiones de cada línea con 12.5 % de teocintle. En PV 1992 se obtuvieron las F_1 maíz-teocintle; en el ciclo PV 1993 se realizaron las $RC_1 F_1$; en OI 1993/1994 las $RC_2 F_1$ y en PV 1995 se obtuvieron cruzas dialélicas dentro de cada grupo de versiones modificadas (en RC_2) de las líneas y entre las líneas originales, es decir se obtuvieron siete grupos de cruzas dialélicas.

CUADRO 1. POBLACIONES DE TEOCINTLE Y LINEAS DE MAIZ INCLUIDAS EN EL ESTUDIO.

COLECCION	RAZA O ESPECIE	SITIO DE RECOLECCION	ALTITUD
JSG y LOS 93	Chalco	México-Amecameca km 52	2490
JSG y LOS 48	Mesa Central	Churinzio, Mich.	1800
JSG y ALA 197	Balsas (Oaxaca)	San Cristobal Honduras	1120
JSG y LOS 106	Balsas (Guerrero)	Mazatlán	1350
JSG 200	Balsas (Jalisco)	La Lima-El Rodeo	1460
U. de G.	Z. diploperennis	Las Joyas, Jal.	1800
Líneas de maíz	Híbridos en que participa		
LPC-1	H-315		
LPC-2	Experimental REMACO-7		
LPC-5	Experimental REMACO-9		
LPC-18	H-357, H-359, H-360		
LPC-21	H-358, H-359		
Mol17W	B73 x Mol17W		

3. 2. Método de cruzamientos dialélicos utilizado

Se utilizó el método 4 de Griffing (1956), que consiste en evaluar las cruzas directas F_1 sin incluir los progenitores ni las cruzas recíprocas. El número de cruzas se calculó con la fórmula:

$X = [P(P-1)]/2$, en donde:

X = Número de cruzamientos directos en F_1

P = Número de progenitores

Dado que se utilizaron como progenitores seis líneas de maíz, resultaron 15 cruzas directas para cada fuente de teocintle. Con cada grupo de 15 cruzas dialélicas se integró un experimento por fuente de teocintle. Además se incluyó un ensayo formado con las cruzas dialélicas de las líneas originales (sin teocintle). Lo anterior dio un total de siete experimentos con 15 cruzas cada uno. El modelo estadístico para el método 4 de Griffing es:

$X_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + b_k + e_{ijk}$, en donde:

μ = media de la población

g_i = efecto estimado para la ACG del progenitor i

g_j = efecto estimado para la ACG del progenitor j

s_{ij} = efecto estimado para la ACE de la craza ij

b_k = efecto del bloque k

e_{ijk} = error experimental para la observación ijk

3. 3. Características experimentales

Cada experimento consistió de 17 entradas, de los cuales 15 correspondieron a las cruzas y el resto a los testigos H-315 y H-357. Las entradas fueron aleatorizadas de acuerdo al diseño experimental bloques completos al azar. Se consideraron tres repeticiones y la parcela total y útil fue de un surco de 4.0 m de longitud y con una separación de 0.80 m. La densidad de población utilizada fue de 62 500 plantas por hectárea.

3. 4. Establecimiento y manejo de los experimentos

Los experimentos se establecieron el 25 de junio en condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano (PV) de 1996 en el Mpio. de Tlajomulco de Zúñiga, Jal. La siembra se hizo manualmente depositando la semilla en el lomo del surco. Previo a la siembra, se aplicó con tractor la mezcla de fertilizante e insecticida para controlar las plagas de la raíz. El tratamiento de fertilización fue el 190-92-00; el nitrógeno se dividió en dos partes iguales: una se aplicó en la siembra junto con todo el fósforo y otra a los 30 días después de la siembra. Para el control de plagas de la raíz se utilizó Furadán al 5 % a una dosis de 20 kg/ha. El control de la maleza se realizó aplicando la mezcla de Primagram 500 (3.0 l/ha) y Gesaprim Combi (2.0 l/ha) preemergente al cultivo y a la maleza. No hubo problemas de densidad de población y el aclareo se realizó 15 días después de la emergencia.

El cultivo no se escardó y se hizo un deshierbe manual 35 días después de la siembra.

3. 5. Caracteres bajo estudio

Durante el desarrollo del cultivo se fue tomando, en cada experimento, una serie de datos sobre algunas características de importancia agronómica y económica. Las variables estudiadas y la forma en que se cuantificaron se hizo de acuerdo a Ron y Ramírez (1991), y fueron:

- a) Rendimiento. La producción de grano de maíz se calculó por hectárea y al 0% de humedad en base a la fórmula:

$$R = \{ (\text{PHC}) (\% \text{ GRANO}/100) [(100 - \% \text{ HUMEDAD}) / 100] \} \times 3125$$

en donde:

R = rendimiento de grano en kg/ha

PHC = peso húmedo de campo (en kg/parcela)

3125 = factor de conversión a kg/ha por el tamaño de parcela

- b) Días a floración masculina. Días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las espigas se encontraban con las anteras expuestas liberando polen.
- c) Días a floración femenina. Días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de los jilotes principales expusieron los

estigmas.

- d) Altura de planta. Se midió en cm y se consideró desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera.
- e) Altura de mazorca. Se midió en cm y se consideró desde el ras del suelo hasta el nudo en donde se inserta la mazorca principal
- f) Acame de raíz. Porcentaje de plantas acostadas, con "cuello de ganso" o con un ángulo de inclinación mayor de 30° . Se cuantificó unos días antes de la cosecha.
- g) Acame de tallo. Porcentaje de plantas con el tallo quebrado o doblado abajo de la mazorca principal. Si el tallo estaba quebrado o doblado por arriba del nudo de la mazorca principal no se consideró como acame. El dato se tomó unos días antes de la cosecha.
- h) Aspecto general de la planta. Calificación visual que trata de englobar la sanidad, el vigor y el aspecto general de la planta. Se utilizó una escala del 1 al 10, en donde 1 se refiere a una planta totalmente indeseable o aniquilada por las enfermedades y el 10 a una totalmente sana y con un porte, desarrollo y sanidad óptimos.

- i) Mazorcas sanas. Porcentaje de mazorcas totalmente sanas.
- j) Mazorcas dañadas. Porcentaje de mazorcas dañadas. Evaluación visual que incluye la suma de las partes dañadas de todas las mazorcas de la parcela.

3. 6. Análisis estadístico de la información.

3. 6. 1. Transformaciones

Cuando se trabaja con información que requiere ser expresada en porcentajes es muy común que los datos no se distribuyan normalmente, y bajo esta situación no procede el análisis de varianza ya que no se estaría cumpliendo uno o más de los supuestos del análisis. Debido a lo anterior las variables acame de raíz y de tallo y mazorcas sanas y dañadas primeramente se transformaron a porcentajes y posteriormente de les aplicó la transformación $(X+0.5)^{\frac{1}{2}}$ para proceder a los análisis de la varianza.

3. 6. 2. Análisis de varianza

El análisis estadístico de la información se realizó utilizando el programa de cómputo DIALLEL desarrollado por Burow y Coors (1993), el cual utiliza las ecuaciones propuestas por Griffing (1956). Los resultados obtenidos se corroboraron con SAS utilizando el programa propuesto por Zhang y Kang (1997). El

análisis de varianza para la aptitud combinatoria se practicó a cada una de las variables en estudio, pero sólo se consideraron las 15 cruzas dialélicas y se excluyeron los testigos comerciales H-315 y H-357. En el Cuadro 2 se indican las fórmulas generales para calcular los grados de libertad, suma de cuadrados y los valores esperados de los cuadrados medios para el método 4 de Griffing.

3. 6. 3. Pruebas de hipótesis nulas para aptitud combinatoria general y específica del análisis de varianza

Bajo el modelo aleatorio las pruebas de hipótesis nulas para la aptitud combinatoria general ($H_0:\sigma^2_g=0$) y específica ($H_0:\sigma^2_s=0$) del análisis de varianza se probaron de la siguiente manera: la $H_0:\sigma^2_g=0$ se probó con $F=CMACG/CMACE$ con $p-1$ grados de libertad para ACG y $p(p-3)/2$ para ACE; la $H_0:\sigma^2_s=0$ con $F=CMACE/CME$ y $p(p-3)/2$ grados de libertad para ACE y los grados de libertad del error experimental. En la información anterior CMACG, CMAGE y CME designan a el cuadrado medio de aptitud combinatoria general, específica y al del error experimental respectivamente. Si el valor calculado de F fue igual o mayor que el tabulado al 1 o 5 % se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la alternativa.

3. 6. 4. Estimación de efectos para aptitud combinatoria general y específica

Los efectos de aptitud combinatoria general y específica se estimaron con base en las fórmulas propuestas por Griffing (1956) para el Método 4 y para el modelo fijo. En base a medias sobre

CUADRO 2. ANALISIS DE VARIANZA PARA EL METODO 4 DE GRIFFING PARA BLOQUES COMPLETOS AL AZAR.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Cuadrados medios esperados	
			Modelo fijo	Modelo aleatorio
Repet.	r-1			
Cruzas	$[p(p-1)/2]-1$			
ACG	p-1	CMACG	$\sigma^2 + (p-2)(1/p-1) \sum_i g_i^2$	$\sigma^2 + r\sigma_s^2 + r(p-2)\sigma_g^2$
ACE	$p(p-3)/2$	CMACE	$\sigma^2 + [2/p(p-3)] \sum_{i<j} s_{ij}^2$	$\sigma^2 + r\sigma_s^2$
error	$[(r-1)(p(p-1)/2)-1]$	CMEE	σ^2	σ^2

en donde:

r= repeticiones

p= número de progenitores

$$\text{CMACG} = \{[(1/p-2) (\sum X_{i.}^2)] - [4/p(p-2) (X..^2)]\}/p-1$$

$$\text{CMACE} = \{[\sum_{i<j} s_{ij}^2 - [(1/p-2) (\sum X_{i.}^2)]] + [2/[(p-1)(p-2)] X..^2]\} / [p(p-3)/2]$$

CMACG = Cuadrado medio para aptitud combinatoria general

CMACE = Cuadrado medio para aptitud combinatoria específica

CMEE = Cuadrado medio para el error experimental

ENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
BIBLIOTECA CENTRAL

repeticiones los efectos para cada línea y craza se estimaron con las fórmulas:

$$\mu = (2X..)/p(p-1)$$

$$\hat{g}_i = [1/p(p-2)] [pX_{i.}-2X..]$$

$$\hat{s}_{ij} = X_{ij} - [(X_{i.}+X_{j.})/(p-2)] + [2X../(p-1)(p-2)], \text{ en donde:}$$

μ = media general estimada

p = número de progenitores

$2X..$ = gran total incluyendo dos veces el valor de todas las cruzas

$X_{i.}$ = suma de los valores de todas las cruzas en que participa el progenitor i

\hat{g}_i = aptitud combinatoria general estimada para el progenitor i

\hat{s}_{ij} = aptitud combinatoria específica estimada para la craza ij

X_{ij} = valor estimado para la craza ij

$X_{j.}$ = suma de los valores de todas las cruzas donde interviene el progenitor j

3. 6. 5. Pruebas de hipótesis de los efectos de aptitud combinatoria para cada progenitor y craza

Las hipótesis que se probaron, a partir de los efectos fueron:

- a) prueba de hipótesis nula ($H_0:\hat{g}_i=0$). Indica que la aptitud combinatoria general estimada para el progenitor i es igual a cero, y

b) prueba de hipótesis nula ($H_0: \hat{s}_{ij}=0$). Señala que la aptitud combinatoria específica estimada para la craza ij es igual a cero

Lo anterior se hizo mediante la prueba de t, y en ambas hipótesis, si el valor de t calculado fue superior al tabulado, se consideró que los valores estimados para g_i y s_{ij} eran diferentes de cero al 5 o al 1% de probabilidad rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa. El valor de tablas se buscó con los grados de libertad del error experimental a los niveles de probabilidad del 1 y 5%. Los valores de t se calcularon con base a las ecuaciones:

$$tc(g_i) = \hat{g}_i / [\text{var}(\hat{g}_i)]^{1/2} \text{ y}$$

$$tc(s_{ij}) = \hat{s}_{ij} / [\text{var}(\hat{s}_{ij})]^{1/2}, \text{ en donde:}$$

$tc(g_i)$ y $tc(s_{ij})$ representan los valores calculados de t para la aptitud combinatoria general del progenitor i y para la aptitud combinatoria específica de la craza ij, respectivamente.

\hat{g}_i = aptitud combinatoria general estimada para el progenitor i

\hat{s}_{ij} = aptitud combinatoria específica estimada para la craza ij

$\text{var}(\hat{g}_i)$ = varianza del efecto de aptitud combinatoria general del progenitor i

$\text{var}(\hat{s}_{ij})$ = varianza del efecto de aptitud combinatoria específica de la craza ij

Las varianzas $\text{var}(\hat{g}_i)$ y $\text{var}(\hat{s}_{ij})$ se estimaron con las ecuaciones propuestas por Griffing (1956), y son:

$$\text{var}(\hat{g}_i) = [(p-1)/p(p-2)]\sigma_e^2 \text{ y}$$

$$\text{var}(\hat{s}_{ij}) = [(p-3)/(p-1)]\sigma_e^2$$

En las ecuaciones anteriores la σ_e^2 representa el cuadrado medio del error en el cuadro de análisis de varianza. En los cuadros en donde se señala la significancia para los efectos de cada crusa y progenitor, en las variables en donde se hicieron transformaciones (acame de raíz, acame de tallo, mazorcas sanas y mazorcas dañadas), se indican los valores originales estimados pero la significancia es en base a las variables transformadas.

3. 6. 6. Componentes de varianza

Se estimaron los componentes de varianza para cruzas, aptitud combinatoria general y específica, varianza genética aditiva y de dominancia. Para la estimación de las varianzas aditiva y de dominancia se consideró un nivel de endogamia de 0.75 que es el que le corresponde a una retrocruza 2; en el experimento 7 que incluye las cruzas de las líneas originales, sin teocintle, se manejó un nivel de endogamia de 0.96875 que es el equivalente a una línea S_5 . Los componentes de varianza se calcularon a partir de los resultados del análisis de varianza. Bajo el supuesto de ausencia de epistasis se utilizaron las ecuaciones:

a) Varianza estimada para aptitud combinatoria general (σ^2_g)

$$\sigma^2_g = (\text{CMACG} - \text{CMACE}) / r(p-2)$$

b) Varianza estimada para aptitud combinatoria específica (σ^2_s)

$$\sigma^2_s = (\text{CMACE} - \text{CMEE}) / r$$

c) Varianza genética aditiva (σ^2_A)

La fórmula que indica la equivalencia entre la aptitud combinatoria general y la varianza genética aditiva es

$$\sigma^2_g = [(1+F)/4] \sigma^2_A$$

En la ecuación anterior F se refiere al coeficiente de endogamia. Realizando las sustituciones y despejando queda que la varianza genética aditiva es:

$$\sigma^2_A = \{[(\text{CMACG} - \text{CMACE}) / (r(p-2))] * 4\} / (1+F)$$

d) Varianza genética de dominancia (σ^2_D)

La ecuación que indica la equivalencia entre aptitud combinatoria específica y varianza genética de dominancia es:

$$\sigma^2_g = [(1+F)/2]^2 \sigma^2_D$$

y al hacer las sustituciones respectivas y despejando resulta que la varianza genética de dominancia se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma^2_D = [(CMACE - CMEE) / r] / [(1+F) / 2]^2$$

e) Varianza para el error experimental (σ^2_{EE})

σ^2_{EE} = Cuadrado medio del error en el análisis de varianza

Las abreviaturas que se utilizan en este apartado, así como su significado, se indican a continuación.

σ^2_A = varianza genética aditiva estimada

σ^2_D = varianza genética de dominancia estimada

CMAGG = cuadrado medio para aptitud combinatoria general en el análisis de varianza

CMACE = cuadrado medio para aptitud combinatoria específica en el análisis de varianza

CMEE = cuadrado medio del error experimental en el análisis de varianza

r = número de repeticiones

p = número de progenitores

F = coeficiente de endogamia

IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los siete experimentos dialélicos se concentran en los Cuadros 3 al 34. En los resultados y discusión la información se presenta de la manera siguiente: para designar a la aptitud combinatoria general y específica se utilizan las abreviaturas ACG y ACE respectivamente, en tanto que para las fuentes de teocintle Mesa Central, Chalco, Oaxaca, Mazatlán, Jalisco y *Zea diploperennis* se usan MC, CH, OAX, MAZ, JAL y ZD. El experimento que incluye las líneas de maíz sin teocintle se les denomina líneas originales (original).

Cabe recordar que las cruza dialélicas dentro de cada fuente de teocintle se evaluaron como experimentos independientes, por lo que no se llevaron a cabo comparaciones estadísticas entre los diferentes experimentos. A pesar de lo anterior, se analizaron las tendencias acerca de como se modificó la ACG, la ACE y los componentes de varianza en las diferentes variables en estudio, cuando a diferentes líneas de maíz se les incorporó germoplasma de teocintle.

