



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y APTITUD
COMBINATORIA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE
DEL ESTADO DE MÉXICO**

AURELIO CHICO ARCE RAMÍREZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada “**CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y APTITUD COMBINATORIA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO**”, realizada por el alumno: **AURELIO CHICO ARCE RAMÍREZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como el requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJERO:



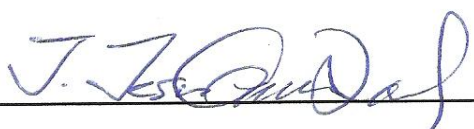
Dr. JOSÉ DOMINGO MOLINA GALÁN

DIRECTOR DE TESIS:



Dr. RAFAEL ÁNGEL DEL SAGRADO CORAZÓN
ORTEGA PACZKA

ASESOR:



Dr. J. JESÚS GARCÍA ZAVALA

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, agosto de 2013

*“Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una
oportunidad para penetrar en el maravilloso mundo del saber”
(Albert Einstein).*

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en particular al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Campus Montecillo, por la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado para la culminación de mis estudios de Maestría; así como por la beca otorgada durante el desarrollo de mi tesis de investigación.

Al pueblo de México, que a través de sus impuestos me ha dado la oportunidad de ser un profesional.

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación (SINAREFI), promovido por la **SAGARPA-SNICS**, y a la **Universidad Autónoma Chapingo (UACH)**, por el financiamiento para realizar este trabajo de investigación.

A los agricultores del sureste del Estado de México, por los apoyos para llevar a cabo los experimentos en sus parcelas.

Al personal del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en especial al Sr. Marcos Moreno Moreno, Auxiliar Técnico de Investigación, por la conducción de los trabajos de campo, toma y captura de datos.

Al Dr. José D. Molina Galán: No hay palabras que puedan llenar la inmensa gratitud y respeto que representa para mí tener como amigo, profesor y orientador a este

extraordinario ser humano, que cambió el sentir y la dirección de mi vida. Que sin conocer mis defectos, errores y virtudes me concedió la oportunidad de formar parte de su historia. Por la confianza depositada durante el desarrollo de mi programa de Maestría, por cimentar en mí las bases genéticas con una formación sólida; por su paciencia, apoyo, dedicación y acertada dirección para la elaboración de este trabajo de investigación.

El Dr. Molina será recordado en la historia por sus conocimientos y enseñanzas, por el gran sentido de responsabilidad hacia la docencia, por la convicción de formar profesionales con alto sentido de responsabilidad humana y social. Por todo ello le deseo mucha salud y más años de vida.

Al Dr. Rafael Ángel del Sagrado Corazón Ortega Paczka, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo, por la dirección, revisión, y corrección del presente trabajo; también por su constante apoyo para la culminación de la presente tesis.

Al Dr. J. Jesús García Zavala, quien fungió como mi asesor y cordialmente revisó el presente trabajo, aportando acertadamente sus sugerencias y comentarios, con el fin de mejorar el presente documento. Por las traducciones al idioma Inglés de los resúmenes que contiene este trabajo de investigación.

Al Dr. Fernando Castillo González, quien amablemente ayudó en el análisis e interpretación estadístico de los datos de campo, así como por sus comentarios y sugerencia para la culminación de este trabajo de tesis.

Al Dr. Manjit S. Kang, por facilitar la información de sus programas y modelos para análisis de diseños Dialélicos, los que ayudaron en el análisis e interpretación estadístico de los datos de campo.

A todos mis profesores de Genética y Estadística, quienes amablemente compartieron sus conocimientos dentro y fuera de las aulas.

A la secretaria Dalila, por su amabilidad y atención brindada durante mi programa de Maestría.

DEDICATORIA

A **DIOS**, quien ha sido el principal responsable de que yo me encuentre realizando este gran sueño, quien me ha encaminado por el camino del saber y del conocimiento, quien hasta hoy le debo lo que soy.

Con profundo respeto y cariño a mis padres **VIRGINIO ARCE FLORES y PETRA REBECA RAMÍREZ LÓPEZ**, de quienes viviré agradecido eternamente. Son dos seres humanos maravillosos que la vida me ha dado, y soy inmensamente afortunado por tenerlos como padres.

A **DOLORES**, a quien le agradezco por compartir una vida de sueños e ilusiones, por el cariño que día con día me da. Gracias por darme un hijo maravilloso que ha sido fruto de nuestro amor y cariño. Cuando me siento cansado, sin ganas de seguir adelante y una lágrima de tristeza se derrama de mis ojos, tengo la fortaleza que necesito para seguir adelante porque los tengo a ustedes.

A mi **HIJO “JOSÉ EMILIANO”**, a través de quien se transmitirán mis genes generacionalmente y que, sin aún él saberlo, es mi fuente de inspiración, de motivación y mi alegría. En su nombre lleva inscrito dos importantes hombres que han cambiado el sentido de mi vida. **“JOSÉ”** en honor a mi ilustre y apreciado amigo, maestro y orientador José Domingo Molina Galán, y **“EMILIANO”** por el gran revolucionario mexicano Emiliano Zapata.

Con mucho cariño a mis **HERMANOS**, en especial a Florencio Arce, Hilda Arce y Virginio Arce a quienes agradezco sus consejos y motivaciones para seguir a delante en la vida como profesional y como ser humano.

A la familia **SALAZAR ARANDA**, por acogerme en algunos momentos inciertos de mi vida, y por el gran aprecio que siento hacia ellos.