4.1. Análisis de varianza

En los Cuadros 3 al 12 se presentan los valores de los cuadrados medios de los análisis de varianza y la significancia de los valores de F al 5% (*) y al 1% (**) de probabilidad para las diferentes fuentes de variación y variables.

4.1.1. Prueba de hipótesis nula para tratamientos

La prueba de F indicó diferencia significativa para todas las fuentes de teocintle, incluyendo las líneas originales, en las variables acame de tallo (Cuadro 5), mazorcas dañadas (Cuadro 7), días a floración masculina y femenina (Cuadros 8 y 9), altura de planta y mazorca (Cuadros 10 y 11), así como en aspecto general de la planta (Cuadro 12), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que señala que dentro de cada fuente de teocintle hay cruza o tratamientos que difieren estadísticamente del resto.

En otras variables no se detectaron diferencias significativas dentro de algunas fuentes de teocintle: en rendimiento de grano hubo significancia en cinco fuentes, pero no con ZD (Cuadro 3); en acame de raíz hubo significancia en cuatro fuentes, pero no se detectó con JAL, ZD y Original (Cuadro 4); en mazorcas sanas hubo significancia en cuatro fuentes y las originales, pero no se presentó con MC y MAZ (Cuadro 6). Lo anterior indica que existe un comportamiento diferencial entre las fuentes de teocintle.

4.1.2. Prueba de hipótesis nula para aptitud combinatoria general

Los resultados del análisis de varianza señalan que, para ACG, hubo significancia estadística dentro de todas las fuentes de teocintle, incluyendo las líneas originales, en las variables

CUADRO 3. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA RENDIMIENTO DE GRANO (kg/ha).

FUENTE DE VARIACION	M CENTRAL	F U E N T E S DE T E O C I N T L E	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts	170447.4	441465.1	110065.9	406972.1	41413.7	3423179.1	867678.0	
Trats	2203512.6 *	1839354.2 **	3242502.8 **	2793374.9 **	3560423.9 **	1825108.1	3811333.2 **	
acg	5234477.8 **	953386.5	4883362.6	5004682.9	7368680.2 *	2761256.6	8535554.5 **	
ace	519643.0	2331558.5 **	2330914.0 *	1564870.5 **	1444726.0 *	1305025.6	1186765.9	
error	1007696.3	580489.7	800468.4	347742.6	626795.5	1159966.1	1016302.6	
cv(%)	15.8	11.7	16.4	10.7	12.9	17.2	15.0	
Media (kg/ha)	6349.6	6485.0	5446.8	5510.4	6169.2	6245.6	6738.1	

CUADRO 4. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE RAIZ.

FUENTE DE VARIACION	M CENTRAL	F U E N T E S DE T E O C I N T L E	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts	3.18956	2.04422	0.15089	7.42467	1.29356	2.92956	0.41267	
Trats	3.03165 **	7.04022 **	4.17565 *	7.88057 **	1.86137	1.61756	0.36086	
acg	6.59222 **	11.47956	3.49056	14.16733	3.85756 *	2.19089	0.23133	
ace	1.05356	4.57393	4.55626 *	4.38793 *	0.75237	1.29904	0.43281	
error	0.97979	2.19613	2.02375	1.44610	1.81998	1.43646	0.40124	
cv(%)	41.8	41.4	31.5	31.9	58.2	82.0	64.2	
Media (%)	2.4	3.6	4.5	3.8	2.3	1.5	1.0	

CUADRO 5. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE TALLO.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	ORIGINAL
	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP		
Repts	1.45756	0.59267	0.20067	3.10067	3.78600	1.13400		1.43756
Trats	3.34708 **	3.53524 *	4.63057 **	5.57333 **	2.74752 *	5.64657 **		2.62022 **
acg	5.72289	3.14967	10.92267 **	12.54867 **	4.01767	13.35333 **		3.54756
ace	2.02719 *	3.74944 *	1.35719	1.69815	2.04189	1.36504		2.10504 **
error	0.87994	1.48576	1.60781	1.51186	1.18195	0.87114		0.68184
cv(%)	38.3	54.6	41.4	39.7	39.0	45.5		56.6
Media (%)	2.5	2.2	3.1	3.1	2.8	2.1		1.5

CUADRO 6. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS SANAS.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	F U E N T E S O A X A C A	ORIGINAL
	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP		
Repts	3.81956	7.27756 **	0.29356	0.08867	5.91489 *	2.77489 *		3.47489
Trats	1.62117	3.12927 **	1.57498 *	1.51943	2.67498 *	2.67308 **		6.92127 **
acg	1.31022	2.17722	2.72989	2.12200	4.09822	2.38122		14.63222 *
ace	1.79393	3.65819 **	0.93337	1.18467	1.88985	2.83522 **		2.63741
error	1.27551	1.00684	0.61927	0.88438	1.15798	0.57798		2.48132
cv(%)	59.4	51.0	65.1	55.8	50.7	42.0		54.5
Media (%)	1.9	2.0	1.2	1.7	2.1	1.8		2.9

CUADRO 7. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS DAÑADAS.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts	0.27467	0.48800 *	0.14289	0.00867	0.28089	0.12267	1.87289 **	
Trats	1.10562 **	0.44990 **	0.84232 **	1.62010 **	1.16184 **	0.87371 **	1.74689 **	
acq	2.34867 *	0.76800	1.98822 **	2.68533	2.23756 *	1.57567	3.70422 *	
ace	0.41504	0.27319	0.26126	1.02830 *	0.56422 *	0.48374	0.65948 *	
error	0.20229	0.14633	0.23217	0.46248	0.18875	0.30838	0.26837	
cv(%)	10.2	9.7	14.6	14.7	9.8	12.7	12.6	
Media (%)	4.4	4.0	4.3	4.6	4.5	4.4	4.1	

CUADRO 8. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DE DIAS A FLORACION MASCULINA.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts	0.82222	1.15556	5.95556	0.02222	0.42222	4.95556	6.68889 *	
Trats	8.36698 **	13.22222 **	8.66032 **	2.04127 *	9.02222 **	9.59365 **	8.12698 **	
acq	19.58889 **	35.18889 **	17.38889 *	4.78889 **	21.32222 **	18.22222 *	20.62222 **	
ace	2.07037 **	1.01852	3.81111	0.51482	2.18889	4.80000 *	1.18519	
error	0.65556	1.01270	2.43175	0.90318	1.25556	1.86032	1.49841	
cv(%)	1.2	1.5	2.3	1.4	1.6	2.0	1.8	
Media	66.6	66.8	68.3	68.8	68.4	68.6	69.6	

CUADRO 9. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DIAS A FLORACION FEMENINA.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S M CENTRAL	C H A L C O	O A X A C A	M A Z A T L A N	J A L I S C O	Z D I P L O P	O R I G I N A L
Repts	4.86667 *	0.80000	7.46667	0.15556	0.42222	6.68889	8.08889 *
Trats	10.77143 **	16.09524 **	9.58095 **	3.50794 *	10.45079 **	15.56508 **	8.16508 **
acg	23.06667 *	43.10000 **	20.43333 *	8.02222 **	24.72222 **	34.02222 **	19.28889 **
ace	3.94074 **	1.09259	3.55182	1.00000	2.52222	5.31111	1.98519
error	1.43810	1.96667	2.77619	1.36984	1.54127	2.59365	2.18413
cv(%)	1.8	2.1	2.5	1.7	1.8	2.3	2.1
Media	66.3	65.7	68.1	68.8	68.4	68.8	70.3

CUADRO 10. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE PLANTA (cm).

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S M CENTRAL	C H A L C O	O A X A C A	M A Z A T L A N	J A L I S C O	Z D I P L O P	O R I G I N A L
Repts	1077.46500 **	180.51200	4.70789	30.56089	100.51289	5.14756	55.35289
Trats	457.01300 **	454.45520 **	1033.10451 **	525.66756 **	726.68660 **	792.75213 **	728.77803 **
acg	1153.59800 **	1086.56130 **	2353.90489 **	1245.93020 **	1691.54889 **	1958.63556 **	1965.19689 **
ace	70.02900	103.28520	299.32652 **	125.52163	190.65200 *	145.03911 *	41.87867
error	67.88600	67.69010	68.46679	81.87232	67.15384	54.36089	37.63098
cv(%)	3.6	3.7	3.8	4.0	3.6	3.4	2.8
Media	228.4	220.8	217.9	228.2	230.6	218.3	217.2

CUADRO 11. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE MAZORCA (cm).

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S D E T E O C I N T L E ORIGINAL	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts		444.04300 **	109.07820	28.51822	36.10756	13.73422	8.29422	49.39289
Trats		311.53800 **	303.23400 **	683.93841 **	292.38032 **	557.07403 **	450.03594 **	367.61118 **
acg		655.03100 *	791.38090 **	1735.09422 **	534.24222	1324.44489 **	1119.48489 **	966.97289 **
ace		120.70800 **	32.04130	99.96296 **	158.01259 *	130.75689 *	78.11985 **	34.63244
error		27.01500	42.46490	24.43156	59.59994	46.67708	17.87422	24.15670
cv(%)		4.1	5.6	4.2	6.3	5.5	3.7	4.5
Media		125.9	117.5	117.6	122.6	123.6	113.5	109.5

CUADRO 12. CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ASPECTO DE PLANTA.

FUENTE DE VARIACION	F U E N T E S D E T E O C I N T L E ORIGINAL	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Repts		1.15556 **	0.46667	0.62222	0.62222	1.08889 *	0.68889 *	0.68889
Trats		1.49841 **	1.24762 **	1.27937 **	0.89841 **	1.12698 **	1.13651 **	1.13651 **
acg		2.65556	2.56667 *	2.08889	0.22222 **	1.75556	2.62222 **	2.42222 *
ace		0.85556 **	0.51482 **	0.82963 *	0.16296	0.77778 *	0.31111	0.42222
error		0.17937	0.15714	0.28889	0.26508	0.25556	0.14217	0.21270
cv(%)		7.9	8.0	12.0	11.5	11.4	8.4	9.8
Media		5.4	4.9	4.5	4.5	4.4	4.5	4.7

días a floración masculina y femenina (Cuadros 8 y 9) y en altura de planta (Cuadro 10). En estos casos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que señala que dentro de cada fuente de teocintle el comportamiento promedio de cada progenitor en combinaciones híbridas es diferente y que hay líneas que, en promedio, producen mejores combinaciones que otras.

En las variables rendimiento de grano, acame de raíz y tallo, mazorcas sanas y dañadas, altura de mazorca y aspecto de planta (Cuadros 3, 4, 5, 6, 7, 11 y 12, respectivamente) el comportamiento fue diferente dependiendo de la fuente de teocintle. La hipótesis nula se acepta en las variables rendimiento de grano dentro de CH OAX, MAZ y ZD (Cuadro 3); en acame de raíz con CH, OAX, MAZ, ZD y original (Cuadro 4); en acame de tallo con MC, CH, JAL y original (Cuadro 5); en mazorcas sanas con todas las fuentes, menos en la original (Cuadro 6); en mazorcas dañadas con CH, MAZ y ZD (Cuadro 7); en altura de mazorca con MAZ (Cuadro 11) y en aspecto de planta con MC, OAX y JAL (Cuadro 12), por lo que el comportamiento promedio de los progenitores fue similar. Por otra parte, en las variables rendimiento de grano con MC, JAL y original (Cuadro 3); acame de raíz con MC y JAL (Cuadro 4); acame de tallo con OAX, MAZ, y ZD (Cuadro 5); mazorcas sanas con original (Cuadro 6); mazorcas dañadas con MC, OAX, JAL y original (Cuadro 7); altura de mazorca con todas las fuentes, menos con MAZ (Cuadro 11) y en aspecto de planta con CH, MAZ, ZD y original (Cuadro 12) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que señala que algunos

progenitores en promedio producen, sólo con algunas fuentes de teocintle, mejores combinaciones que otros.

Tomando como referencia el dialélico original, en los dialélicos de las líneas con seis fuentes de teocintle se identificaron cambios significativos en la ACG en los casos siguientes: a) en rendimiento de grano en las líneas originales y en las fuentes MC y JAL, b) en acame de raíz no se detectaron diferencias en ACG con las líneas originales, pero si al utilizar MC y JAL, c) para acame de tallo no se encontraron diferencias para ACG en las líneas originales, pero si con las fuentes de teocintle OAX, MAZ y ZD, d) para mazorcas sanas y dañadas se identificaron diferencias en ACG con las líneas originales, pero no con alguna fuente de teocintle en mazorcas sanas y sólo con MC, OAX y JAL para mazorcas dañadas, e) en altura de mazorca con las líneas originales y en todas las fuentes de teocintle, menos con MAZ; f) en aspecto de planta se identificaron diferencias en ACG en el material original, al igual que con las fuentes CH, MAZ y ZD; g) para días a floración masculina y femenina y altura de planta se percibieron diferencias significativas para ACG en todos los experimentos.

4.1.3. Prueba de hipótesis nula para aptitud combinatoria específica

Se detectaron diferencias significativas para ACE en todas las variables, pero no dentro de todas las fuentes de teocintle. Se acepta la hipótesis nula en las cruza de las líneas originales para los caracteres rendimiento de grano, acame de raíz, mazorcas

sanas, días a floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca y aspecto general de la planta (Cuadros 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11 y 12, respectivamente). También se acepta esta hipótesis en rendimiento de grano con MC y ZD (Cuadro 3); acame de raíz con MC, CH, JAL y ZD (Cuadro 4); acame de tallo con OAX, MAZ, JAL y ZD (Cuadro 5); mazorcas sanas con MC, OAX, MAZ y JAL (Cuadro 6); mazorcas dañadas con MC, CH, OAX y ZD (Cuadro 7); floración masculina con CH, OAX, MAZ y JAL (Cuadro 8); floración femenina con CH, OAX, MAZ, JAL y ZD (Cuadro 9); altura de planta con MC, CH y MAZ (Cuadro 10); altura de mazorca con CH (Cuadro 11) y aspecto general de la planta con con MAZ y ZD (Cuadro 12).

Es interesante señalar la ausencia de significancia en la ACE de las líneas originales, en contraste con algunas fuentes de teocintle; tal es el caso de los caracteres rendimiento de grano con CH, OAX, MAZ y JAL (Cuadro 3); acame de raíz con OAX y MAZ (Cuadro 4); mazorcas sanas con CH y ZD (Cuadro 6); floración masculina con MC y ZD (Cuadro 8); floración femenina con MC (Cuadro 9); altura de planta con OAX, JAL y ZD (Cuadro 10); altura de mazorca con MC, OAX, MAZ, JAL y ZD (Cuadro 11) y aspecto general de la planta con MC, CH, OAX y JAL (Cuadro 12). La contraparte de lo anterior es cuando hay significancia en la ACE de las líneas originales pero no dentro de algunas fuentes de teocintle como en acame de tallo con OAX, MAZ, JAL y ZD (Cuadro 5) y en mazorcas dañadas con MC, CH, OAX y ZD (Cuadro 7).

4.1.4. Coeficientes de variación

En cuanto a los coeficientes de variación, se encontró que para rendimiento de grano éstos fluctuaron de 10.7 a 17.2% (Cuadro 3); para mazorcas dañadas de 9.7 a 14.7% (Cuadro 7); en días a floración masculina y femenina de 1.2 a 2.5% (Cuadros 8 y 9); en altura de planta de 2.8 a 4.0% (Cuadro 10); en altura de mazorca de 3.7 a 6.3% (Cuadro 11) y en aspecto general de la planta de 7.9 a 12.0% (Cuadro 12). De acuerdo al tipo de variables, estos valores se consideran aceptables para experimentos conducidos bajo condiciones de temporal. Los coeficientes de variación para acame de raíz fluctuaron de 31.5 a 82.0% (Cuadro 4), para acame de tallo de 38.3 a 56.6% (Cuadro 5) y para mazorcas sanas de 42.0 a 65.0% (Cuadro 6). Estos valores son altos debido a que se trata de variables discretas, pero comparados éstos con los informados en la literatura se encuentran en el rango reportado, por lo que se considera que las inferencias a partir de la información son totalmente válidas.

4.2. Estimación de efectos para aptitud combinatoria general y específica.

Dentro de esta sección las inferencias se hacen con referencia a las líneas y cruzas, es decir al material experimental evaluado. En la parte superior de los Cuadros 13 a 22 se indican los efectos estimados para la ACG de cada línea con y sin teocintle, en tanto que en la inferior los efectos de ACE para cada cruz. Se indica

con * o ** si los valores son estadísticamente diferentes de cero con probabilidades de 5% y 1%, respectivamente. Los efectos que no se acompañan con asteriscos no son significativos y estiman a cero, por lo que en estos casos se aceptará la hipótesis nula. La información presentada podrá ser útil en la selección de progenitores que tienen buena ACG en series de cruzamientos o buena ACE para series específicas de cruzamientos.