A la familia **ORTEGA VALDIVIA**, a quienes les debo parte de mi éxito como profesional y ser humano.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en mi formación, mil gracias.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	vi
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL	7
2.1 Materiales de partida y premejoramiento genético	7
2.2 Heterosis.....	9
2.3 Importancia de la heterosis.....	11
2.4 Medición de la heterosis	12
2.5 Endogamia.....	13
2.6 Diseño dialélico.....	14
2.7 Supuestos en el análisis del diseño de cruzas dialélicas.....	17
2.8 Aptitud combinatoria general y específica	18
2.9 Antecedentes del mejoramiento genético del maíz en la Mesa Central del Altiplano de México.....	19
III CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MEXICO	25
3.1 RESUMEN	25
3.2 SUMMARY.....	27

3.3 INTRODUCCIÓN	28
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.4.1 Materiales genéticos.....	32
3.4.2 Características de los experimentos.....	33
3.4.3 Conducción de los experimentos.....	34
3.4.4 Variables evaluadas	40
3.4.5 Análisis de los datos experimentales acopiados.....	41
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.5.1 Resultados para el conjunto de 110 materiales genéticos.....	42
3.6 CONCLUSIONES	68
3.7 LITERATURA CITADA.....	70
IV APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO	73
4.1 RESUMEN	73
4.2 SUMMARY.....	75
4.3 INTRODUCCIÓN	76
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	80
4.4.1 Materiales	80
4.4.2 Métodos y parcela experimental	80
4.4.3 Ambientes de prueba.....	81
4.4.4 Conducción de los experimentos.....	82
4.4.5 Análisis de la información	84
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87

4.5.1 Resultados y discusión del dialélico	87
4.6 CONCLUSIONES	103
4.7 LITERATURA CITADA.....	104
V. DISCUSIÓN GENERAL.....	109
5.1 Discusión del primer estudio con los 110 materiales genéticos evaluados.....	110
5.2 Discusión del Segundo Estudio (el dialélico)	113
VI. LITERATURA CITADA EN LA REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL, RESUMEN GENERAL Y DISCUSIÓN GENERAL.....	116

INDICE DE CUADROS

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MEXICO

Cuadro 1. Agrupación por tipos de materiales genéticos	32
Cuadro 2. Características de los ambientes de evaluación de los 110 materiales genéticos	33
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado entre tipos de materiales.....	43
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las cuatro localidades entre 110 materiales genéticos de maíz.....	58

APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Cuadro 1. Genealogía de 10 poblaciones sobresalientes de la raza Chalqueño cruzadas con maíces mejorados con 3 a 4 generaciones de recombinación	80
Cuadro 2. Características de los ambientes de evaluación de las 10 poblaciones progenitoras y de sus 45 cruzas simples posibles.	81
Cuadro 3. Análisis de varianza combinado de cuatro localidades del peso seco de grano por planta (PSG/PP) para 10 poblaciones usadas como progenitores y de sus 45 cruzas simples posibles, usando el Método 2 de Griffing.	87
Cuadro 4. Peso seco promedio de grano por planta (PSG/PP) y genealogía de las 10 poblaciones progenitoras y sus 45 cruzas simples posibles.	91
Cuadro 5. Rendimiento promedio para localidades	94
Cuadro 6. Orden de ACG de las 10 poblaciones utilizadas como progenitores.....	95
Cuadro 7. Efectos de ACE de las 45 cruzas simples posibles.	99
Cuadro 8. Estructura genética de las 45 cruzas simples posibles.	102

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

Cuadro 1. Poblaciones nativas (colectas) que intervienen en la formación de los materiales genéticos.	125
Cuadro 2. Comparación de medias agrupadas por tipos de materiales, para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.....	126
Cuadro 3. Comparación de medias por localidades, para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.....	126
Cuadro 4. Comparación de medias individuales de los 110 materiales genéticos (10 más altos y 5 más bajos), para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.	127
Cuadro 5. Resumen de los 110 materiales genéticos	128

RESUMEN GENERAL

El propósito de esta investigación fue contribuir a la detección de materiales genéticos adecuados de partida para el mejoramiento genético de maíz (*Zea mays L*) de grano blanco y blanco cremoso para el Sureste del Estado de México, así como definir el método de mejoramiento genético a seguir en las mismas. Para ello, se realizaron dos estudios; en el primero se evaluó el peso seco de grano por planta (PSG/PP), componentes del rendimiento, y características agronómicas de 110 materiales genéticos, mientras que en el segundo se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (g_i) (ACG) y específica (s_{ij})(ACE) del PSG/PP de 10 poblaciones sobresalientes y de sus 45 cruzas simples posibles, respectivamente, mediante el Método 2 de Griffing. En ambos estudios se usó un diseño de látice triple 10 x 11 con tres repeticiones en cuatro localidades del Estado de México, y la información obtenida se analizó con el modelo estadístico del diseño de bloques completos al azar haciendo un análisis combinado de localidades; adicionalmente, con los efectos de g_i y s_{ij} se construyó la estructura genética del PSG/PP de cada craza, para identificar las mejores poblaciones y las mejores cruzas.

En el primer estudio se confirmó que las poblaciones nativas en general presentaron valores bajos en la mayoría de los componentes de rendimiento y del rendimiento mismo, y que algunas manifestaron características agronómicas no deseables. Por otro lado, en comparación con las poblaciones nativas, las poblaciones producto del premejoramiento, así como sus cruzas presentaron mejores componentes del rendimiento, mejor PSG/PP y características agronómicas deseables. Por su parte, las retrocruzas presentaron valores intermedios en rendimiento y características

agronómicas no deseables, mientras que los maíces mejorados mostraron valores intermedios en rendimiento, y presentaron buenas características de planta, pero no de mazorca. Además, se detectaron los híbridos HS2 y Niebla como sobresalientes en rendimiento, y a Juchitepec como la localidad que reunió las condiciones óptimas para el cultivo del maíz.