4.2.1. Rendimiento de grano

Las líneas originales LPC-1, LPC-21 y LPC-18 tuvieron valores positivos y significativos de ACG para rendimiento de grano. Asimismo, al analizar la consistencia de las líneas cuando se les transfirió germoplasma de teocintle, la ACG de LPC-21 fue positiva y consistente en las seis fuentes de teocintle, LPC-1 sólo fue consistente con las fuentes ZD, JAL, MAZ y CH y LPC-18 fue consistente con JAL y MC (Cuadro 13). También es importante señalar que la ACG de las líneas originales Mo17W, LPC-5 y LPC-2 fue negativa y significativa para rendimiento de grano, excepto para LPC-2. La ACG de Mo17W fue consistentemente negativa con las seis fuentes de teocintle; en LPC-5 la ACG sólo fue negativa con JAL, MAZ, OAX y MC y en LPC-2 la ACG también fue negativa con las fuentes ZD, JAL, CH y MC; pero es importante destacar que la ACG de LPC-2 con la fuente MAZ fue positiva y significativa (Cuadro 13).

CUADRO 13. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA RENDIMIENTO DE GRANO (kg/ha).

	F U E N T E	M C E N T R A L	C H A L C O	O A X A C A	M A Z A T L A N	J A L I S C O	Z D I P L O P	O R I G I N A L
ACG								
LPC-1		-70.36667	440.45000 *	-453.11389	484.41111 **	515.19444 *	637.18056 *	777.78333 **
LPC-2		-96.85833	-51.30833	250.13611	420.46111 *	-174.47222	-228.52778	-304.73333
LPC-5		-402.63333	30.05000	-162.51389	-296.00556	-666.80556 **	132.04722	-546.82500 *
LPC-18		430.95833	-50.45833	-222.89722	-95.39722	614.11111 **	-143.26111	755.35000 **
LPC-21		1020.55833 **	69.78333	1165.30278 **	593.35278 **	833.52778 **	337.63889	596.45000 *
Mo17W		-881.65833 **	-438.51667 *	-576.91389 *	-1106.82222 **	-1121.55556 **	-735.07778 *	-1278.02500 **
Error est. (g _i =0)		264.53527	200.77795	235.77125	155.39880	208.63237	283.81896	265.66251
ACE								
LPC-1 x LPC-2		203.31167	-39.92167	-514.74667	-756.18333	-1273.96667 **	163.39833	-11.44333
LPC-1 x LPC-5		-589.74667	-183.28000	-538.39667	147.21667	-37.63333	283.92333	651.08167
LPC-1 x LPC-18		536.89500	442.36167	101.55333	830.47500 **	532.78333	-116.43500	64.50667
LPC-1 x LPC-21		33.89500	-493.48000	886.35333 *	18.89167	680.03333	-20.73500	101.34000
LPC-1 x Mo17W		-184.35500	274.32000	65.23667	-240.40000	98.78333	-310.15167	-805.48500
LPC-2 x LPC-5		100.14500	-1256.02167 **	-104.88000	-417.00000	-12.96667	-43.90167	-367.23500
LPC-2 x LPC-18		-28.11333	180.85333	-70.16333	251.59167	-69.21667	525.27333	505.89000
LPC-2 x LPC-21		-83.31333	1525.91167 **	1185.23667 **	1069.44167 **	635.03333	193.84000	485.52333
LPC-2 x Mo17W		-192.03000	-410.82167	-495.44667	-147.85000	721.11667	-838.61000	-612.73500
LPC-5 x LPC-18		-226.00500	818.36167 *	-255.04667	350.62500	-17.21667	257.29833	-489.55167
LPC-5 x LPC-21		-47.17167	170.68667	-208.68000	-557.49167 *	60.70000	-993.36833 *	-259.58500
LPC-5 x Mo17W		762.77833	450.25333	1107.00333 **	476.65000	7.11667	496.04833	465.29000
LPC-18 x LPC-21		100.10333	-1165.47167 **	-481.23000	-937.56667 **	-497.55000	-249.29333	-680.52667
LPC-18 x Mo17W		-382.88000	-276.10500	704.88667	-495.12500	51.20000	-416.84333	599.68167
LPC-21 x Mo17W		-3.51333	-37.64667	-1381.68000 **	406.72500	-878.21667 *	1069.55667 *	353.24833
Error est. (s _{ij} =0)		448.93124	340.73147	400.11707	263.72052	354.06087	481.65674	450.84423

Tal como se señaló en el Cuadro 3, no se detectaron diferencias estadísticas significativas en la ACE de las líneas originales. Numéricamente los mayores efectos de ACE correspondieron a las cruzas LPC-1 x LPC-5, LPC-2 x LPC-18, LPC-18 x Mo17W y LPC-2 x LPC-21. Sin embargo, al transferirle teocintle de las fuentes ZD, JAL, MAZ, OAX y CH a las líneas originales tuvieron efectos significativos en la ACE (Cuadro 13). También en la ACE fue posible encontrar regularidad en la tendencia del comportamiento de las cruzas a través de las fuentes de teocintle. Conviene destacar la heterosis positiva entre las líneas LPC-2 x LPC-21 con las fuentes CH, OAX y MAZ cuyos efectos de ACE fueron positivos y significativos y con valores numéricos positivos de ACE con JAL y ZD; de igual forma señalar la heterosis negativa entre las líneas LPC-18 x LPC-21 que tuvo en las líneas originales y las fuentes de teocintle, excepto MC, a pesar de que tuvieron valores positivos y significativos de ACG (Cuadro 13). También es importante señalar el comportamiento heterótico de Mo17W con las distintas fuentes de teocintle en donde sobresalen los cruzamientos LPC-5 x Mo17W cuyo efecto fue positivo en las líneas originales y fuentes de teocintle, pero sólo significativo con OAX. Asimismo, el contraste heterótico de la crusa LPC-21 x Mo17W con las fuentes de teocintle ZD y OAX (Cuadro 13).

4.2.2. Acame de raíz

Los efectos de ACG de las líneas originales estadísticamente

fueron iguales, pero LPC-2 y Mo17W tuvieron valores negativos de ACG lo que indica que tendieron a reducir el acame de raíz (Cuadro 14). Al analizar el comportamiento de estas líneas cuando se les incorporó germoplasma de teocintle, la ACG de LPC-2 fue negativa y significativa con todas las fuentes de teocintle, excepto con ZD. Mo17W sólo fue consistente con OAX y CH, resultando éste último significativo. Conviene señalar el contraste que tuvo en ACG Mo17W con las distintas fuentes de teocintle y que presentó valores negativos significativos con CH y positivos significativos con MC y MAZ. La ACG de las líneas originales LPC-1, LPC-5, LPC-18 y LPC-21 fue positiva por lo que tendieron a aumentar el acame, pero los efectos no fueron significativos. El comportamiento de estas líneas cuando se les transfirió germoplasma de teocintle indicó que la ACG de LPC-1 fue consistente con CH y JAL, en tanto que con las otras cuatro fuentes de teocintle los efectos de ACG fueron negativos y significativos con MAZ y ZD; los efectos de ACG de LPC-5 fueron semejantes con las fuentes MC, OAX y JAL, en tanto que con CH, MAZ y ZD fueron negativos, aunque no significativos; LPC-18 tuvo valores positivos en las líneas originales y las seis fuentes de teocintle, pero sólo fueron positivos y significativos con las fuentes OAX, MAZ y JAL; LPC-21 también tuvo valores positivos de ACG con las fuentes de teocintle MC, CH, MAZ y ZD y la original, aunque sólo con la fuente CH el efecto fue significativo y favoreció un aumento en el acame. LPC-21 presentó efectos de ACG negativos con las fuentes OAX y JAL, pero éstos no fueron significativos (Cuadro 14).

CUADRO 14. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE RAIZ

	F M CENTRAL	U CHALCO	E OAXACA	N MAZATLAN	T JALISCO	E Z DIPLOM	O L	C ORIGINAL
ACG								
LPC-1	-1.66667	2.77778	-3.53611	-7.02778 *	0.26333	-3.21667 *		0.54722
LPC-2	-6.25000 **	-9.72222 **	-4.56944	-12.31111 **	-3.90333 **	-1.06667		-0.28611
LPC-5	2.91667	-0.13889	2.51389	-3.06111	0.68000	-1.09167		0.13056
LPC-18	0.83333	4.86111	7.29722 *	13.00556 **	4.05667 *	2.61667		0.15556
LPC-21	0.41667	8.19444 *	-0.64444	4.63889	-1.36000	0.53333		0.15556
Mo17W	3.75000 **	-5.97222 *	-1.06111	4.75556 *	0.26333	2.22500		-0.70278
Error est. ($q_1=0$)	1.56696	2.91478	3.19341	2.87447	1.98113	1.50427		0.52155
ACE								
LPC-1 x LPC-2	2.58333	-4.16667	-9.55000 *	11.71667 *	3.51733	2.71000		0.51000
LPC-1 x LPC-5	-4.91667	1.25000	1.70000	-2.53333	-2.73267	1.06833		0.09333
LPC-1 x LPC-18	-2.83333	-5.41667	7.71667	-0.26667	-2.77600	-2.64000		0.06833
LPC-1 x LPC-21	2.58333	-0.41667	-6.80833	-3.56667	4.30733	1.11000		0.06833
LPC-1 x Mo17W	2.58333	8.75000	6.94167	-5.35000	-2.31600	-2.24833		-0.74000
LPC-2 x LPC-5	1.33333	0.41667	1.06667	6.35000	-1.89933	2.41833		0.92667
LPC-2 x LPC-18	-1.58333	13.75000 **	12.95000 *	-6.38333	-0.27600	-3.12333		-0.76500
LPC-2 x LPC-21	-1.16667	-12.91667 **	2.55833	-9.95000 **	-1.52600	-2.70667		-0.76500
LPC-2 x Mo17W	-1.16667	2.91667	-7.02500	-1.73333	0.18400	0.70167		0.09333
LPC-5 x LPC-18	2.58333	-5.83333	-0.80000	-14.23333 **	1.80733	-3.09833		-1.18167
LPC-5 x LPC-21	1.33333	9.16667	5.47500	4.13333	0.55733	0.65167		-1.18167
LPC-5 x Mo17W	-0.33333	-5.00000	-7.44167	6.28333	2.26733	-1.04000		1.34333
LPC-18 x LPC-21	0.08333	4.16667	-14.30833 *	14.73333 *	-0.97933	3.61000		2.22667 *
LPC-18 x Mo17W	1.75000	-6.66667	-5.55833	6.15000	2.22400	5.25167		-0.34833
LPC-21 x Mo17W	-2.83333	0.00000	13.08333 *	-5.35000	-2.35933	-2.66500		-0.34833
Error est. ($s_{1j}=0$)	2.65922	4.94654	5.41939	4.87813	3.36208	2.55284		0.88511

En el análisis de varianza no se detectaron diferencias estadísticas significativas en la ACE de las líneas originales (Cuadro 4), pero al analizar los efectos individuales la ACE de LPC-18 x LPC-21 fue positiva y significativa y por lo tanto tendió a incrementar el acame de raíz. En las cruzas originales los efectos de ACE que numéricamente favorecieron un menor acame de raíz fueron LPC-1 x Mo17W, LPC-2 x LPC-18, LPC-2 x LPC-21, LPC-5 x LPC-18 y LPC-5 x LPC-21, pero al incorporarles germoplasma de teocintle LPC-2 x LPC-18 con CH y OAX presentaron efectos positivos significativos, en tanto que LPC-2 x LPC-21 con CH y MAZ y LPC-5 x LPC-18 con MAZ se asociaron con efectos de ACE negativos y significativos. En contraste con el efecto de ACE de LPC-18 x LPC-21 sin teocintle, esta crusa con la incorporación de germoplasma de teocintle de la fuente OAX presentó un efecto negativo significativo. También destacan los efectos contrastantes de ACE de las cruzas LPC-1 x LPC-2 y LPC-18 x LPC-21 con OAX y estas mismas cruzas con MAZ. Conviene señalar la heterosis favorable de LPC-2 x LPC-21 con CH y MAZ y LPC-18 x LPC-21 con OAX, así como la indeseable en LPC-2 x LPC-18 con CH y OAX.

4.2.3. Acame de tallo

Las líneas originales LPC-1, LPC-2 y LPC-21 presentaron efectos negativos de ACG y sólo significativos en LPC-21. La incorporación de genes de teocintle afectó el comportamiento de estas líneas en algunos casos: LPC-1 con MAZ presentó un efecto de

ACG positivo, pero no significativo, en tanto que con ZD el efecto fue negativo significativo; LPC-2 con JAL presentó un valor positivo no significativo, mientras que con OAX, MAZ y ZD el efecto de ACG fué negativo significativo; el comportamiento negativo de la ACG de LPC-21 fue consistente con las fuentes de teocintle, excepto en CH, pero sólo fue significativo con MAZ. La ACG de LPC-5, LPC-18 y Mo17W fue positiva y sólo significativa para ésta última. La ACG de Mo17W fue consistentemente positiva y significativa en las líneas originales y todas las fuentes de teocintle. Conviene destacar que los valores numéricos mayores se obtuvieron con teocintle. Los efectos de ACG de LPC-5 con y sin teocintle señalan un comportamiento estadístico similar, en tanto que LPC-18 sólo es consistente con OAX, mientras que con las otras cinco fuentes de teocintle los efectos de ACG son negativos y significativos con JAL. Conviene destacar que LPC-2 presentó efectos de ACG negativos y significativos con tres fuentes de teocintle (Cuadro 15).

En las cruzas originales, LPC-2 x Mo17W y LPC-5 x LPC-18 tuvieron efectos de ACE negativos significativos, en tanto que con la incorporación de germoplasma de teocintle LPC-2 x Mo17W con MAZ, JAL y MC presentó efectos positivos y sólo significativos con MC, mientras que en LPC-5 x LPC-18 los efectos de ACE fueron negativos pero no significativos, excepto con MC cuyo efecto fue positivo. Las cruzas originales LPC-5 x Mo17W y LPC-18 x Mo17W tuvieron efectos positivos y significativos de ACE, pero al transferirles genes de teocintle los efectos de ACE en la craza LPC-5 x Mo17W fueron

CUADRO 15. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE TALLO

	F U E M CENTRAL	N T E CHALCO	D E OAXACA	T E O MAZATLAN	C I JALISCO	N T L Z DIPLOP	E ORIGINAL
ACG							
LPC-1	-2.50000	-1.25000	-3.48611	0.24167	-0.28611	-5.16111 **	-1.26667
LPC-2	-1.25000	-2.91667	-7.67778 **	-4.70833 *	0.13056	-3.91111 *	-2.07500
LPC-5	-0.83333	-0.83333	1.07222	0.77500	-0.70278	2.40556	2.06667
LPC-18	-1.25000	-2.08333	0.68056	-2.26667	-4.42778 *	-1.45278	0.03333
LPC-21	-2.08333	2.08333	-0.50278	-6.42500 **	-1.51111	-2.28611	-2.90833 **
Mol7W	7.91667 **	5.00000 **	9.91389 **	12.38333 **	6.79722 **	10.40556 **	4.15000 **
Error est. ($g_1=0$)	1.46892	1.96489	2.15172	2.23877	1.89193	1.30489	0.97478
ACE							
LPC-1 x LPC-2	-3.58333	2.50000	-0.31167	2.32667	2.59333	4.57667	1.99500
LPC-1 x LPC-5	1.00000	-1.25000	0.93833	1.84333	3.42667	-1.74000	-0.48000
LPC-1 x LPC-18	1.41667	-1.66667	-1.90333	-3.44833	0.48500	2.11833	-0.11333
LPC-1 x LPC-21	0.58333	-0.83333	5.84667	2.37667	0.90167	1.28500	1.16167
LPC-1 x Mol7W	0.58333	1.25000	-4.57000	-3.09833	-7.40667 *	-6.24000 *	-2.56333
LPC-2 x LPC-5	-1.91667	5.41667 *	3.46333	-6.44000	-0.32333	-4.65667 *	0.32833
LPC-2 x LPC-18	-1.50000	1.66667	0.52167	4.93500	-3.26500	0.86833	0.79500
LPC-2 x LPC-21	-2.33333	-4.16667	0.03833	-1.00667	-6.18167 *	1.70167	1.97000
LPC-2 x Mol7W	9.33333 **	-5.41667	-3.71167	0.18500	7.17667	-2.49000	-5.08833 **
LPC-5 x LPC-18	3.08333	-2.08333	-1.56167	-3.98167	-0.76500	-0.44833	-5.11333 **
LPC-5 x LPC-21	-1.08333	-7.91667 **	-7.04500 *	0.17667	-0.34833	-1.28167	-2.17167
LPC-5 x Mol7W	-1.08333	5.83333	4.20500	8.40167	-1.99000	8.12667	7.43667 **
LPC-18 x LPC-21	4.33333	8.33333 **	0.01333	3.21833	3.47667	-2.42333	1.62833
LPC-18 x Mol7W	-7.33333 **	-6.25000	2.93000	-0.72333	0.06833	-0.11500	2.80333 *
LPC-21 x Mol7W	-1.50000	4.58333	1.14667	-4.76500	2.15167	0.71833	-2.58833
Error est. ($s_3=0$)	2.49285	3.33452	3.65159	3.79931	3.21071	2.21447	1.65425

negativos no significativos con MC y JAL, en tanto que en LPC-18 x Mo17W la ACE fue negativa con ZD, MAZ, CH y MC, siendo sólo esta última significativa. Destacan los efectos heteróticos favorables de LPC-1 x Mo17W con JAL y ZD y LPC-5 x LPC-21 con CH y OAX, así como los desfavorables en LPC-18 x LPC-21 con CH. También sobresalen los contrastes de LPC-2 x LPC-5 que presenta efectos de ACE positivos significativos con CH y negativos con ZD, LPC-2 x Mo17W con efectos positivos significativos con MC y negativos en la original, así como en LPC-18 x Mo17W que presenta efectos de ACE significativos negativos en MC y positivos en la original (Cuadro 15).

4.2.4. Mazorcas sanas

las líneas originales LPC-1 y LPC-21 presentaron efectos de ACG positivos y significativos. El comportamiento de estas líneas con la incorporación de germoplasma de teocintle indicó que la ACG de LPC-1 fue consistente con las fuentes CH, MAZ y ZD, pero sólo con MAZ el efecto fue significativo. La ACG de LPC-21 con teocintle también fue consistente, con excepción de ZD, aunque el único efecto significativo fue con OAX, y al igual que en LPC-1 los efectos significativos de ACG presentaron valores numéricos inferiores a los de las líneas originales. Mo17W, con y sin teocintle, presentó efectos de ACG negativos significativos, con excepción de MC; dichos efectos obtenidos con todas las fuentes de teocintle fueron numéricamente inferiores a el de Mo17W original.

En comparación con los efectos de ACG de la versión sin teocintle, LPC-2 se mostró consistente con MC, CH, MAZ y JAL, aunque estos efectos no fueron significativos; en tanto que LPC-5 sólo fue consistente con OAX y MAZ, mientras que con JAL y ZD los efectos de ACG fueron positivos y significativos; LPC-18 con teocintle presentó valores numéricos de ACG menores, aunque sólo con OAX el efecto de ACG fue significativo. Destaca el efecto positivo significativo de ACG de LPC-5 con JAL y ZD.

El análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas significativas en la ACE de las líneas originales (Cuadro 6), pero los mayores efectos positivos de ACE correspondieron a las cruzas LPC-1 x LPC-18, LPC-2 x Mo17W, LPC-5 x LPC-18 y LPC-21 x Mo17W. La transferencia de germoplasma de teocintle a las líneas influyó para que se presentaran algunos cambios en la ACE de estas cruzas. Con relación a las cruzas sin teocintle destacan los efectos heteróticos positivos de LPC-1 x LPC-2, LPC-5 x LPC-21 y LPC-1 x LPC-18 con CH; LPC-1 x Mo17W y LPC-2 x LPC-5 con ZD, LPC-2 x LPC-21 con OAX y JAL (Cuadro 16), así como los negativos en LPC-1 x LPC-21 con CH, LPC-2 x LPC-5 con CH y JAL (Cuadro 16). También es importante señalar los contrastes en LPC-2 x LPC-5 con CH y JAL que presentan efectos de ACE negativos significativos, mientras que con ZD los efectos son positivos y significativos, ocurriendo algo similar con LPC-5 x LPC-21 con ZD y CH.

CUADRO 16 APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS SANAS

	F U E M CENTRAL	N T E CHALCO	D E OAXACA	T E O MAZATLAN	C I JALISCO	N T L E Z DIPLOP	E ORIGINAL
ACG							
LPC-1	-0.63056	1.21944	-0.01667	2.45556 *	-0.78611	0.32222	8.98333 **
LPC-2	-0.21389	-0.44722	1.70833	-1.11111	-0.92778	1.23056	-6.57500
LPC-5	0.46944	2.46111	-0.96667	-0.11944	4.14722 *	3.06389 **	-0.57500
LPC-18	-0.44722	0.54444	-1.83333 *	0.39722	0.98056	-0.59444	5.06667
LPC-21	1.78611	0.32778	2.98333 **	0.60556	1.38889	-1.06111	3.46667 *
Mo17W	-0.96389	-4.10556 **	-1.87500 *	-2.22778 *	-4.80278 **	-2.96111 **	-10.36667 **
Error est. ($g_1=0$)	1.36974	1.27437	0.89501	0.90525	1.41757	0.81765	2.96728
ACE							
LPC-1 x LPC-2	-0.60000	5.89667 *	-2.39167	-2.63333	-1.58833	1.45167	-2.38833
LPC-1 x LPC-5	-1.65000	-2.64500	0.55000	3.17500	2.10333	-3.11500	0.81167
LPC-1 x LPC-18	1.23333	4.73833 *	0.88333	3.32500	-1.13000	0.34333	6.50333
LPC-1 x LPC-21	4.03333	-5.61167 *	0.90000	-3.05000	-3.10500	-1.99000	3.57000
LPC-1 x Mo17W	-3.01667	-2.37833	0.05833	-0.81667	3.72000	3.31000 *	-8.49667
LPC-2 x LPC-5	1.16667	-7.27833 **	-1.24167	-2.12500	-5.75500 *	5.27667 **	-2.83000
LPC-2 x LPC-18	4.21667	-1.52833	-1.70833	0.95833	0.51167	-4.76500 **	-5.40500
LPC-2 x LPC-21	-1.35000	0.08833	5.34167 **	3.81667	5.53667 *	0.43500	1.72833
LPC-2 x Mo17W	-3.43333	2.82167	0.00000	-0.01667	1.29500	-2.39833	8.89500
LPC-5 x LPC-18	-1.50000	2.06333	0.96667	-1.60000	4.73667	4.70167 **	8.39500
LPC-5 x LPC-21	-3.60000	7.84667 **	-1.28333	0.15833	2.16167	-2.63167 *	-5.57167
LPC-5 x Mo17W	5.58333	0.01333	1.00833	0.39167	-3.24667	-4.23167 **	-0.80500
LPC-18 x LPC-21	-1.95000	-3.57000	-2.01667	-2.02500	-3.47167	0.29333	-4.81333
LPC-18 x Mo17W	-2.00000	-1.70333	1.87500	-0.65833	-0.64667	-0.57333	-4.68000
LPC-21 x Mo17W	2.86667	1.24667	-2.94167	1.10000	-1.12167	3.89333 **	5.08667
Error est. ($s_{1j}=0$)	2.32452	2.16268	1.51889	1.53626	2.40570	1.38760	5.03564

4.2.5. Mazorcas dañadas

Las líneas originales LPC-18 y LPC-21 presentaron efectos de ACG negativos y significativos, lo que indica que en promedio tienden a bajar la proporción de pudriciones de mazorca (Cuadro 17). La transferencia de germoplasma de teocintle no afectó el comportamiento de la línea LPC-21, ya que ésta, con y sin teocintle, consistentemente presentó efectos de ACG negativos y significativos, e incluso con cuatro fuentes los efectos fueron de mayor magnitud que en la original. LPC-18 fue consistente con MC, CH, MAZ y JAL, mientras que con ZD y OAX los efectos de ACG fueron positivos. La línea Mo17W, con y sin teocintle, en forma consistente tuvo efectos de ACG positivos significativos para mazorcas dañadas, aunque los efectos con teocintle fueron de menor magnitud. Los efectos de ACG de LPC-5 fueron consistentemente negativos, pero sólo con ZD fueron significativos. Es importante señalar que con relación a las versiones originales, LPC-1 con CH presentó un efecto de ACG significativo negativo, mientras que con OAX éste fue positivo (Cuadro 17).

En las cruzas originales LPC-1 x LPC-5 presentó un efecto de ACE negativo y significativo, la que con la incorporación de germoplasma de teocintle consistentemente presentó efectos negativos, aunque sólo fue significativo con JAL. Por otra parte la craza LPC-1 x Mo17W original tuvo un efecto de ACE positivo significativo y su comportamiento fue consistente con MC, CH, MAZ

CUADRO 17. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS DAÑADAS

	F U E M CENTRAL	N T E CHALCO	D E OAXACA	T E O MAZATLAN	C I JALISCO	N T L Z DIPLOP	E ORIGINAL
ACG							
LPC-1	0.18889	-1.71111 *	2.23333 *	-0.89444	2.31667	0.20000	1.68333
LPC-2	-0.98611	1.60556	-0.05000	0.30556	1.43333	0.66667	-0.36667
LPC-5	-1.13611	-0.69444	-1.09167	-1.52778	-1.65000	-3.37500 *	-2.50833
LPC-18	-1.34444	-0.34444	2.48333 *	-1.42778	-4.30000 **	0.60833	-4.19167 **
LPC-21	-4.76944 **	-2.26944 *	-6.01667 **	-4.96111 **	-3.91667 **	-3.37500 *	-3.88333 **
Mo17W	8.04722 **	3.41389 **	2.44167 *	8.50556 **	6.11667 **	5.27500 **	9.26667 **
Error est. ($g_i=0$)	1.14494	0.79799	1.16258	1.75425	1.11315	1.31530	1.14018
ACE							
LPC-1 x LPC-2	-2.89167	-0.79000	2.92333	2.06667	3.67667 *	0.46667	-1.79667
LPC-1 x LPC-5	-1.54167	-1.92333	-0.60167	-2.93333	-6.64000 **	-2.59167	-5.62167 **
LPC-1 x LPC-18	-3.26667	-0.10667	2.95667	-5.96667 *	-0.09000	4.12500	-1.07167
LPC-1 x LPC-21	0.29167	0.38500	-2.64333	-0.43333	-0.04000	0.20833	-0.64667
LPC-1 x Mo17W	7.40833 **	2.43500	-2.63500	7.26667 *	3.09333	-2.20833	9.13667 **
LPC-2 x LPC-5	3.43333	2.49333	-0.31833	4.96667	0.61000	-2.79167	1.19500
LPC-2 x LPC-18	0.00833	-1.55667	-0.72667	-3.76667	0.92667	-2.87500	0.71167
LPC-2 x LPC-21	1.53333	-1.13167	-1.46000	-5.40000 *	-4.12333 *	-0.65833	-1.03000
LPC-2 x Mo17W	-2.08333	0.98500	-0.41833	2.13333	-1.09000	5.85833 *	0.92000
LPC-5 x LPC-18	0.45833	-0.62333	0.14833	2.23333	0.14333	-0.86667	1.98667
LPC-5 x LPC-21	1.15000	3.20167 *	1.21500	2.73333	1.92667	4.15000	3.31167
LPC-5 x Mo17W	-3.50000	-3.14833 *	-0.44333	-7.00000 *	3.96000 *	2.10000	-0.87167
LPC-18 x LPC-21	0.82500	0.05167	-1.49333	6.50000 *	3.61000	0.83333	2.96167
LPC-18 x Mo17W	1.97500	2.23500	-0.88500	1.00000	-4.59000 *	-1.21667	-4.58833
LPC-21 x Mo17W	-3.80000	-2.50667	4.38167 *	-3.40000	-1.37333	-4.53333	-4.59667
Error est. ($s_{ij}=0$)	1.94302	1.35423	1.97297	2.97706	1.88907	2.23214	1.93495

y JAL, pero sólomente significativo con MC y MAZ; esta cruza , en contraste con la original, presentó efectos de ACE negativos con OAX y ZD, pero éstos no fueron significativos. En comparación con las versiones originales destacan los efectos heteróticos favorables en LPC-1 x LPC-18 con MAZ, LPC-2 x LPC-21 con MAZ y JAL, LPC-5 x Mo17W con CH y MAZ, LPC-18 x Mo17W con JAL, así como los desfavorables en LPC-1 x LPC-2 con JAL, LPC-2 x Mo17W con ZD, LPC-5 x LPC-21 con CH, LPC-5 x Mo17W con JAL, LPC-18 x LPC-21 con MAZ y LPC-21 x Mo17W con OAX. También destacan los contrastes en LPC-5 x Mo17W que presentó efectos negativos significativos con CH y MAZ y positivos significativos con JAL (Cuadro 17).

4.2.6. Días a floración masculina

La línea original Mo17W presentó un efecto de ACG negativo y significativo, que indica que favorece una reducción en el número de días a antesis. La incorporación de germoplasma de teocintle a Mo17W no modificó su comportamiento y en forma consistente mostró efectos de ACG negativos y significativos (Cuadro 18). La línea LPC-5 original se asoció con un efecto de ACG positivo significativo y la incorporación de teocintle no cambió su tendencia, aunque los efectos de ACG sólomente fueron significativos con las fuentes MC, CH, JAL y ZD. Con respecto a las líneas originales, el comportamiento de LPC-1 fue consistente con CH, OAX y JAL, en tanto que con ZD, MAZ y MC los efectos de ACG fueron negativos y solo significativos con MC. LPC-2, al igual que la original, exhibió

efectos negativos de ACG con MC, OAX, MAZ y además significativos con JAL; LPC-18 y LPC-21, con y sin teocintle, presentaron efectos de ACG positivos, pero sólo fueron significativos en LPC-18 con MC, CH, OAX y JAL y en LPC-21 con MC, CH, MAZ y JAL éstos fueron significativos. Destaca el resultado de que los efectos de ACG de LPC-21 con teocintle en todos los casos presenta valores numéricos mayores que la línea original.

El análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas significativas en la ACE de las líneas originales, así como tampoco con las fuentes CH, OAX, MAZ y JAL (Cuadro 8). Los valores negativos de ACE de mayor magnitud en las líneas originales se asociaron con las cruzas LPC-2 x Mo17W, LPC-18 x LPC-21, LPC-18 x Mo17W, LPC-2 x LPC-21 y LPC-1 x LPC-5, pero al incorporarles germoplasma de teocintle manifestaron algunos cambios en los efectos de ACE: LPC-2 x Mo17W fue consistente con cuatro fuentes de teocintle, pero con CH y ZD los efectos fueron positivos y sólo significativos con ZD; LPC-18 x Mo17W presentó ACE negativa con cuatro fuentes de teocintle y además, significativa con CH y JAL, mientras que con OAX el efecto de ACE fue positivo y significativo. LPC-2 x LPC-21 fue consistente con MC, MAZ y ZD, mientras que con OAX y JAL los efectos fueron positivos y no significativos; LPC-1 x LPC-5 con MC, al igual que en la original, presentó un efecto negativo significativo, mientras que con las otras fuentes éstos fueron positivos, pero no significativos (Cuadro 18).

CUADRO 18. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DE DIAS A FLORACION MASCULINA.

	F U E N T E D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
ACG								
LPC-1	-0.44444 *	0.11111	0.22222	-0.13889	0.05556	-0.63889	0.63889	
LPC-2	-0.11111	0.36111	-0.02778	-0.38889	-0.61111 *	0.69444	-0.52777	
LPC-5	1.13889 **	1.11111 **	0.55556	0.27778	1.13889 **	1.27778 **	1.05556 **	
LPC-18	0.72222 **	0.61111 *	0.88889 *	0.44444	0.72222 *	0.11111	0.63889	
LPC-21	0.97222 **	1.19444 **	0.72222	0.77778 **	1.05556 **	0.69444	0.63889	
Mo17W	-2.27778 **	-3.38889 **	-2.36111 **	-0.97222 **	-2.36111 **	-2.13889 **	-2.44444 **	
Error est. (g ₁ =0)	0.21317	0.26519	0.41094	0.25044	0.29528	0.35943	0.32258	
ACE								
LPC-1 x LPC-2	-0.40000	-0.91667	-0.48333	-0.31667	-0.80000	-1.70000 **	0.33333	
LPC-1 x LPC-5	-1.31667 **	0.00000	0.26667	0.01667	0.78333	0.05000	-0.25000	
LPC-1 x LPC-18	0.76667 *	0.50000	0.26667	0.18333	0.20000	0.55000	-0.16667	
LPC-1 x LPC-21	0.85000 *	-0.08333	0.76667	0.51667	-0.46667	1.63333 *	-0.16667	
LPC-1 x Mo17W	0.10000	0.50000	-0.81667	-0.40000	0.28333	-0.53333	0.25000	
LPC-2 x LPC-5	0.68333	0.08333	0.18333	0.26667	-0.55000	0.05000	-0.08333	
LPC-2 x LPC-18	0.43333	0.58333	-0.15000	0.43333	1.53333 **	-0.11667	1.00000	
LPC-2 x LPC-21	-0.15000	0.00000	1.35000	-0.23333	0.20000	-0.36667	-0.33333	
LPC-2 x Mo17W	-0.56667	0.25000	-0.90000	-0.15000	-0.38333	2.13333 **	-0.91667	
LPC-5 x LPC-18	0.18333	0.16667	-1.06667	-0.56667	-0.55000	-0.36667	0.08333	
LPC-5 x LPC-21	-0.40000	-0.08333	-0.23333	-0.23333	-0.21667	-0.28333	0.08333	
LPC-5 x Mo17W	0.85000 *	-0.16667	0.85000	0.51667	0.53333	0.55000	0.16667	
LPC-18 x LPC-21	-0.65000	-0.25000	-0.90000	-0.06667	-0.13333	0.55000	-0.50000	
LPC-18 x Mo17W	-0.73333	-1.00000 *	1.85000 *	0.01667	-1.05000 *	-0.61667	-0.41667	
LPC-21 x Mo17W	0.35000	0.41667	-0.98333	0.01667	0.61667	-1.53333 *	0.91667	
Error est. (s _{1j} =0)	0.36209	0.45004	0.69739	0.42501	0.50111	0.60997	0.54743	

En comparación con las cruzas originales, destacan los efectos favorables tendientes a reducir los días a antesis de LPC-1 x LPC-2 y LPC-21 x Mo17W con ZD, mientras que los efectos de ACE en las cruzas LPC-1 x LPC-18 con MC, LPC-1 x LPC-21 con MC y ZD, LPC-2 x Mo17W con ZD y LPC-18 x Mo17W con OAX indican que se requieren más días a floración masculina. También destaca el contraste en LPC-18 x Mo17W que presenta efectos de ACE significativos negativos con CH y JAL y positivos con OAX (Cuadro 18).