En el segundo estudio, el análisis de varianza combinando detectó significancia en la mayoría de las fuentes de variación, excepto en ACG. Las cruzas que mostraron los mayores efectos de ACE no siempre fueron las que tuvieron mayor PSG/PP. Las cruzas con efectos bajos de ACE no siempre presentaron bajo PSG/PP. Las cruzas de más alto rendimiento fueron aquellas en las que cuando menos uno de los progenitores fue de alta ACG y sus efectos de ACE fueron altos y positivos. Las cruzas de bajo rendimiento fueron aquellas en las que cuando menos uno de sus progenitores fue de baja ACG y sus efectos de ACE fueron negativos y de alto valor absoluto.

En general, se identificaron materiales genéticos sobresalientes de partida para el mejoramiento genético del maíz en el Sureste del Estado de México, ya sea por selección o por hibridación.

Palabras clave: *Zea mays L.*, aptitud combinatoria, cruzas dialélicas, poblaciones nativas, premejoramiento, rendimiento.

GENERAL SUMMARY

In order to contribute to detect highly productive varieties to start genetic improvement in maize (*Zea mays* L.) of white and white-cream colored kernel for the Southeast of the State of Mexico, as well as to define the breeding method to be implemented, two studies were carried out. In the first one, the grain yield per plant (PSG/PP), yield components, and some agronomic traits were evaluated in 110 different populations, while in the second one, ten outstanding maize populations and their 45 possible single crosses were evaluated for PSG/PP to estimate the general (g_i) (GCA) and specific (s_{ij}) (SCA) combining effects of the populations and their single crosses, according to Griffing's Method 2. In both studies, the populations were evaluated in a 10 x 11 triple lattice design with three replications at four locations in the State of Mexico, and a combined analysis of variance of data was performed using the statistical model of the randomized complete block design. Additionally, the genetic structure for each cross was constructed with the g_i and s_{ij} estimates to identify the best populations and crosses.

In the first study, it was confirmed that the native populations had low yields and low values for most of the yield components, and some of them had a bad agronomic performance. On the other hand, the populations subjected to pre-breeding as well as their crosses had better yields and yield components, as well as a better agronomic performance, than the native populations. Meanwhile, the backcrosses had intermediate yields and bad agronomic performances, while the improved populations had intermediate yields and good agronomic traits of plant but not of ear. Moreover, the

hybrids HS2 and Niebla had the highest yields, and Juchitepec was the best location to grow maize.

In the second study, the analysis of variance detected significance in most of the sources of variation, except in GCA. Crosses with the highest *sij* effects did not always have the highest PSG/PP, and those having low *sij* effects did not always have low PSG/PP. High yielding crosses were those in which at least one of the progenitors was of high GCA and had high *sij* effects. On the contrary, low yielding crosses were those in which at least one progenitor was of low GCA and its SCA effects were high and negative.

According to results, it was possible to identify highly productive varieties to start a breeding program for the Southeast of the State of Mexico, using both selection and/or hybridization.

Keywords: *Zea mays* L., combining ability, diallel crosses, native populations, yield.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el sureste del Estado de México, el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante; ahí se siembran alrededor de 30 mil hectáreas que en su mayoría son terrenos de humedad residual, siendo producto ésta de las lluvias invernales y del tipo de suelo (Ortega, 2004).

En la región sureste del estado predominan agricultores minifundistas, los cuales siembran poblaciones locales con potencial de rendimiento muy alto y alta calidad de grano. La mayoría de estos agricultores conservan sus poblaciones por periodos de 20 o más años (Ortega, 2007a); pero cuando estas poblaciones son cultivadas en lugares fuera de su ambiente de adaptación, con frecuencia presentan características agronómicas indeseables, tales como plantas altas con susceptibilidad al acame, gran número de hijos, alta frecuencia de plantas con esterilidad femenina, asincronía en la floración, enfermedades, así como segregación de plantas con mazorcas y granos fuera de tipo, producto de mezclas y cruza con otras variedades del mismo productor o de los vecinos (Ortega, 2007b).

En la región existen poblaciones nativas que igualan en rendimiento a los mejores híbridos recomendados en la región. Además, los maíces mejorados presentan grano pequeño y olote grueso, cualidades que los agricultores no aprecian, por lo que su introducción en la mayoría de los casos no es aceptable (Herrera, 1999).

En el mejoramiento genético del maíz, en opinión de Hallauer *et al.* (2010) los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el

germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético. Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental, la cual está constituida por los criterios de selección.

Algunos autores entre ellos De la O *et. al.* (2011) reconocen que la utilización directamente de germoplasma exótico (poblaciones nativas originales) en cruzamientos dirigidos a la obtención de materiales elites no es una buena estrategia, pues este material es poco adaptado y generalmente posee varios defectos. Por tal razón, se debe de realizar como una etapa intermedia, el premejoramiento y que es definido por Nass y Paterniani (2001) como un conjunto de actividades que busca la identificación de características y/o genes de interés, presentes en materiales no adaptados o que no fueron sometidos a procesos de mejoramiento y su posterior incorporación en los materiales adaptados de mayor potencial productivo. Por lo tanto, el pre-mejoramiento constituye entonces la primera etapa en la utilización de los recursos genéticos luego de las etapas de colecta, identificación, conservación y caracterización/evaluación.

Para poder incorporar las poblaciones nativas en programas de mejoramiento genético de maíz, Ortega (2010) recomienda que el material de partida esté constituido por una combinación de germoplasma local y de germoplasma mejorado. El primero aportará la buena adaptación al ambiente de cultivo de la región, características deseadas regionalmente del grano de maíz y otros productos y otros caracteres; mientras que el segundo aportará genes para caracteres agronómicos deseables en la agricultura moderna, tales como reducida altura de planta, que contribuyen a la

resistencia al acame y mecanización del cultivo, así como genes adicionales para rendimiento y características de grano apreciadas por la industria de la tortilla.