4.2.7. Días a floración femenina

La línea original Mo17W presentó un efecto de ACG negativo significativo. Con la transferencia de germoplasma de teocintle no se afectó el comportamiento de Mo17W y consistentemente manifestó efectos de ACG negativos y significativos, excepto con MC (Cuadro 19). Las líneas originales LPC-18 y LPC-21 tuvieron efectos positivos y significativos y LPC-21, con y sin teocintle, en forma consistente exhibió efectos positivos significativos y los mayores valores numéricos se obtuvieron con teocintle, mientras que LPC-18 también mostró un comportamiento similar con todas las fuentes de teocintle, aunque sólo el efecto de ACG con JAL fue significativo (Cuadro 19). Con respecto a las versiones originales, LPC-1 fue consistente con OAX y con las otras fuentes los efectos de ACG fueron negativos y además significativos en MC y ZD. La LPC-2 original y con las fuentes MC, MAZ y JAL mostró efectos de ACG negativos, mientras que con las otras fuentes los efectos fueron

positivos, pero no significativos (Cuadro 19); LPC-5 con MC, CH, JAL y ZD mostró, al igual que la versión sin teocintle, un efecto de ACG positivo y sólo significativo con ZD, mientras que con OAX y MAZ éstos fueron negativos no significativos (Cuadro 19).

En el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas para los efectos de ACE de las líneas originales para días a floración femenina (Cuadro 9). Los efectos negativos de ACE de mayor magnitud correspondieron a las cruzas LPC-18 x Mo17W, LPC-1 x LPC-2, LPC-2 x LPC-5, LPC-2 x LPC-21 y LPC-18 x LPC-21. El análisis del comportamiento de estas cruzas, cuando se les incorporó germoplasma de teocintle, indicó que LPC-1 x LPC-2 consistentemente presentó efectos negativos de ACE, excepto con CH, pero el único efecto negativo significativo fue con ZD. LPC-18 x Mo17W mostró efectos negativos de ACE con MC, MAZ, JAL y ZD, siendo con MC y JAL significativos, en contraste con CH y OAX donde los efectos fueron positivos, pero sólo significativos con OAX. LPC-18 x LPC-21 y LPC-2 x LPC-21 presentaron algunos efectos de ACG positivos y otros negativos, pero ninguno de ellos fue significativo; LPC-2 x LPC-5 fue consistente con MC, OAX y JAL, pero el único efecto de ACE significativo fue el de JAL. Destaca el contraste en LPC-18 x Mo17W con MC y JAL que tiene efectos negativos significativos y con OAX que se asocia con efectos positivos significativos (Cuadro 19).

CUADRO 19. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DE DIAS A FLORACION FEMENINA.

	F U E N T E M CENTRAL	C H A L C O	D E O A X A C A	T E O M A Z A T L A N	O C I J A L I S C O	N T L Z D I P L O P	L E O R I G I N A L
ACG							
LPC-1	-0.83333 *	-0.08333	0.33333	-0.05556	-0.11111	-1.38889 **	0.11111
LPC-2	-0.41667	0.16667	0.00000	-0.13889	-0.19444	0.69444	-0.13889
LPC-5	0.25000	0.50000	-0.33333	-0.47222	0.38889	1.36111 **	0.36111
LPC-18	0.25000	0.00000	0.91667	0.36111	1.05556 **	0.27778	0.86111 *
LPC-21	2.41667 **	2.66667 **	1.41667 **	1.36111 **	1.47222 **	1.69444 **	1.19444 **
Mo17W	-1.66667	-3.25000 **	-2.33333 **	-1.05556 **	-2.61111 **	-2.63889 **	-2.38889 **
Error est. ($g_1=0$)	0.31602	0.36956	0.43908	0.30843	0.32716	0.42440	0.38946
ACE							
LPC-1 x LPC-2	-1.01667	0.25000	-0.73333	-0.58333	-0.38333	-2.15000 **	-0.61667
LPC-1 x LPC-5	-0.35000	-0.08333	0.93333	0.75000	0.36667	0.18333	-0.11667
LPC-1 x LPC-18	-0.35000	-0.25000	0.01667	0.25000	0.03333	0.93333	0.38333
LPC-1 x LPC-21	0.81667	0.41667	0.85000	-0.08333	-0.05000	1.51667 *	0.71667
LPC-1 x Mo17W	0.90000	-0.33333	-1.06667	-0.33333	0.03333	-0.48333	-0.36667
LPC-2 x LPC-5	-0.10000	1.00000	-0.40000	0.16667	-1.21667 *	0.43333	-0.53333
LPC-2 x LPC-18	2.23333 **	-0.16667	-0.65000	0.66667	1.45000 *	0.51667	1.30000
LPC-2 x LPC-21	-0.60000	-0.83333	0.85000	0.00000	-0.63333	-0.56667	-0.36667
LPC-2 x Mo17W	-0.51667	-0.25000	0.93333	-0.25000	0.78333	1.76667 *	0.21667
LPC-5 x LPC-18	0.23333	-0.16667	0.01667	-0.33333	0.20000	-0.81667	-0.20000
LPC-5 x LPC-21	-0.26667	-0.16667	0.18333	-0.33333	0.45000	-0.56667	-0.20000
LPC-5 x Mo17W	0.48333	-0.58333	-0.73333	-0.25000	0.20000	0.76667	1.05000
LPC-18 x LPC-21	-0.60000	0.00000	-1.06667	-0.50000	-0.21667	0.51667	-0.36667
LPC-18 x Mo17W	-1.51667 **	0.58333	1.68333 *	-0.08333	-1.46667 *	-1.15000	-1.11667
LPC-21 x Mo17W	0.65000	0.58333	-0.81667	0.91667	0.45000	-0.90000	0.21667
Error est. ($s_{ij}=0$)	0.53630	0.62716	0.74514	0.52342	0.55521	0.72023	0.66093

4.2.8. Altura de planta

En las líneas originales, LPC-2 y LPC-5 se asociaron con efectos de ACG negativos significativos que indican que en combinaciones híbridas, en promedio, tienden a bajar la altura de planta significativamente. La incorporación de germoplasma de teocintle a las líneas no afectó el comportamiento de LPC-2 y con todas las fuentes de teocintle los efectos de ACG fueron negativos y significativos, mientras que LPC-5 sólo fue consistente con JAL, OAX y MAZ, en tanto que con MC, CH y ZD los efectos fueron positivos y sólo significativos con ZD (Cuadro 20). La única línea original que presentó un efecto positivo significativo de ACG fue LPC-21, la que con cualquier fuente de teocintle mostró efectos de ACG positivos significativos, e incluso con OAX el efecto de ACG fue numéricamente mayor que el de la original (Cuadro 20). En comparación al material sin teocintle, LPC-1 con JAL también presentó un efecto positivo, pero en este caso fue significativo, mientras que con las otras fuentes los efectos de ACG fueron negativos y sólo significativo con OAX. LPC-18 consistentemente mostró efectos negativos de ACG, siendo sólo significativos con las fuentes CH, OAX, MAZ y ZD. Mo17W sólo presentó efectos negativos con MAZ y JAL, pero ninguno de éstos fue significativo (Cuadro 20). Destaca el contraste de LPC-1 con OAX y ZD que tiene ACG negativa y con JAL que presenta efectos positivos, así como en LPC-5 original que muestra ACG negativa significativa, mientras que con ZD el efecto fue positivo y significativo (Cuadro 20).

CUADRO 20. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE PLANTA.

	F U E N T E M CENTRAL	CHALCO	D E OAXACA	T E O MAZATLAN	C I JALISCO	N T L E Z DIPLOP	ORIGINAL
ACG							
LPC-1	-1.26111	-4.36667	-6.72222 **	-0.28889	4.69444 *	-3.89444	2.62778
LPC-2	-16.07778 **	-10.61667 **	-13.07222 **	-6.15556 *	-18.73889 **	-18.02778 **	-17.78889 **
LPC-5	0.93889	4.46667	-4.07222	-4.23889	-0.53889	4.95556 *	-5.82222 **
LPC-18	-1.86111	-5.85000 *	-5.00556 *	-8.18889 **	-1.27222	-5.76111 **	-2.98889
LPC-21	14.10556 **	16.33333 **	26.81111 **	19.87778 **	18.02778 **	20.30556 **	21.07778 **
Mo17W	4.15556	0.03333	2.06111	-1.00556	-2.17222	2.42222	2.89444
Error est. (g _i =0)	2.17124	2.16811	2.18051	2.38445	2.15951	1.94295	1.61656
ACE							
LPC-1 x LPC-2	6.89000	-0.21667	-0.73000	-1.17333	-5.97333	1.95333	3.41000
LPC-1 x LPC-5	2.74000	5.23333	-1.46333	-4.42333	-0.24000	2.97000	0.31000
LPC-1 x LPC-18	-1.72667	0.81667	-7.66333 *	3.59333	6.49333	0.35333	-0.45667
LPC-1 x LPC-21	-1.09333	0.16667	14.18667 **	8.79333 *	9.39333	-7.64667 *	0.81000
LPC-1 x Mo17W	-6.81000	-6.00000	-4.33000	-6.79000	-9.67333 *	2.37000	-4.07333
LPC-2 x LPC-5	-1.57667	-10.05000 *	-8.04667 *	-5.82333	0.32667	-4.96333	-2.34000
LPC-2 x LPC-18	-3.57667	1.40000	6.62000	-0.67333	8.12667 *	-7.31333 *	-3.64000
LPC-2 x LPC-21	1.19000	3.81667	6.40333	2.12667	-2.64000	0.35333	5.02667
LPC-2 x Mo17W	-2.92667	5.05000	-4.24667	5.54333	0.16000	9.97000	-2.45667
LPC-5 x LPC-18	2.20667	5.05000	-1.38000	7.01000	-0.60667	-0.23000	2.19333
LPC-5 x LPC-21	-6.09333	1.80000	-0.13000	-0.12333	-5.24000	6.97000 *	-2.60667
LPC-5 x Mo17W	2.72333	-2.03333	11.02000 **	3.36000	5.76000	-4.74667	2.44333
LPC-18 x LPC-21	1.04000	-8.01667 *	-7.79667 *	-9.30667 *	-9.64000 *	7.55333 *	-2.70667
LPC-18 x Mo17W	2.05667	0.75000	10.22000 *	-0.62333	-4.37333	-0.36333	4.61000
LPC-21 x Mo17W	4.95667	2.23333	-12.66333 **	-1.49000	8.12667 *	-7.23000 *	-0.52333
Error est. (s _{ij} =0)	3.68472	3.67941	3.70045	4.04654	3.66480	3.29730	2.74339

No se detectaron diferencias significativas entre los efectos de ACE de las cruzas originales para altura de planta. En las cruzas sin teocintle los efectos negativos de ACE de mayor magnitud correspondieron a las cruzas LPC-1 x Mo17W, LPC-2 x LPC-18, LPC-18 x LPC-21, LPC-5 x LPC-21 y LPC-2 x Mo17W (Cuadro 20). El comportamiento de estas cruzas con germoplasma de teocintle indica que LPC-1 x Mo17W fue consistente con todas las fuentes de teocintle, con excepción de ZD y el único efecto significativo fue con JAL. LPC-2 x LPC-18 también presentó efectos negativos con MC, MAZ y ZD, mientras que con las otras fuentes tuvo efectos positivos. LPC-18 x LPC-21 también presentó efectos negativos con CH, OAX, MAZ y JAL, pero en todos estos casos los efectos fueron significativos, mientras que con las otras dos fuentes de teocintle, MC y ZD, los efectos fueron positivos y significativos con ZD. LPC-5 x LPC-21 fue consistente con MC, OAX, MAZ y JAL, en tanto que con CH y ZD los efectos fueron positivos y significativos con ZD. LPC-2 x Mo17W presentó, al igual que la original, efectos negativos sólo con MC y OAX, pero ninguno de los efectos fue significativo, en tanto que en el resto de las fuentes los efectos de ACE fueron positivos no significativos (Cuadro 20).

En comparación con las cruzas originales, hubo varios casos en los que con la incorporación de germoplasma de teocintle se obtuvieron efectos de ACE negativos que redujeron en forma significativa la altura de planta. Las cruzas en las que se presentó una situación de este tipo con más fuentes de teocintle fueron LPC-2 x

LPC-5 con CH y OAX, pero sobre todo LPC-18 x LPC-21 con CH, OAX, MAZ y JAL; también se presentaron casos en los que los efectos de ACE favorecieron una mayor altura de planta como en LPC-1 x LPC-21 con OAX y MAZ, LPC-5 x LPC-21 con ZD, LPC-5 x Mo17W y LPC-18 x Mo17W con OAX. También destacan los contrastes entre LPC-1 x LPC-21 con OAX y MAZ que tienen efectos positivos, mientras que con ZD son negativos, ocurriendo algo similar en LPC-2 x LPC-18 con JAL y ZD. Destaca el efecto heterótico favorable de LPC-21 x Mo17W con OAX y ZD, así como el de LPC-18 x LPC-21 con CH, OAX, MAZ y JAL.

4.2.9. Altura de mazorca

En las líneas originales, LPC-2, LPC-5 y Mo17W presentaron efectos de ACG negativos significativos que indican que éstas en combinaciones híbridas tienden, en promedio, a bajar la altura de mazorca. La incorporación de teocintle afectó el comportamiento de estas líneas de la manera siguiente: LPC-2 consistentemente se asoció con efectos negativos significativos de ACG; LPC-5 fue consistente con CH, OAX, MAZ y JAL, pero el efecto sólo fue significativo con OAX, mientras que con MC y ZD éstos fueron positivos; Mo17W mostró consistencia con todas las fuentes de teocintle y el único efecto que no fue significativo correspondió a MC (Cuadro 21). Los efectos de ACG de LPC-1, LPC-18 y LPC-21 también fueron significativos, pero éstos favorecieron mayor altura de mazorca. La transferencia de teocintle propició algunos cambios en los efectos siguientes: LPC-1 con todas las fuentes de teocintle

presentó efectos de ACG positivos, aunque sólo con JAL fue significativo; LPC-18 con teocintle también exhibió efectos positivos, pero sólo fueron significativos en MC, JAL y ZD; LPC-21 consistentemente mostró efectos de ACG positivos y significativos, aunque con algunas fuentes de teocintle los valores numéricos fueron de mayor magnitud (Cuadro 21).

En las cruzas originales LPC-5 x Mo17W presentó un efecto de ACE negativo significativo: así mismo con con MC y CH, aunque no significativos, mientras que con el resto de fuentes los efectos de ACE fueron positivos, y sólo significativos con OAX. El otro efecto significativo en las cruzas originales fue LPC-21 x Mo17W, pero éste fue positivo (Cuadro 21). LPC-21 x Mo17W con teocintle se mostró consistente con MC y JAL, pero los efectos no fueron significativos, mientras que con las otras fuentes éstos fueron negativos y además significativos con MAZ y ZD. Por otra parte se detectaron efectos heteróticos significativos positivos y negativos entre las diferentes cruzas en donde destaca que la heterosis favorable que se presentó con mas fuentes de teocintle fue en LPC-1 x Mo17W con MC, OAX, MAZ y ZD, LPC-5 x LPC-21 con MC, OAX y JAL y LPC-21 x Mo17W con MAZ y ZD, mientras que los desfavorables fueron en LPC-1 x LPC-21 con OAX, MAZ y JAL y LPC-2 x Mo17W con MAZ y ZD (Cuadro 21). También es importante señalar los contrastes de algunas cruzas con las diferentes fuentes de teocintle y la versión original: LPC-1 x LPC-21 sin teocintle presenta un efecto de ACE negativo no significativo, en tanto que con OAX, MAZ y JAL son

CUADRO 21. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE MAZORCA.

	F M	U CENTRAL	E CHALCO	N OAXACA	T MAZATLAN	E O JALISCO	O Z	I DIPLOP	N L	T ORIGINAL	E
ACG											
LPC-1		0.31667	1.64444	1.13889	1.97778	7.85556 **	0.68889	4.57778 **			
LPC-2		-13.71667 **	-10.10556 **	-15.54444 **	-6.12222 **	-14.52778 **	-12.09444 **	-13.60556 **			
LPC-5		0.70000	-1.68889	-3.12778 *	-3.42222	-2.61111	3.25556 **	-4.33889 **			
LPC-18		5.60000 **	2.19444	0.53889	1.02778	4.88889 *	2.38889 *	6.07778 **			
LPC-21		7.26667 **	13.61111 **	21.25556 **	11.84444 **	13.12222 **	14.85556 **	11.21111 **			
Mol7W		-0.16667	-5.65556 **	-4.26111 **	-5.30556 *	-8.72778 **	-9.09444 **	-3.92222 **			
Error est. ($g_1=0$)		1.36969	1.71725	1.30255	2.03443	1.80041	1.11412	1.29520			
ACE											
LPC-1 x LPC-2		6.18667 *	-0.33000	-3.95000	3.03333	-5.36333	0.86333	3.63667			
LPC-1 x LPC-5		7.43667 **	1.18667	1.83333	-5.73333	0.78667	1.11333	-0.96333			
LPC-1 x LPC-18		-1.46333	-0.63000	0.76667	2.28333	1.88667	-2.48667	0.88667			
LPC-1 x LPC-21		-3.86333	-2.98000	8.05000 **	9.40000 *	9.52000 **	2.84667	-2.78000			
LPC-1 x Mol7W		-8.29667 **	2.75333	-6.70000 **	-8.98333 *	-6.83000 *	-2.33667	-0.78000			
LPC-2 x LPC-5		0.20333	-3.99667	-0.08333	-7.16667 *	2.17000	-2.10333	0.95333			
LPC-2 x LPC-18		-8.29667 **	2.78667	0.58333	-2.15000	7.80333 *	-6.17000 **	-1.86333			
LPC-2 x LPC-21		1.63667	-1.63000	5.40000 *	-1.83333	-4.76333	-1.43667	-2.46333			
LPC-2 x Mol7W		0.27000	3.17000	-1.95000	8.11667 *	0.15333	8.84667 **	-0.26333			
LPC-5 x LPC-18		-0.71333	0.03667	-2.10000	2.61667	-2.24667	3.21333	2.93667			
LPC-5 x LPC-21		-6.64667 **	5.28667	-4.68333 *	3.40000	-6.48000 *	-2.32000	1.80333			
LPC-5 x Mol7W		-0.28000	-2.51333	5.03333 *	6.88333	5.77000	0.09667	-4.73000 *			
LPC-18 x LPC-21		5.52000 *	0.27000	-5.81667 *	-3.85000	-3.31333	6.48000 **	-2.14667			
LPC-18 x Mol7W		4.95333 *	-2.46333	6.56667 **	1.10000	-4.13000	-1.03667	0.18667			
LPC-21 x Mol7W		3.35333	-0.94667	-2.95000	-7.11667 *	5.03667	-5.57000 **	5.58667 *			
Error est. ($s_{1j}=0$)		2.32444	2.91427	2.21050	3.45253	3.05539	1.89073	2.19803			

positivos y significativos; LPC-2 x LPC-18 con ZD y MC tienen efectos significativos negativos y positivos con JAL; LPC-2 x LPC-21 con OAX y LPC-2 x Mo17W con MAZ y ZD presentó efectos de ACE positivos significativos, en tanto que en la versión original el efecto fue negativo no significativo; LPC-5 x Mo17W sin teocintle mostró ACE negativa significativa, mientras que con OAX también fue significativo, pero positivo (Cuadro 21).

4.2.10. Aspecto de planta

Con excepción de Mo17W que presentó un efecto de ACG negativo significativo, todas las líneas originales mostraron efectos de ACG positivos para el carácter aspecto de planta, pero únicamente fue significativo en LPC-2 (Cuadro 22). El comportamiento de LPC-2 no se modificó por la incorporación de genes de teocintle y con todas las fuentes de teocintle se asoció con efectos significativos positivos e incluso con valores numéricos mayores que en la versión original. Mo17W también fue consistente y, con o sin teocintle, presentó efectos de ACG negativos significativos. Con respecto a las otras líneas originales, la incorporación de teocintle propició algunos cambios en la ACG: LPC-1 fue consistente con MC, CH y ZD, en tanto que con MAZ, OAX y ZD presentó efectos negativos, pero no significativos; LPC-5, al igual que la original, mostró efectos de ACG positivos con CH, OAX, JAL y ZD, mientras que con MC y MAZ fueron negativos no significativos; LPC-18 fue consistente con JAL y MAZ, en tanto que con las otras cuatro fuentes de teocintle

exhibió efectos negativos y significativos con MC y OAX (Cuadro 22). Destaca que LPC-1 consistentemente presentó efectos de ACE positivos, pero que éstos fueron significativos con las fuentes OAX, JAL y ZD (Cuadro 22).

En las cruzas originales, la única que mostró un efecto significativo negativo de ACE para aspecto de planta fue LPC-18 x LPC-21 (Cuadro 22); esta craza fue consistente con las diferentes fuentes de teocintle, con excepción de OAX. En las cruzas originales las que mostraron los efectos positivos de ACE de mayor magnitud fueron LPC-2 x LPC-18, LPC-1 x LPC-18, LPC-1 x LPC-21 y LPC-21 x Mo17W. La incorporación de germoplasma de teocintle influyó para que los efectos de ACE mostraran algunos cambios: LPC-2 x LPC-18 fue consistente con cuatro de las seis fuentes de teocintle y sólo presentó efectos negativos con OAX y además significativo con CH; LPC-1 x LPC-18 con cinco fuentes exhibió efectos de ACE positivos y con JAL fue significativo, mientras que con ZD el efecto fue negativo, pero no significativo; LPC-1 x LPC-21 fue consistente con ZD y OAX, pero con esta última el efecto fue significativo, mientras que con las otras fuentes los efectos fueron negativos no significativos; LPC-21 x Mo17W fue consistente con ZD, MAZ y MC, en tanto que con JAL, CH y OAX los efectos de ACE fueron negativos y significativos con CH y OAX (Cuadro 22).

Es importante señalar que se presentaron efectos heteróticos significativos positivos, pero también algunos negativos. La únicas

CUADRO 22. APTITUD COMBINATORIA GENERAL (ACG), ESPECIFICA (ACE) Y PRUEBAS DE HIPOTESIS EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ASPECTO DE PLANTA.

	F M CENTRAL	U CHALCO	E OAXACA	T MAZATLAN	O JALISCO	C Z DIPLOP	I L	N E	T ORIGINAL
ACG									
LPC-1	0.13889	0.00000	-0.02778	-0.02778	0.02778	-0.02778		0.11111	
LPC-2	0.72222 **	0.66667 **	0.47222 **	0.63889 **	0.36111 *	0.47222 **		0.36111 **	
LPC-5	-0.11111	0.16667	0.22222	-0.11111	0.02778	0.05556		0.02778	
LPC-18	-0.36111 **	-0.16667	-0.36111 *	0.05556	0.02778	-0.19444		0.19444	
LPC-21	0.22222	0.08333	0.30556 *	0.13889	0.27778 *	0.47222 **		0.19444	
Mo17W	-0.61111 **	-0.75000 **	-0.61111 **	-0.69444 **	-0.72222 **	-0.77778 **		-0.88889 **	
Error est. ($g_1=0$)	0.11161	0.10446	0.14164	0.13568	0.13322	0.09905		0.12154	
ACE									
LPC-1 x LPC-2	0.45000 *	0.06667	0.06667	-0.10000	-0.83333 **	0.06667		-0.18333	
LPC-1 x LPC-5	-0.05000	-0.10000	-0.68333 **	0.31667	-0.16667	-0.18333		-0.18333	
LPC-1 x LPC-18	0.20000	0.23333	0.23333	0.15000	0.50000 *	-0.26667		0.31667	
LPC-1 x LPC-21	-0.05000	-0.01667	0.56667 *	-0.26667	-0.08333	0.40000		0.31667	
LPC-1 x Mo17W	-0.55000 **	-0.18333	-0.18333	-0.10000	0.58333 *	-0.01667		-0.26667	
LPC-2 x LPC-5	-0.63333 **	-0.43333 *	0.15000	-0.01667	-0.16667	-0.01667		-0.10000	
LPC-2 x LPC-18	0.28333	-0.43333 *	-0.26667	0.15000	0.16667	0.56667		0.40000	
LPC-2 x LPC-21	0.36667	0.65000 **	-0.26667	0.06667	0.58333 *	-0.43333		0.06667	
LPC-2 x Mo17W	-0.46667 *	0.15000	0.31667	-0.10000	0.25000	-0.18333		-0.18333	
LPC-5 x LPC-18	0.11667	0.06667	-0.35000	-0.43333	0.16667	-0.01667		0.06667	
LPC-5 x LPC-21	0.20000	0.15000	0.31667	0.15000	0.25000	-0.01667		0.06667	
LPC-5 x Mo17W	0.36667	0.31667	0.56667 *	-0.01667	-0.08333	0.23333		0.15000	
LPC-18 x LPC-21	-0.88333 **	-0.18333	0.23333	-0.01667	-0.41667	-0.10000		-0.76667 **	
LPC-18 x Mo17W	0.28333	0.31667	0.15000	0.15000	-0.41667	-0.18333		-0.01667	
LPC-21 x Mo17W	0.36667	-0.60000 **	-0.85000 **	0.06667	-0.33333	0.15000		0.31667	
Error est. ($s_{ij}=0$)	0.18940	0.17728	0.24037	0.23025	0.22608	0.16809		0.20625	

cruzas que mostraron heterosis significativa con dos fuentes de teocintle fueron LPC-2 x LPC-21 con CH y JAL y LPC-21 x Mo17W con CH y OAX, pero en la primera crusa la heterosis fue positiva y en la segunda negativa.

4.3. Consideraciones sobre la transferencia de germoplasma de teocintle

Tomando como referencia los resultados de ACG y ACE que se presentan en los Cuadros 13 a 22, se constató que el teocintle en muchos casos representa una opción para mejorar características agronómicas de interés en el cultivo de maíz. Sin embargo, el mejorar una característica frecuentemente lleva consigo una modificación indeseable en otro carácter. En los Cuadros 23 y 24 se pretende resumir estas situaciones para indicar, con respecto a las líneas originales, en que características la ACG se mejoró (Cuadro 23) para cada fuente y carácter, así como los efectos negativos en otros caracteres que se propiciaron cuando se mejoró la ACG de dicho carácter. De igual forma en el Cuadro 24 se concentra la información para la ACE. Para la elaboración de los Cuadros 23 y 24 se tomó como base que los valores de ACG y ACE dentro de cada fuente de teocintle fueran significativos o altamente significativos con respecto a los valores correspondientes en las líneas originales.

Dentro del cultivo de maíz algunas características que requieren mejoramiento son rendimiento de grano, acame de raíz y

tallo, aumentar la proporción de mazorcas sanas, reducir la cantidad de pudriciones de mazorca y mejorar el aspecto o sanidad de planta. De acuerdo con la información obtenida en este estudio y concentrada en los Cuadros 23 y 24 se observa que en LPC-1 se mejora la ACG para mazorcas dañadas (CH), acame de raíz (MAZ), acame de raíz y tallo (ZD) sin modificar negativamente otras características; en LPC-2 se mejoró el acame de raíz con las fuentes MC, CH, MAZ y JAL, el acame de tallo en las fuentes OAX, MAZ y ZD y rendimiento de grano con MAZ. LPC-5 sólo mejoró en mazorcas sanas con las fuentes JAL y ZD y mazorcas dañadas con ZD. LPC-21 mejoró en aspecto de planta con las fuentes OAX, JAL y ZD. En todos estos casos el mejoramiento de la ACG de estos caracteres no afectó negativamente la ACG del resto, con excepción de LPC-5 que mejoró la ACG para mazorcas sanas y dañadas pero por otro lado incrementó los días a floración femenina y tuvo mayor altura de planta y mazorca. También hubo muchos casos en los que se mejoró la ACG para algún carácter pero se empeoró en otros caracteres agronómicos mas importantes como sucedió en LPC-18 al utilizar la fuente OAX, en donde se redujo el efecto de la ACG para altura de planta, pero incrementó los efectos de ACG para acame de raíz, mazorcas sanas y dañadas y además se redujeron para aspecto de planta (Cuadro 23).

En cuanto a la ACE destacan las cruzas LPC-1 x LPC-2 que mejoró aspecto de planta (MC), mazorcas sanas (CH) y acame de raíz (OAX); LPC-1 x LPC-18 en rendimiento y mazorcas dañadas (MAZ), aspecto de planta (JAL), mazorcas sanas (CH); LPC-1 x LPC-21

CUADRO 23. EFECTO DE SEIS FUENTES DE TEOCINTLE EN LA ACG DE SEIS LINEAS ELITE DE MAIZ

LINEA	TEOCINTLE	SE MEJORO EN	SE EMPEORO EN
LPC-1	MC	Flor masculina y femenina	X
LPC-2	MC	Acame de raíz	X
LPC-5	MC	X	X
LPC-18	MC	X	Floración masculina y aspecto de planta
LPC-21	MC	X	Floración masculina
Mo17W	MC	X	Acame de raíz
LPC-1	CH	Mazorcas dañadas	X
LPC-2	CH	Acame de raíz	X
LPC-5	CH	X	X
LPC-18	CH	Altura de planta	Floración masculina
LPC-21	CH	X	Acame de raíz y floración masculina
Mo17W	CH	Acame de raíz	X
LPC-1	OAX	Altura de planta	Mazorcas dañadas
LPC-2	OAX	Acame de tallo	X
LPC-5	OAX	X	X
LPC-18	OAX	Altura de planta	Acame de raíz, mazorcas sanas y dañadas, floración masculina y aspecto de planta
LPC-21	OAX	Aspecto de planta	X
Mo17W	OAX	X	X
LPC-1	MAZ	Acame de raíz	X
LPC-2	MAZ	Rendimiento de grano, acame de raíz y tallo	X
LPC-5	MAZ	X	X
LPC-18	MAZ	Altura de planta	Acame de raíz
LPC-21	MAZ	X	Floración masculina
Mo17W	MAZ	X	Acame de raíz
LPC-1	JAL	X	Altura de planta
LPC-2	JAL	Acame raíz, flor. masc.	X
LPC-5	JAL	Mazorcas sanas	X
LPC-18	JAL	Acame de tallo	Acame raíz, flor. masc.
LPC-21	JAL	Aspecto de planta	Floración masculina
Mo17W	JAL	X	X
LPC-1	ZD	Acame raíz y tallo, flor. fem.	X
LPC-2	ZD	Acame de tallo	X
LPC-5	ZD	Mazorcas sanas y dañadas	Floración femenina, altura planta y mazorca
LPC-18	ZD	Altura de planta	X
LPC-21	ZD	Aspecto de planta	X
Mo17W	ZD	X	X

rendimiento y aspecto de planta (OAX); LPC-5 x LPC-18 en rendimiento (CH), acame de raíz (MAZ) y mazorcas sanas (ZD); pero sobre todo la cruce LPC-2 x LPC-21 que respondió a cuatro fuentes de teocintle: se mejoró en rendimiento (CH, OAX y MAZ), acame de raíz (CH y MAZ), acame de tallo (CH y JAL), aspecto de planta (CH y JAL), mazorcas sanas (OAX y JAL) y mazorcas dañadas (MAZ y JAL). Estas mejoras no estuvieron relacionadas con ningún efecto indeseable (Cuadro 24).

4.4. Componentes de varianza

El análisis genético de una población incluye entre otros aspectos las estimaciones de aptitud combinatoria, la cuantificación de la varianza genética, así como el desglose de ésta en sus componentes aditivo y de dominancia. Esta información es básica para definir el método de mejoramiento más conveniente para aprovechar adecuadamente los tipos de acción génica que controlan la expresión del carácter de interés. Los métodos de mejoramiento basados en la selección recurrente capitalizan la acción génica aditiva, en tanto que los de hibridación capitalizan la heterosis relacionada con la no aditiva.