Como referencia, existen algunos métodos de mejoramiento genético o de premejoramiento de los cuales los fitomejoradores han echado mano para mejorar materiales genéticos en rendimiento y características agronómicas; entre estos métodos para el tema de esta tesis destacan la selección masal visual estratificada (Molina, 1983; Moreno, 1998) con algunas modificaciones; la retrocruza limitada propuesta por Márquez (2000) y aplicado entre otros por Arce (2009). Con los avances de la genética y en especial la cuantitativa, se han propuesto esquemas de mejoramiento genético más complejos como el diseño dialélico de Griffing (1956) que permite estimar los efectos de aptitud combinatoria general de los progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica de sus cruzas, con los cuales es posible predecir las mejores combinaciones, así como diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes.

Sprague y Tatum (1942) introdujeron los conceptos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Especifica (ACE), que sirvieron de base para que Griffing (1956) desarrollara el diseño dialélico con sus cuatro métodos. Este diseño es una herramienta muy efectiva para estimar efectos y varianzas de ACG y ACE. También Sprague y Tatum (1942) explicaron que los efectos de ACG quedan definidos por los efectos aditivos de los genes, mientras que los efectos no aditivos son función de los efectos de ACE (dominancia) y tal vez también por efectos epistáticos.

Estudios de cruzas dialélicas indican que las cruzas simples de alto rendimiento son aquellas en las que cuando menos una de las líneas es de alta ACG y ocurren entre las dos líneas efectos altos positivos de ACE. En contraposición, las cruzas simples de más bajo rendimiento son aquellas cuyas dos líneas son de baja ACG y ocurren entre ellas efectos negativos de ACE de alto valor absoluto (Reyes *et al.* 2004 y Escorcía *et al.* 2010).

Los objetivos generales de esta tesis fueron: contribuir a detectar materiales adecuados de partida para el mejoramiento de maíz de grano blanco y blanco cremoso para el sureste del Estado de México, así como definir el método de mejoramiento a seguir con los materiales sobresalientes. Para lograr dichos objetivos, el presente trabajo de investigación comprendió dos estudios.

1) Con el objetivo específico de contribuir a detectar materiales adecuados de partida para el mejoramiento de maíz de grano blanco y blanco cremoso para el sureste del Estado de México, en el primer estudio (Capítulo III de la tesis) se analizó: a) el potencial de rendimiento; b) componentes de rendimiento; y c) características de planta y mazorca para un conjunto de 110 materiales genéticos de maíz donde intervienen colectas de poblaciones locales, maíces mejorados, poblaciones derivadas de cruzas de maíces mejorados, cruzas entre esas poblaciones y retrocruzas hacia poblaciones locales en generaciones avanzadas en un diseño experimental látice triple 10 x 11 con tres repeticiones en cuatro localidades, bajo un análisis estadístico combinado de bloques al azar.

2) Con los objetivos específicos de: a) Detectar adecuados materiales de partida para el mejoramiento de maíz de grano blanco y blanco cremoso en el sureste del Estado de México; así como, b) Definir el método de mejoramiento a seguir con los materiales sobresalientes, el segundo estudio (Capítulo IV de la tesis) se refiere a la evaluación del potencial de rendimiento (peso seco de grano por planta) y a la capacidad de combinación general y específica de diez poblaciones de maíz de la raza Chalqueño cruzadas con maíces mejorados con tres a cuatro avances generacionales estos 10 materiales fueron seleccionados entre otros por haber sido sobresalientes en rendimiento de grano y otras características de planta y mazorca. El rendimiento de peso seco de grano por planta de las 10 poblaciones progenitoras y sus 45 cruzas posibles fue analizada mediante el método 2 del diseño dialélico de Griffing (1956). Los materiales genéticos incluidos en este segundo estudio de la tesis forman parte de los 110 evaluados en el primer estudio.

El primer estudio se desarrolló de acuerdo a la siguiente hipótesis:

- 1) Las cruzas de poblaciones superan en rendimiento medio, presentan mejores características de planta y mazorca y poseen mayor adaptabilidad que las poblaciones nativas y los maíces mejorados apropiados para la región.

El segundo estudio se desarrolló de acuerdo con las siguientes hipótesis:

- 1) Las cruzas simples poblacionales de alto rendimiento son aquellas en las que cuando menos una de sus poblaciones progenitoras es de alta ACG y existen en las dos poblaciones progenitoras efectos de ACE positivos (s_{ij}) de alto valor absoluto.

2) Las cruces simples poblacionales de bajo rendimiento son aquellas en las que cuando menos una de las dos variedades progenitoras es de baja ACG y existen entre ellas efectos de ACE negativos (s_{ij}) de alto valor absoluto.

3) Mediante el análisis de la estructura genética de las poblaciones podrá definirse si las poblaciones debieran mejorarse por selección recurrente o por hibridación.

II REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

2.1 Materiales de partida y premejoramiento genético

México, centro de origen y domesticación del maíz, posee una amplia variabilidad genética de esa planta (Vavilov, 1993), expresada en una gran cantidad de poblaciones (Sánchez *et al.* 2000). Algunas de estas poblaciones muestran una alta capacidad de rendimiento *per se* o en combinación con otras (Morales *et al.* 2007), por lo que son consideradas un valioso recurso fitogenético.

Para el mejoramiento del maíz, en opinión de Hallauer *et al.* (2010), los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético. Ortiz (1993) considera como una tercera decisión fundamental, los criterios de selección.

Si bien en México existe una gran variabilidad genética del maíz, su utilización es reducida en el mejoramiento formal, debido a la poca información sobre el potencial de rendimiento y uso que tienen de las accesiones que se encuentran en los bancos de germoplasma, la poca disponibilidad de semillas y la dificultad para identificar genes potencialmente útiles. Sin embargo, Nass (2001) menciona que la principal limitación en el uso de poblaciones nativas, es quizás la ausencia de programas de premejoramiento (*pre-breeding*) genético en la que participen también los productores. En México, entre algunas instituciones públicas que llevan a cabo esta actividad, destacan: el INIFAP, UNAM, UACH, UAAAN y COLPOS. A nivel internacional destaca el CIMMYT, IRRI, ICRISAT entre otras.

El germoplasma nativo conservado *in situ* por los agricultores, ha sido reconocido por su alto potencial de rendimiento y otras características agronómicas; sin embargo, algunos autores, entre ellos Ortega (2010), reconocen que con frecuencia las poblaciones locales nativas de maíz en México presentan escasa adaptabilidad fuera de su microárea de cultivo, deficiencias como susceptibilidad al acame y textura típica del grano; esta última cualidad no es aceptable por la industria de las harinas para tortilla. Las características indeseables por lo general están estrechamente ligadas a caracteres favorables; estos ligamientos son muy difíciles de romper, lo cual limita su utilización en el mejoramiento genético (Moncada *et al.* 2001).

La utilización directa del germoplasma exótico (poblaciones nativas originales) en cruzamientos dirigidos a la obtención de materiales élites no es una buena estrategia, pues este material es poco adaptado y generalmente posee varios defectos. Por tal razón, se debe realizar una etapa intermedia, el premejoramiento, el cual es definido por Nass y Paterniani (2001) como un conjunto de actividades que busca la identificación de características y/o genes de interés, presentes en materiales no adaptados o que no fueron sometidos a procesos de mejoramiento, y su posterior incorporación en los materiales adaptados de mayor potencial productivo. Por lo tanto, el premejoramiento constituye entonces la primera etapa en la utilización de los recursos genéticos, luego de las etapas de colecta, identificación, conservación y caracterización/evaluación.

Ortega (2010) recomienda que el material de partida de un programa de mejoramiento genético de maíz esté constituido por una combinación de germoplasma

local y de germoplasma mejorado. El primero aportará la buena adaptación al ambiente de cultivo de la región, características deseadas regionalmente del grano de maíz, algunos productos y otros caracteres; mientras que el segundo, aportará genes para caracteres agronómicos deseables en la agricultura moderna, tales como reducida altura de planta, que contribuyen a la resistencia al acame y mecanización del cultivo, así como genes adicionales para rendimiento y características de grano, apreciadas por la industria de la tortilla.

La incorporación de diversidad genética a partir de materiales élite o avanzados ya adaptados, generalmente se realiza mediante algunos métodos como la selección masal visual estratificada desarrollada por Molina (1983), la retrocruza propuesta por Márquez (2000), o por el análisis de pedigrí etc.

De la O *et al.* (2011) mencionan algunos trabajos de premejoramiento llevados a cabo en el INIFAP (Campo Experimental Valle de México), en donde se cruzaron poblaciones nativas con maíces mejorados y se evaluó el potencial de rendimiento y características agronómicas de maíces de color amarillo, azul y blanco.

2.2 Heterosis

Poehlman y Allen (2003) mencionan que vigor híbrido es el incremento en tamaño, vigor o productividad de una planta híbrida en relación con el promedio o media de sus progenitores; esta última se conoce como valor del progenitor medio. Shull (1908) propuso el término, heterosis, para denotar el estímulo del tamaño y el vigor en una cruce híbrida como expresión del vigor híbrido. Ambos términos, vigor híbrido y

heterosis son sinónimos y pueden usarse indistintamente. Para que sea útil, la planta híbrida necesita exceder en cuanto a su producción y productividad al mejor progenitor. Un híbrido debe ser superior a su mejor línea progenitora para que resulte ventajoso para el fitomejorador o el agricultor. Con frecuencia, los efectos del vigor híbrido de las plantas se manifiestan en un mayor crecimiento vegetativo y una mayor producción del producto cosechado; sin embargo, el vigor híbrido también podría reflejarse en el tamaño de las células, la altura de la planta, el tamaño de las hojas, el desarrollo de la raíz, el tamaño de la mazorca o las inflorescencias, el número de granos, el tamaño de la semilla etc. El vigor híbrido es generalmente mayor en los cruzamientos entre genotipos diversos de una especie de polinización cruzada, pero también podría manifestarse en los cruzamientos entre genotipos diversos de una especie autógama.

De la Loma (1982) menciona que la heterosis es el resultado de la adición e interacción de un gran número de factores genéticos, aportados por los progenitores y reunidos en el híbrido resultante. La generación F1 es la que exhibe a la heterosis con mayor intensidad, y es tan homogénea como sus progenitores si éstos son genotipos homocigóticos. La generación F2 es mucho más variable que la F1 y presenta menor heterosis, lo cual se debe a que los individuos que constituyen a la población F2 no pertenecen a un genotipo único, por presentarse cierto grado de segregación. A medida que el número de generaciones de segregación aumenta, si no se efectúa selección, el efecto de heterosis va desapareciendo hasta que se llega a un punto en que cada generación no difiere de la anterior.

Existen dos hipótesis que tratan de explicar el fenómeno de heterosis. La primera fue propuesta por Bruce en 1910 y se denomina hipótesis de dominancia, la que supone que la presencia de los alelos dominantes a través de los diferentes *loci* en un genotipo determina su mejor desarrollo y expresión, y donde además los genes recesivos deletéreos se encuentran encubiertos al encontrarse en condición heterocigótica; esta hipótesis no considera que el heterocigoto pudiera ser superior al homocigoto dominante. La segunda hipótesis propuesta por East (1908) y se conoce como hipótesis de la sobredominancia. Esta hipótesis establece que la heterocigosis **per se** es necesaria para la expresión completa de la heterosis. De acuerdo a esta hipótesis un heterocigoto Aa, puede ser mejor que cualquiera de los homocigotos AA ó aa (Poehlman y Alled, 2003).