A diferencia de la sección de estimación de efectos de ACG y ACE, en esta sección la población de referencia son los sintéticos que resultarían de combinar las cruces simples de cada grupo estudiado. En los Cuadros 25 a 34 se concentran los componentes de

CUARDO 24. EFECTO DE SEIS FUENTES DE TEOCINTLE EN LA ACE DE SEIS LÍNEAS ELITE DE MAIZ

CRUZA	TEOCINTLE	SE MEJORO EN	SE EMPEORO EN
LPC-1 X LPC-2	MC	Aspecto de planta	X
LPC-1 X LPC-5	MC	Floración masculina	Altura de mazorca
LPC-1 X LPC-18	MC	Altura de mazorca	Floración masculina
LPC-1 X LPC-21	MC	X	Floración masculina
LPC-1 X Mo17W	MC	Altura de mazorca	Aspecto de planta
LPC-2 X LPC-5	MC	X	Aspecto de planta
LPC-2 X LPC-18	MC	Altura de mazorca	Floración femenina
LPC-2 X LPC-21	MC	X	X
LPC-2 X Mo17W	MC	X	Acame tallo y aspecto planta
LPC-5 X LPC-18	MC	X	X
LPC-5 X LPC-21	MC	Altura de mazorca	X
LPC-5 X Mo17W	MC	X	Floración masculina
LPC-18 X LPC-21	MC	X	Altura mazorca
LPC-18 X Mo17W	MC	Tallo, floración femenina	Altura de mazorca
LPC-21 X Mo17W	MC	X	X
LPC-1 X LPC-2	CH	Mazorcas sanas	X
LPC-1 X LPC-5	CH	X	X
LPC-1 X LPC-18	CH	Mazorcas sanas	X
LPC-1 X LPC-21	CH	X	Mazorcas sanas
LPC-1 X Mo17W	CH	X	X
LPC-2 X LPC-5	CH	Altura de planta	Rend, tallo, sanas, aspecto planta
LPC-2 X LPC-18	CH	X	Acame raíz, aspecto planta
LPC-2 X LPC-21	CH	Rend, raíz, tallo, aspecto planta	X
LPC-2 X Mo17W	CH	X	X
LPC-5 X LPC-18	CH	Rendimiento	X
LPC-5 X LPC-21	CH	Acame tallo, mazorcas sanas	Mazorcas dañadas
LPC-5 X Mo17W	CH	Mazorcas dañadas	X
LPC-18 X LPC-21	CH	Altura de planta	Rendimiento, acame tallo
LPC-18 X Mo17W	CH	Floración masculina, acame tallo	X
LPC-21 X Mo17W	CH	X	Aspecto planta
LPC-1 X LPC-2	OAX	Acame raíz	X
LPC-1 X LPC-5	OAX	X	Aspecto planta
LPC-1 X LPC-18	OAX	Altura de planta	X
LPC-1 X LPC-21	OAX	Rendimiento, aspecto planta	Altura planta y mazorca
LPC-1 X Mo17W	OAX	Altura mazorca	X
LPC-2 X LPC-5	OAX	Altura planta	X
LPC-2 X LPC-18	OAX	X	Acame de raíz
LPC-2 X LPC-21	OAX	Rendimiento, mazorcas sanas	Altura de mazorca
LPC-2 X Mo17W	OAX	X	X
LPC-5 X LPC-18	OAX	X	X
LPC-5 X LPC-21	OAX	Acame tallo y altura mazorca	X
LPC-5 X Mo17W	OAX	Rendimiento, aspecto planta	Altura Planta y mazorca
LPC-18 X LPC-21	OAX	Raíz, altura planta y mazorca	X
LPC-18 X Mo17W	OAX	X	Flor masc y fem, alt. planta y mazorca
LPC-21 X Mo17W	OAX	Altura de planta	Rend., raíz, dañadas y aspecto planta

CUADRO 24. Continuación

CRUZA	TEOCINTLE	SE MEJORO EN	SE EMPEORO EN
LPC-1 X LPC-2	MAZ	X	Raíz
LPC-1 X LPC-5	MAZ	X	X
LPC-1 X LPC-18	MAZ	Rendimiento, mazorcas dañadas	X
LPC-1 X LPC-21	MAZ	X	Altura planta y mazorca
LPC-1 X Mo17W	MAZ	Altura mazorca	X
LPC-2 X LPC-5	MAZ	Altura mazorca	X
LPC-2 X LPC-18	MAZ	X	X
LPC-2 X LPC-21	MAZ	Rendimiento, raíz, maz. dañadas	X
LPC-2 X Mo17W	MAZ	X	Altura mazorca
LPC-5 X LPC-18	MAZ	Acame raíz	X
LPC-5 X LPC-21	MAZ	X	Rendimiento
LPC-5 X Mo17W	MAZ	Mazorcas dañadas	X
LPC-18 X LPC-21	MAZ	Altura planta	Rendimiento, dañadas
LPC-18 X Mo17W	MAZ	X	X
LPC-21 X Mo17W	MAZ	Altura mazorca	X
LPC-1 X LPC-2	JAL	X	Rendimiento, dañadas, aspecto planta
LPC-1 X LPC-5	JAL	X	X
LPC-1 X LPC-18	JAL	Aspecto de planta	X
LPC-1 X LPC-21	JAL	X	Altura mazorca
LPC-1 X Mo17W	JAL	Tallo, planta, mazorca, asp planta	X
LPC-2 X LPC-5	JAL	Floración femenina	Mazorcas sanas
LPC-2 X LPC-18	JAL	X	Masc y fem, altura planta y mazorca
LPC-2 X LPC-21	JAL	Tallo, sanas, dañadas, asp planta	X
LPC-2 X Mo17W	JAL	X	X
LPC-5 X LPC-18	JAL	X	X
LPC-5 X LPC-21	JAL	Altura mazorca	X
LPC-5 X Mo17W	JAL	X	Mazorcas dañadas
LPC-18 X LPC-21	JAL	Altura planta	X
LPC-18 X Mo17W	JAL	Dañadas, floración masc y fem	X
LPC-21 X Mo17W	JAL	X	Rendimiento, altura planta
LPC-1 X LPC-2	ZD	Floración masculina y femenina	X
LPC-1 X LPC-5	ZD	X	X
LPC-1 X LPC-18	ZD	X	X
LPC-1 X LPC-21	ZD	Altura de planta	Floración masculina y femenina
LPC-1 X Mo17W	ZD	Tallo y mazorcas sanas	X
LPC-2 X LPC-5	ZD	Acame tallo y mazorcas sanas	X
LPC-2 X LPC-18	ZD	Altura planta y mazorca	Mazorcas sanas
LPC-2 X LPC-21	ZD	X	X
LPC-2 X Mo17W	ZD	X	Flor masc y fem, dañadas, alt. mazorca
LPC-5 X LPC-18	ZD	Mazorcas sanas	X
LPC-5 X LPC-21	ZD	X	Rendimiento, maz sanas, altura planta
LPC-5 X Mo17W	ZD	X	Mazorcas sanas
LPC-18 X LPC-21	ZD	X	Altura planta y mazorca
LPC-18 X Mo17W	ZD	X	X
LPC-21 X Mo17W	ZD	Rend, sanas, masc, planta y mazorca	X

varianza estimados para cada variable con y sin teocintle, así como el error estándar para la varianza aditiva y el valor de la relación VA/VD para determinar la importancia relativa de la varianza aditiva en relación a la no aditiva. En estos cuadros las abreviaturas ACG, ACE, VA/VD y EEVA se refieren a la aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica, varianza genética aditiva, varianza genética de dominancia y error estándar para la varianza genética aditiva, respectivamente.

El EEVA da idea de la confiabilidad de la estimación de la varianza aditiva. Se puede observar que en los siete dialélicos (Cuadros 25 a 34) y para los caracteres floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y aspecto general de la planta la magnitud de la varianza aditiva fue superior a la del EEVA. En el resto de las variables hubo casos en los que el valor del EEVA fue superior al de la varianza aditiva como en rendimiento con OAX y ZD, acame de raíz en CH y ZD, acame de tallo en MC y material original, mazorcas sanas con MAZ y JAL, mazorcas dañadas con CH y MAZ. Incluso hubo casos en los que la varianza aditiva presentó valores negativos como fueron rendimiento con CH, acame de raíz con OAX y original, acame de tallo con CH, mazorcas sanas con MC, CH y ZD. Cabe destacar que los casos en que se obtuvieron valores negativos para varianza aditiva se asociaron con valores no significativos de ACG en el análisis de varianza. También se presentaron valores negativos para la varianza genética de dominancia en los caracteres rendimiento de grano con MC, acame

de raíz con JAL y ZD, acame de tallo con OAX, floración masculina con MAZ y original, floración femenina con CH, MAZ y original, altura de mazorca con CH y en aspecto de planta con MAZ. En estos casos la literatura menciona que los valores negativos se interpretan como cero (Allard, 1960).

Se anexa la relación VA/VD para cada fuente y variable. En los casos donde la varianza aditiva o la de dominancia se asociaron con valores negativos no fue posible calcular la relación VA/VD, por lo que se incluye la relación CMACG/CMACE del análisis de varianza para dar una idea aproximada de la relación entre la varianza genética aditiva y la de dominancia.

Al analizar las magnitudes de la varianza genética aditiva y no aditiva en el carácter rendimiento de grano (Cuadro 25), las fuentes ZD, JAL y MC conservaron una tendencia parecida a la de las líneas sin teocintle en el sentido de que la varianza genética aditiva fue mayor. En otros casos como MAZ y OAX los dos tipos de varianza tuvieron proporciones muy similares, pero en el caso de CH casi la totalidad de la varianza genética medida fue no aditiva. Las mayores relaciones VA/VD con teocintle se obtuvieron en ZD (4.4) y JAL (3.2) contra el 21.2 original, aunque también MC puede ser buena opción ya que la varianza no aditiva fue negativa, razón por la que toda la varianza genética podría considerarse como de efectos aditivos.

CUADRO 25. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA RENDIMIENTO DE GRANO (Kg/HA).

COMPONENTE	F U E N T E S	D E T E R M I N A N T E S	O C I N T L E	ORIGINAL			
	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	
Cruzas	398605.4	419621.5	814011.5	815210.8	977876.1	221714.0	931676.9
ACG	392902.9	-114847.7	212704.0	286651.0	493662.8	121352.6	612399.0
ACE	-162684.4	583689.6	510148.5	405709.3	272643.5	48353.2	56821.1
V. Aditiva	898063.8	-262509.0	486180.7	655202.4	1128372.2	277377.3	1244239.3
V. Dominancia	-212485.8	762370.1	666316.5	529906.1	356105.8	63155.2	58639.3
Error	1007696.3	580489.7	800468.4	347742.6	626795.5	1159966.1	1016302.6
EEVA	632309.5	238788.7	624409.3	619060.0	897116.7	352678.4	918902.8
EEVD	158501.7	483266.5	487373.5	323708.7	305349.7	299926.2	213932.5
VA/VD	-----	-----	0.72970	1.23650	3.16860	4.39200	21.21850
CMACG/CMACE	10.1	0.4	2.1	3.2	5.1	2.1	7.2

CUADRO 26. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE RAIZ.

COMPONENTE	F U E N T E S	D E T E R M I N A N T E S	O C I N T L E	ORIGINAL			
	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	
Cruzas	0.68395	1.61470	0.71730	2.14483	0.01379	0.06037	-0.01346
ACG	0.46156	0.57547	-0.08881	0.81495	0.25877	0.07432	-0.01679
ACE	0.02459	0.79260	0.84417	0.98061	-0.35587	-0.04581	0.01053
V. Aditiva	1.05498	1.31536	-0.20299	1.86274	0.59146	0.16988	-0.03411
V. Dominancia	0.03211	1.03523	1.10259	1.28080	-0.46481	-0.05983	0.01086
Error	0.97979	2.19613	2.02375	1.44610	1.81998	1.43646	0.40124
EEVA	0.79976	1.44261	0.58668	1.75159	0.46960	0.28856	0.04251
EEVD	0.24444	0.97290	0.96431	0.91615	0.26209	0.31467	0.07929
VA/VD	32.85520	1.27060	-----	1.45440	-----	-----	-----
CMACG/CMACE	6.3	2.5	0.8	3.2	5.1	1.7	0.5

En acame de raíz y tallo, (Cuadros 26 y 27), los resultados son interesantes ya que en el dialélico de líneas originales la varianza genética mas importante para los dos tipos de acame fue la de dominancia, en tanto que en las fuentes de teocintle fue la aditiva, excepto para acame de raíz con OAX que tuvo un valor similar al original. La relación VA/VD mas alta para acame de raíz fue 32.9 y se obtuvo con MC, mientras que en CH y MAZ las relaciones fueron 1.3 y 1.5 respectivamente. En cuanto al acame de tallo sólo en CH, al igual que en la original, fue mas importante la varianza de dominancia; en JAL la magnitud de las varianzas fue similar. En acame de tallo sobresalen las fuentes MAZ y ZD donde la relación VA/VD fue de 25.5 y 10.6 respectivamente. En estos dos caracteres en varios casos el teocintle le aporta genes al maíz para resistencia al acame, los que podrían aprovecharse a través de métodos de selección recurrente en cualquiera de sus modalidades.

Para mazorcas sanas, (Cuadro 28), algunas fuentes de teocintle tendieron a modificar, con respecto al material original, la importancia relativa de los tipos de varianza. En la versión sin teocintle la varianza aditiva fue la de mayor importancia, y este comportamiento sólo se observó en OAX, MAZ y JAL. Vale la pena señalar que en las fuentes MC, CH y ZD la varianza genética de dominancia fue de mayor importancia, mientras que en las versiones originales fue mas importante la varianza aditiva.

En los caracteres mazorcas dañadas, días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca y aspecto de planta (Cuadros 29,30, 31, 32 33 y 34, respectivamente), tanto en el dialélico original como en los que tienen germoplasma de teocintle las varianzas mostraron el mismo comportamiento y, para todos los casos, la varianza genética aditiva fue la de mayor magnitud. Las mayores relaciones VA/VD se presentaron como sigue: para mazorcas dañadas ZD (2.72), MC (3.98) y OAX (24.5) en comparación con 3.83 original; en floración masculina CH (2572.6), JAL (98.9) y MC (5.4), pero en las líneas originales no se estimó porque la varianza de dominancia para floración masculina presentó un valor negativo; en floración femenina las relaciones en OAX (9.5), JAL (9.9) y ZD 4.6); para altura de planta MC (221.2), CH (12.1) y MAZ (11.2) en comparación del 222.9 original; en altura de mazorca OAX (9.5), ZD (7.6) y JAL 6.2) en contraste con el 43.8 de las líneas originales; para aspecto de planta ZD (5.9) y CH (2.5) en comparación con 4.7 del material original.

CUADRO 27. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ACAME DE TALLO.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas	0.82238	0.68316	1.00759	1.35383	0.52186	1.59181	0.64613	
ACG	0.30798	-0.04998	0.76379	0.90421	0.16465	0.99902	0.12021	
ACE	0.38242	0.75456	-0.08354	0.06210	0.28664	0.16463	0.47440	
V. Aditiva	0.70394	-0.11424	1.74581	2.06677	0.37634	2.28349	0.24424	
V. Dominancia	0.49948	0.98555	-0.10912	0.08111	0.37439	0.21503	0.48958	
Error	0.87994	1.48576	1.60781	1.51186	1.18195	0.87114	0.68184	
EEVA	0.71305	0.50726	1.27349	1.51938	0.51756	1.61331	0.41538	
EEVD	0.42847	0.78871	0.33554	0.39040	0.44106	0.29793	0.34707	
VA/VD	1.40930	-----	-----	25.48110	1.00520	10.61940	0.49890	
CMACG/CMACE	2.8	0.8	7.8	7.4	2.0	9.8	1.7	

CUADRO 28. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS SANAS.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas	0.11522	0.70748	0.31857	0.21168	0.50567	0.69837	1.47998	
ACG	-0.04031	-0.12341	0.14971	0.07811	0.18320	-0.03783	0.99957	
ACE	0.17281	0.88378	0.10470	0.10010	0.24396	0.75241	0.05203	
V. Aditiva	-0.09213	-0.28209	0.34219	0.17854	0.41874	-0.08648	2.03087	
V. Dominancia	0.22571	1.15433	0.13675	0.13074	0.31864	0.98274	0.05369	
Error	1.27551	1.00684	0.61927	0.88438	1.15798	0.57798	2.48132	
EEVA	0.22552	0.42034	0.33937	0.27688	0.52091	0.38353	1.58093	
EEVD	0.39697	0.75988	0.20467	0.26402	0.41061	0.58577	0.48473	
VA/VD	-----	-----	2.50230	1.36560	1.31410	-----	37.82590	
CMACG/CMACE	0.7	0.6	2.9	1.8	2.2	0.8	5.5	

CUADRO 29. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA MAZORCAS DAÑADAS.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		0.30111	0.10119	0.20338	0.38587	0.32437	0.18844	0.49284
ACG		0.16114	0.04123	0.13558	0.13809	0.13944	0.09099	0.25373
ACE		0.07092	0.04228	0.00969	0.18861	0.12516	0.05845	0.13037
V. Aditiva		0.36831	0.09425	0.30990	0.31563	0.31873	0.20799	0.51551
V. Dominancia		0.09263	0.05523	0.01266	0.24634	0.16347	0.07635	0.13454
Error		0.20229	0.14633	0.23217	0.46248	0.18875	0.30838	0.26837
EEVA		0.28538	0.09572	0.22868	0.33641	0.27427	0.19472	0.40013
EEVD		0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
VA/VD		4.0	1.7	24.5	1.3	1.9	2.7	3.8
CMACG/CMACE		5.7	2.8	7.2	2.6	4.0	3.3	5.6

CUADRO 30. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DE DIAS A FLORACION MASCULINA.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		2.55714	4.06984	2.07619	0.37937	2.58889	2.57778	2.20952
ACG		1.45988	2.84753	1.13148	0.35618	1.59444	1.11852	1.61975
ACE		0.47161	0.00194	0.45979	-0.12945	0.31111	0.97989	-0.10441
V. Aditiva		3.33686	6.50864	2.58624	0.81411	3.64444	2.55661	3.29093
V. Dominancia		0.61597	0.00253	0.60054	-0.16908	0.40635	1.27986	-0.10775
Error		0.65556	1.01270	2.43175	0.90318	1.25556	1.86032	1.49841
EEVA		2.4	4.2	2.1	0.6	2.6	2.2	2.2
EEVD		0.4	0.2	0.8	0.1	0.5	1.0	0.2
VA/VD		5.4	2572.6	4.3	-----	9.0	2.0	-----
CMACG/CMACE		9.5	34.6	4.6	9.3	9.7	3.8	51.1