2.3 Importancia de la heterosis

La heterosis tiene en forma general dos modos de expresión: 1) incremento en la eficiencia biológica, como por ejemplo en la tasa reproductora o en la habilidad para sobrevivir, ya sea en una mayor precocidad o mayor resistencia a plagas y enfermedades, y 2) incremento en tamaño o número de partes como el resultado de una mayor tasa de actividad y división celular (Vega y Bejarano, 1975). Las hipótesis genéticas que tratan de explicar la heterosis no son mutuamente excluyentes, ya que es completamente cierto que ambas contribuyen a la heterosis, aunque existe cierta controversia en cuanto a su importancia relativa. La hipótesis de la dominancia sugerida por Davenport (1908), establece que la heterosis resulta de la acción complementaria y acumulativa de genes dominantes, mientras que la hipótesis de

sobredominancia propuesta por Shull (1908) establece que ese vigor se debe a la condición heterocigotica en sí.

En maíz se han observado los siguientes cambios como manifestación de la heterosis: inducción de precocidad, incremento de la altura, mayores tasa de crecimiento, incremento del área foliar y de la tasa fotosintética, y particularmente el rendimiento (Jugenheimer, 1981; Hallauer y Miranda, 1981; Márquez 1988; citado por Escorcia 2007).

2.4 Medición de la heterosis

Según Fehr (1987) el comportamiento de un híbrido relativo a sus progenitores puede ser expresado en dos maneras: 1) Heterosis con respecto al progenitor medio. Es el comportamiento de un híbrido comparado con el comportamiento promedio de sus progenitores y 2) Heterosis con respecto al mejor progenitor. Es una comparación del comportamiento del híbrido con respecto al mejor progenitor en la cruza.

La heterosis es usualmente expresada como porcentaje y se calcula como sigue:

$$\text{Heterosis con respecto al progenitor medio (\%)} = \frac{(F1-MP)}{MP} \times 100$$

$$\text{Heterosis con respecto al mejor progenitor (\%)} = \frac{(F1-MP)}{HP} \times 100$$

Dónde:

F1 = Comportamiento del híbrido

MP = Comportamiento promedio de los progenitores (progenitor 1 + progenitor 2)/2

HP = Comportamiento del mejor progenitor

2.5 Endogamia

Por definición, la endogamia es el apareamiento entre individuos que son parientes; en contraste está el apareamiento aleatorio entre individuos (Molina, 1992).

El efecto más notable de la endogamia es la pérdida de vigor o depresión endogámica; ésta se caracteriza por la reducción del valor fenotípico medio de las plantas, debido a la ocurrencia de esterilidad parcial y deformaciones de planta y mazorca. No obstante, Hallauer y Miranda (2010) mencionan que Darwin fue quien por primera vez realizó experimentos en los que generó endogamia en maíz y observó este comportamiento.

East (1908) y también Shull (1908), describieron por primera vez el fenómeno de endogamia, al observar que al autofecundar individuos en una misma población de maíz se reducía el vigor de la progenie, en especial cuando se autofecundaban por varias generaciones. Además, determinaron que el incremento en homocigosidad producto de la endogamia, reducía el vigor y la productividad; se fijaban algunas características, disminuyendo la variación dentro de líneas y aumentándolo entre éstas.

Falconer y Mackay (1996) y Miranda Philo (1999), mencionan que el efecto detrimental de la endogamia o depresión endogámica, varía entre especies, poblaciones, individuos y caracteres.

La causa de la depresión endogámica según Falconer y Makay (1996) es la presencia de genes recesivos con efectos deletéreos en condiciones homocigóticas.

2.6 Diseño dialélico

Schmidt (1919) fue quien introdujo el término “cruzas dialélicas” para referirse a las cruzas posibles que pueden hacerse entre un conjunto de animales machos y hembras. Actualmente se entiende por “cruzas dialélicas”: un juego de cruzas simples posibles entre un conjunto de identidades genéticas, las cuales pueden ser individuos monoicos, dioicos o líneas endogámicas.

Los diseños completos de cruzas dialélicas fueron introducidos formalmente por Griffing (1956), quien usó el término “cruzas dialélicas” para describir un procedimiento mediante el cual un grupo de p líneas endogámicas se cruzan entre ellas, creándose así un máximo de p^2 cruzas posibles. De estas p^2 cruzas Griffing (1956) derivó cuatro métodos:

Método 1. Comprende la evaluación de las p líneas progenitoras (autofecundadas), las $p(p-1)/2$ cruzas F_1 directas, y las $p(p-1)/2$ cruzas F_1 recíprocas; es decir, las $p(p-1) + p = p^2 - p + p = p^2$ combinaciones.

Método 2. Participan en la evaluación las p líneas progenitoras (autofecundaciones) y las $p(p-1)/2$ cruzas F_1 directas; es decir, $p(p+1)/2$ combinaciones.

Método 3. Participan en la evaluación las $p(p-1)/2$ cruzas F_1 directas y las $p(p-1)/2$ cruzas recíprocas; es decir, $p(p-1)$ combinaciones.

Método 4. Se evalúan sólo las $p(p-1)/2$ cruzas F_1 directas; es decir, las $p(p-1)/2$ combinaciones.

Es común que en los métodos 2 y 4, en los cuales se utiliza sólo un juego de $p(p-1)/2$ cruzas directas, cualquier craza directa se puede substituir por su respectiva craza reciproca; ejemplo: A x B se puede substituir por B x A; C x D se puede substituir por D x C y hasta el juego de $p(p-1)/2$ cruzas directas se puede substituir por su respectivo juego completo de cruzas reciprocas.

La utilidad del diseño dialélico de Griffing (1956) tuvo su origen en los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), desarrollados por Sprague y Tatum (1942).

El diseño dialélico de Griffing (1956), en sus cuatro métodos, ha sido ampliamente utilizado por los genetistas, por ser de considerable valor en el mejoramiento genético vegetal. Con este método se ha generado información básica para la toma de decisiones en la definición de un plan de mejoramiento genético a seguir, así como en la selección de progenitores

Las cruzas dialélicas pueden usarse en la caracterización genética de progenitores y de sus cruzas simples, así como también en la estimación de varianzas genéticas aditiva y de dominancia de poblaciones. (Reyes, 2003).

La diferencia entre los 4 métodos del, dialélico de Griffing (1956) radican en que los métodos 1 y 2 incluyen a los progenitores, mientras que en los métodos 3 y 4 los excluyen. Por otra parte, los métodos 2 y 4 sólo permiten estimar la varianza de ACG y la de ACE, mientras que los métodos 1 y 3, adicionalmente permiten estimar la varianza de efectos maternos y la de efectos recíprocos.

Cada método del diseño dialélico de Griffing (1956) tiene su propio formato de análisis estadístico. Por esta razón existen varios programas de cómputo para los análisis de cruzas dialélicas; entre otros están: Scheffer y Usanis (1989), Burow y Coors (1994), Magari y Kang (1994), Zhang y Kang (1997). Además están los programas de cómputo desarrollado por Martínez (1988a, 1988b, 1991), y el de Reyes (2003).

Según Kempthorne (1956) en experimentos de cruzas dialélicas, cuando el número de progenitores seleccionado es elevado, resulta impráctico evaluar todas las cruzas simples posibles; en tal caso se sugiere utilizar los diseños parciales de cruzas dialélicas. La característica de estos diseños consiste en evaluar un subconjunto de las cruzas simples posibles.

Los diseños parciales fueron propuestos originalmente por Brown (1948), citado por Covarrubias (1960), y pueden ser simétricos o asimétricos; en el primer caso, los progenitores participan en el mismo número de cruzas; y en el segundo, al menos uno de ellos participa en un número diferente de cruzas.

En México, algunos investigadores, sobre todo en maíz, han empleado los métodos del diseño dialélico de Griffing (1956); entre ellos están: Covarrubias (1960); Rivera (1977); Caballero (1986); Gómez *et al.* (1988); Caballero y Cervantes (1990); Antuna *et al.* (2003), De la Cruz *et al.* (2003) y últimamente Reyes *et al.* (2004) y Escorcia *et al.* (2010). Dichos investigadores encontraron que en las cruzas de mayor rendimiento participan líneas de diferente origen, el efecto de ACE es alto, y al menos una de las líneas es de alta ACG.

2.7 Supuestos en el análisis del diseño de cruzas dialélicas

En la estimación de parámetros genéticos, es de suma importancia tener la seguridad de identificar la población de referencia; es decir, la población a la que pertenecen los parámetros que se están estimando. Sólo así se podrá interpretar genéticamente la información de los experimentos de campo de cruzas dialélicas, con base a la cual se harán las inferencias correspondientes a la población de referencia.

Griffing (1956) y Hinkelman (1976) señalan que los tipos de poblaciones a estudiar pueden ser:

- a) Una población bajo apareamiento aleatorio, donde los individuos utilizados como progenitores de las cruzas dialélicas son considerados una muestra aleatoria de la población de individuos; es esta la población de referencia (modelo aleatorio).
- b) El juego de progenitores son deliberadamente elegidos y no pueden ser considerados como una muestra aleatoria, por lo que las inferencias se hacen sólo de los progenitores (modelo fijo).

Hinkelman (1976) clasificó algunas suposiciones mencionadas por Hayman (1954), que se deben considerar para analizar e interpretar un experimento de cruzas dialélicas.

- 1) De naturaleza general:
 - a) Segregación diploide

b) El valor fenotípico es la suma del valor genotípico y del ambiental más el de la posible interacción de ambos.

2) Las que son necesarias para elegir la población de referencia:

a) Progenitores homocigóticos

b) Distribución independiente de los genes

c) Interacción de los alelos múltiples

a) Las que determinan el tipo de dialélico por analizar:

b) Sólo existen efectos genéticos aditivos y de dominancia, no hay diferencia entre cruzas directas y recíprocas (cuando solo se evalúan un juego de cruzas directas o recíprocas o una combinación de ambas)

2.8 Aptitud combinatoria general y específica

Algunos autores, entre ellos Davis (1927), Jenkins y Brunson (1932), desarrollaron algunas ideas sobre la aptitud combinatoria al proponer que la selección de líneas con buen comportamiento para la formación de híbridos, se podría lograr al evaluar las cruzas de las líneas con un probador común (prueba de mestizos).

Sprague y Tatum (1942) definieron dos términos en relación con el comportamiento relativo de líneas, o clones, al ser cruzadas. El término aptitud combinatoria general (ACG) se emplea para designar al comportamiento promedio de un clon, o línea, en sus combinaciones híbridas; y el término aptitud combinatoria específica (ACE), para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones son relativamente

mejores, o peores, de lo esperado con base en el comportamiento promedio de las líneas, o clones, considerados. De esta manera, estos mismos autores consideran que la aptitud combinatoria general se debe a los efectos aditivos de los genes, y la aptitud combinatoria específica a la acción no aditiva de los mismos, tales como la dominancia y la epistasis. De igual forma, consideran que son relativamente más importantes los efectos aditivos que los no aditivos, en materiales que no han sido seleccionados previamente; mientras que en materiales ya seleccionados por su aptitud combinatoria general, es el efecto no aditivo de los genes el que tiene una gran importancia.

De la Loma (1982) hace referencia a que la ACG es un criterio útil para estimar el tipo de acción génica aditiva, el cual puede ser aprovechado en los programas de mejoramiento genético por selección, mientras que la ACE se utilizará en la determinación de las combinaciones genéticas que ocurren en los híbridos, atribuida a la acción génica no aditiva.