CUADRO 31. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA NUMERO DE DIAS A FLORACION FEMENINA.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		3.11111	4.70952	2.26825	0.71270	2.96984	4.32381	1.99365
ACG		1.59383	3.50062	1.40679	0.58519	1.85000	2.39259	1.44198
ACE		0.83422	-0.29136	0.25855	-0.12328	0.32698	0.90582	-0.06631
V. Aditiva		3.64303	8.00141	3.21552	1.33757	4.22857	5.46878	2.92973
V. Dominancia		1.08959	-0.38055	0.33770	-0.16102	0.42708	1.18311	-0.06844
Error		1.43810	1.96667	2.77619	1.36984	1.54127	2.59365	2.18413
EEVA		2.80123	5.19309	2.48213	0.97058	2.98683	4.12623	2.07157
EEVD		0.82592	0.32039	0.79734	0.25986	0.54784	1.13105	0.37942
VA/VD		3.34350	-----	9.52180	-----	9.90110	4.62240	-----
CMACG/CMACE		5.9	39.5	5.8	8.0	9.8	6.4	9.7

CUADRO 32. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE PLANTA.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		129.71073	128.92171	321.54591	147.93175	219.84425	246.13041	230.38235
ACG		90.29743	81.93968	171.21486	93.36738	125.07474	151.13304	160.27652
ACE		0.71440	11.86503	76.95324	14.54977	41.16605	30.22607	1.41589
V. Aditiva		206.39413	187.29069	391.34826	213.41116	285.88512	345.44694	325.64118
V. Dominancia		0.93309	15.49718	100.51036	19.00378	53.76791	39.47895	1.46120
Error		67.88584	67.69010	68.46679	81.87232	67.15384	54.36089	37.63098
EEVA		139.11353	131.22370	284.84042	150.51695	204.49484	236.31149	210.46458
EEVD		16.40021	22.61395	61.94739	27.46674	39.90149	30.43207	7.62164
VA/VD		221.19420	12.08550	3.89360	11.22990	5.31700	8.75020	222.85870
CMACG/CMACE		16.5	10.5	7.9	9.9	8.9	13.5	46.9

CUADRO 33. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ALTURA DE MAZORCA.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		94.84083	86.92305	219.83562	77.59346	170.13232	144.05391	114.48483
ACG		44.52689	63.27830	136.26094	31.35247	99.47400	86.78042	77.69504
ACE		31.23098	-3.47452	25.17714	32.80422	28.02660	20.08188	3.49192
V. Aditiva		101.77575	144.63611	311.45357	71.66279	227.36914	198.35525	157.85658
V. Dominancia		40.79149	-4.53815	32.88442	42.84633	36.60618	26.22939	3.60365
Error		27.01505	42.46489	24.43156	59.59994	46.67708	17.87422	24.15670
EEVA		79.65093	95.37925	209.21548	65.90431	159.98425	135.04409	103.58268
EEVD		24.97242	8.22556	20.71216	33.16330	27.38029	16.16745	6.03929
VA/VD		2.49500	-----	9.47120	1.67260	6.21120	7.56230	43.80460
CMACG/CMACE		5.4	24.7	17.4	3.4	10.1	14.3	27.9

CUADRO 34. COMPONENTES DE VARIANZA EN CRUZAS MAIZ-TEOCINTLE PARA ASPECTO DE PLANTA.

COMPONENTE	F U E N T E S D E T E O C I N T L E	M CENTRAL	CHALCO	OAXACA	MAZATLAN	JALISCO	Z DIPLOP	ORIGINAL
Cruzas		0.43968	0.36349	0.33016	0.21111	0.29048	0.33175	0.30794
ACG		0.15000	0.17099	0.10494	0.17161	0.08148	0.19259	0.16667
ACE		0.22540	0.11922	0.18025	-0.03404	0.17407	0.05661	0.06984
V. Aditiva		0.34286	0.39083	0.23986	0.39224	0.18624	0.44021	0.33862
V. Dominancia		0.29440	0.15572	0.23542	-0.04446	0.22736	0.07394	0.07208
Error		0.17937	0.15714	0.28889	0.26508	0.25556	0.14127	0.21270
EEVA		0.32900	0.31264	0.26244	0.26811	0.22272	0.31713	0.26156
EEVD		0.17683	0.10723	0.17356	0.04550	0.16238	0.06593	0.07121
VA/VD		1.16460	2.50980	1.01860	-----	0.81910	5.95360	4.69780
CMACG/CMACE		3.1	5.0	2.5	13.6	2.3	8.4	5.7

V. DISCUSION

Desde el punto de vista práctico, el rendimiento económico es la característica de mayor interés en el mejoramiento genético del maíz, sin embargo, se requiere mejorar diversos caracteres relacionados como son: resistencia al acame, la sanidad de mazorca, el ciclo vegetativo, la altura de planta entre otros caracteres.

Los resultados de esta investigación sugieren que el germoplasma de teocintle representa una opción real para el mejoramiento de algunos caracteres de líneas de maíz, lo cual está de acuerdo con lo señalado en la literatura por varios autores (Cohen y Galinat, 1984; Reeves, 1950; Lambert y Leng, 1965; Sehgal, 1963). Adicionalmente, la respuesta diferencial de las líneas a las diferentes fuentes de teocintle que se presenta en este estudio fue similar a la comunicada por Reeves (1950) en el sentido de que los efectos positivos no se presentan de manera uniforme, sino que en muchos casos los efectos son indeseables. Adicionalmente, es necesario enfatizar que tal como lo señaló Sano (1993) la incorporación de germoplasma de especies silvestres a materiales cultivados en ocasiones causa efectos positivos para una característica, pero frecuentemente acarrea cambios indeseables en caracteres cuantitativos de gran importancia económica.

En este punto es de importancia recordar que con excepción de las cruzas dialélicas originales usadas en esta investigación, los resultados se obtuvieron con líneas modificadas con la misma fuente

de teocintle, es decir, dentro de grupo, cada una de las líneas contenía 12.5% de la misma fuente de teocintle. De acuerdo con Sehgal (1963) el germoplasma de teocintle causa heterosis cuando los segmentos cromosómicos provenientes de éste se encuentran en combinaciones heterocigóticas; en otras palabras, en este estudio se esperarían niveles bajos de aptitud combinatoria general y específica al combinar materiales con la misma base germoplásmica proveniente de teocintle.

En contraparte, durante el proceso de cruzamiento y recombinación genética pudo ocurrir que los segmentos cromosómicos del teocintle se transfirieron de manera diferencial a las líneas causando algunos cambios en diferentes regiones del genoma.

Considerando que la ACG corresponde al valor genético aditivo que aportan las líneas al carácter de interés, es evidente que los cambios positivos y negativos que experimentan las líneas originales cuando se les transfirió germoplasma de teocintle se debe a cambios en el genoma de las líneas originales. Cabe destacar la existencia de líneas que mantienen su valor aditivo positivo como LPC-21 o negativo como Mo17W en caracteres como rendimiento de grano, pero es probable que el comportamiento de ésta última se deba a su procedencia de regiones templadas.

Con base en el análisis de los efectos de ACE obtenidos, se considera que existe evidencia que la transferencia de germoplasma

de teocintle a líneas de maíz representa una alternativa como fuente de heterosis para características como rendimiento de grano, aspecto de planta, mazorcas sanas y resistencia al acame entre otras.

Por otra parte, la incorporación de germoplasma de teocintle a líneas de maíz causa diversos cambios en la importancia relativa de las varianzas aditivas y de dominancia. Hay casos como en los de acame de raíz y tallo en que en el material original la varianza de dominancia es la de mayor importancia, mientras que con la incorporación de teocintle las varianzas aditivas son las de mayor importancia.

Si se conjuntan los resultados relacionados con estimación de efectos de ACG, ACE y varianzas genéticas se puede concluir que el germoplasma de teocintle causa modificaciones importantes en el tipo de acción génica de los materiales originales por lo que se amplían las posibilidades de generar variabilidad genética no existente en líneas o poblaciones y obtener avances tanto en métodos que aprovechan la varianza genética aditiva como la no aditiva.

Vale la pena resaltar que las especies silvestres no han estado sujetas a la presión de selección para varios caracteres agronómicos como lo ha estado el maíz por los agricultores por varios siglos y en el presente siglo por los mejoradores. Por lo

anterior hay necesidad de diseñar programas que aprovechen los aspectos benéficos de las especies silvestres y descarten aquellos indeseables con base en programas muy cuidadosos de selección-hibridación y combinarlos con métodos modernos de biotecnología como marcadores moleculares aplicados a la selección de segmentos cromosómicos y/o genotipos deseables.

VI. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este estudio es posible concluir lo siguiente:

La incorporación de germoplasma de teocintle a líneas de maíz fomentó cambios favorables en los efectos de ACG y ACE para algunas líneas y variables, por lo que se considera que este tipo de germoplasma representa un acervo de genes que puede ser utilizado en programas aplicados de mejoramiento para la selección de progenitores y programación de cruzas específicas.

El germoplasma de teocintle representa una alternativa real como fuente de heterosis positiva para características como rendimiento de grano, aspecto de planta, proporción de mazorcas sanas y acame de raíz y tallo entre otras.

La respuesta de las líneas de maíz evaluadas a la incorporación de germoplasma de teocintle es diferencial para línea de maíz, fuente de teocintle y carácter de estudio.

El germoplasma de teocintle en ciertas líneas de maíz fomenta cambios favorables en los efectos de ACG y/o ACE para algún carácter sin modificar negativamente los efectos para otra característica, pero en ciertas líneas algún cambio positivo conlleva uno o más cambios indeseables.

El germoplasma de teocintle modificó la importancia relativa de la varianza genética aditiva con respecto a la de dominancia en variables tan importantes como acame de raíz y tallo, lo que puede ser capitalizado en un programa de mejoramiento genético para acumular genes para estos caracteres y obtener, a través de la selección, versiones modificadas superiores a las líneas originales.

Los cambios más prometedores en ACG se dieron en LPC-2 y LPC-21, ya que LPC-2 mejoró su ACG para rendimiento de grano (MAZ), acame de raíz (MC, CH, MAZ y JAL) y acame de tallo (OAX, MAZ, ZD), en tanto que LPC-21 mejoró en rendimiento de grano (MC, OAX y JAL) y aspecto de planta (OAX, JAL y ZD).

En cuanto a ACE los cambios más espectaculares se dieron en la cruza LPC-2 x LPC-21 en donde las dos líneas mejoraron su ACG para características agronómicas de importancia. Por efectos de ACE esta combinación híbrida mejoró, con respecto a la cruza sin teocintle, en rendimiento de grano (CH, OAX y MAZ), acame de raíz (CH y MAZ), acame de tallo (CH y JAL), aspecto de planta (CH y JAL), mazorcas sanas (OAX y JAL) y mazorcas dañadas (MAZ y JAL). Algo sobresaliente es que estas mejoras no acarrearón ningún cambio indeseable.

En cuanto a varianzas genéticas, el material modificado con algunas fuentes de teocintle conservó la importancia relativa de

las varianzas aditiva y no aditiva en características tan importantes como rendimiento, pero en otros casos invierte la importancia de éstas. Los resultados mas relevantes se dieron en los aspectos de acame de raíz y tallo, ya que en el material original la varianza no aditiva fue la de mayor importancia para la expresión del carácter, en tanto que en el material modificado con germoplasma de teocintle la varianza genética aditiva fue de mayor magnitud, y sobre todo en MC para acame de raíz y en ZD y MAZ para acame de tallo.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ALLARD, R. W. 1960. Principios de la mejora genética de las plantas. OMEGA, ESPAÑA. Trad. por J. L. Montoya. pp 498.
- BUROW, M. D. AND J. C. COORS. 1993. DIALLEL. Analysis and Simulation. User's Guide.
- CARDONA, C. y C. E. POSSO. 1987. Resistencia de variedades de frijol a los gorgojos del grano almacenado. Fuentes, mecanismos y factores responsables. Hojas de Frijol. Volumen 9 No2. CIAT. Colombia.
- COHEN, J. I. and W. C. GALINAT. 1984. Potential use of alien germplasm for maize improvement. *Crop Sci.* 24: 1011-1015.
- CHRISTIE, B. R. and V. I. SHATTUCK. 1992. The diallel cross: Design, Analysis, and use for plant breeders. *Plant Breeding Reviews.* Volume 9: 9-36.
- FALCONER, D. S. 1976. Introducción a la genética cuantitativa. CECSA. MEXICO. Trad. por F. Márquez S. pp 430.
- GALINAT, W. C. 1985. Teosinte, the ancestor of maize: perspectives for its use in maize breeding for the tropics. In Brandolini, A. and F. Salamini (eds.) *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics.* FAO. Italy. pp 1-11.
- GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. of Biol. Sci.* 9: 463-493.
- GOODMAN, M. M. 1985. Use of tropical and subtropical maize and teocinte germplasm in temperate conditions. In Brandolini, A. and F. Salamini (eds.) *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics.* FAO. Italy. pp 93-103.
- KATO Y., T. A. 1996. Revisión del estudio de la introgresión entre maíz y teocintle. In Serratos, J. A., M. C. Willcox y F. Castillo (eds.) *Memoria del foro Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico.* México, D. F. CIMMYT. pp 48-57.
- LAMBERT, R. J., and E. R. LENG. 1965. Backcross response of two mature plant traits for certain Corn-Teocinte hybrids. *Crop Sci.* 5:239-241.
- MOLINA G., J. D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa: algunas implicaciones en genotecnia. AGT EDITOR. México.

- MARQUEZ S., F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo II. AGT EDITOR. México.
- MARQUEZ S., F. 1995. Métodos de mejoramiento genético del maíz. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- MARTINEZ G., A. 1983. Diseños y análisis de experimentos de cruza dialélicas. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. México.
- NAULT, L. R., D. T. GORDON, V. D. DAMSTEEGT and H. H. ILTIS. 1982. Response of annual and perennial teosintes (*Zea*) to six maize viruses. *Plant Disease* 66: 61-62.
- NAULT, L. R. and FINDLEY W. R. 1981. *Zea diploperennis*: a primitive relative offers new traits to improve corn. Ohio Report on Research and Development in Agriculture, Home Economics, and Natural Resources 66:90-92.
- REEVES, R. G. 1950. The use of teocinte in the improvement of corn inbreds. *Agron. J.* 42:248-251.
- RON P., J. y J. L. Ramírez D. 1991. Establecimiento de ensayos y colección de datos para la evaluación de variedades mejoradas de maíz del CCVP en el estado de Jalisco. Tema Didáctico 1. SARH. INIFAP. Centro de investigaciones Forestales y Agropecuarias de Jalisco. Campo Experimental forestal y Agropecuario Zapopan.
- RAMIREZ D., J. L., J. RON P. y O. COTA A. 1995a. H-315 híbrido de maíz de ciclo intermedio para la zona subtropical y tropical de México. Folleto Técnico Núm. 3. INIFAP. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo Experimental Centro de Jalisco.
- RAMIREZ D., J. L., J. RON P., J. B. MAYA L. y O. cota A. 1995b. H-357 y H-358 híbridos de maíz de crusa simple para la zona subtropical y tropical de México. Folleto Técnico Núm. 4. INIFAP. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo Experimental Centro de Jalisco.
- RAMIREZ D., J. L., J. RON P., J. B. MAYA L. y O. cota A. 1995c. H-359 y H-360 híbridos trilineales de maíz para la zona subtropical y tropical de México. Folleto Técnico Núm. 4. INIFAP. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo Experimental Centro de Jalisco.
- SANCHEZ G., J. J. 1974. Estudio sobre el tipo de acción génica que controla diversos caracteres agronómicos de maíz en líneas S_1 del Compuesto II Celaya. Tesis Licenciatura. U de G.

- SANCHEZ G., J. J. y J. A. Ruíz. C. 1996. Distribución del teocintle en México. In Serratos, J. A., M. C. Willcox y F. Castillo (eds.) Memoria del foro Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. México, D. F. CIMMYT. CIMMYT. pp 20-38.
- SANCHEZ G., J. J. 1997. Recolección, monitoreo, conservación y utilización de recursos genéticos de los principales cultivos básicos. Actividades de investigación 1997. Programa de Recursos Genéticos. Campo Experimental Centro de Jalisco. CIPAC. INIFAP. Sin publicar.
- SANO, Y. 1993. Constraints in using wild relatives in breeding: lack of basic knowledge on crop gene pools. In D. R. Buxton, R. Shibles, R. A. Forsberg, B. L. Blad, K. H. Asay, G. M. Paulsen and R. F. Wilson (eds.) International Crop Science I. Crop Science Society of America, Inc.
- SEHGAL, S. M. 1963. Effects of teosinte and *Tripsacum* introgression in maize. The Bussey Institution of Harvard University.
- SEHGAL, S. M. and BROWN, W. L. 1965. Introgression in corn belt maize. Econ. Bot. 19: 83-88.
- WILKES, H. G. 1996. El teocintle en Mexico: Panorama retrospectivo y análisis personal. In Serratos, J. A., M. C. Willcox y F. Castillo (eds.) Memoria del foro Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. México, D. F. CIMMYT. pp 11-19.
- ZHANG, Y. AND M. S., KANG. 1997. Diallel-SAS: A SAS Program for Griffing's Diallel Analysis. Agron. J. 89:176-182.