2.9 Antecedentes del mejoramiento genético del maíz en la Mesa Central del Altiplano de México

El mejoramiento genético de maíz en los Valles Altos Centrales de México (Mesa Central) se inició por parte del ingeniero Edmundo Taboada y colaboradores, a principio de la década de los años 40 centralizado en el Campo San Martín, aledaño a la Escuela Nacional de Agricultura, en Chapingo, Estado de México. A partir de 1943 se sumaron las investigaciones realizadas por la Oficina de Estudios Especiales (OEE).

El proyecto MILPA (Conservation of Genetic Diversity and Improvement of Crop Production in México: A farmer-Based Approach), se desarrolló de 1995 a 2002 en la región Sierra Norte de Puebla (lenguas nahuas y totonacas) y en la región Chalco-Amecameca, Estado de México (predomina la cultura mestiza), y fue financiado principalmente por la Fundación MacKnight con la participación de varias instituciones mexicanas y estadounidenses (Ortega, 2000 y Romero, 2002).

El principal objetivo del proyecto MILPA fue el estudio de la diversidad genética del sistema tradicional de maíz (maíz y sus especies asociadas como frijol, calabaza, y otras como los quelites), definiendo las formas más apropiadas de mejoramiento genético y tecnológico del sistema, con la participación de los agricultores; a la vez, asegurar la conservación *in situ* de la diversidad genética y el incremento de los rendimientos, en la perspectiva de la sustentabilidad tecnológica y económica de este importante sistema de producción en la agricultura tradicional mexicana (Romero, 2002).

Según Romero (2002), para el cultivo del maíz, el proyecto MILPA se desarrolló en las cuatro etapas siguientes: 1) Colectar y evaluar las poblaciones nativas para conocer la diversidad genética del maíz en las dos regiones, Chalco-Amecameca y Sierra Norte de Puebla. Una vez evaluadas las accesiones se seleccionó el material genético sobresaliente en potencial de rendimiento y otras características agronómicas; 2) Mejoramiento genético participativo usando el método de "Selección masal visual estratificada" (Molina, 1983), en poblaciones nativas de algunos agricultores cooperantes sin evaluación previa; 3) Formación de cruza intervarietales para conocer

la heterosis interracial, incrementar la diversidad genética y ofrecer a los agricultores materiales genéticos sobresalientes, para que ellos mismos continuaran seleccionando y mejorando estos materiales; y 4) Difusión del método “Mejoramiento genético participativo” con la finalidad de inducir una adopción masiva de esta metodología por parte de los agricultores en algunas comunidades piloto.

Con las colectas sobresalientes del proyecto MILPA, en el año 2001 se inició el proyecto “Mejoramiento Participativo por Retrocruza Limitada de maíces criollos en la región Chalco-Amecameca”. El método de retrocruza limitada fue diseñado por Márquez (2000). Este proyecto continúa y es actualmente financiado con fondos del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), de la SAGARPA y de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), (Ortega, 2007b).

Durante el desarrollo del proyecto MILPA (1995-2002) y en años posteriores, se realizaron diferentes trabajos como las tesis doctorales de Herrera (1999) y Romero (2002), las tesis de licenciatura de Moreno (1998) y Arce (2009).

Herrera (1999) detectó ocho poblaciones nativas sobresalientes que rindieron 17% más que la media de todas las variedades nativas evaluadas.

Romero (2002) entre sus conclusiones destaca lo siguiente; a) La diversidad genética dentro de Chalqueño es amplia; b) Las cruzas intervarietales superaron a las poblaciones nativas en 26.4 % y manifestaron una mejor capacidad de adaptación a los ambientes desfavorables; c) Algunas cruzas intervarietales de Chalqueño x Chalqueño igualaron estadísticamente en rendimiento al mejor híbrido comercial. Además,

recomienda que las poblaciones nativas y sus cruzas específicas sobresalientes deben ser consideradas en programas regionales de selección recurrente.

Moreno (1998) evaluó ocho poblaciones nativas originales mejoradas por Selección Masal Visual Estratificada. Las poblaciones originales fueron colectadas en 1994 y 1995; usó como testigos maíces mejorados como los siguientes: VS-22, H-33 y H-29. La respuesta a la selección varió de 2.76 % a 5.7 % con respecto a las versiones originales.

En el trabajo de Arce (2009), se evaluaron el rendimiento y características agronómicas de los siguientes tipos de materiales: poblaciones nativas (colectas), maíces mejorados (híbridos y líneas), poblaciones nativas x maíces mejorados y retrocruzas hacia poblaciones nativas. La evaluación se llevó a cabo en experimentos de campo formales y mediante evaluación con agricultores participantes. Del análisis de sus resultados concluyó que en promedio de ambientes hubo tendencias a que los maíces mejorados y las F_1 de las cruzas (cruzas de poblaciones nativas x maíces mejorados) presentaran los mayores rendimientos y un reducido porcentaje de acame de raíz y de tallo, en comparación con las poblaciones nativas y las retrocruzas. Sin embargo, se comprobó que los maíces mejorados tienen reducida aceptación por parte de los agricultores, siendo los maíces nativos los más aceptados.

De los trabajos de investigación de Moreno (1998), Herrera (1999) y Romero (2002) se detectaron algunas poblaciones nativas de maíz sobresalientes en rendimiento y algunas características agronómicas; entre ellas están: Col-5610, Col-6712, Col-6779, Col-6780, Col-6784, Col-6948 y Col-6949. La Colecta 5610 procede del estado de

Puebla y fue colectada por el Dr. Abel Muñoz Orozco, Profesor-Investigador del Colegio de Postgraduados, es precoz y se considera ubicada en la raza Cónico. Cuatro de las ocho poblaciones nativas fueron colectadas en la región Chalco-Amecameca, Estado de México; estas son: Col-6712, Col-6779, Col-6780, Col-6784 de la raza Chalqueño; Col-6948 y la Col-6949 son dos poblaciones nativas de la raza Chalqueño colectadas en el estado de Michoacán (Cuadro 1 del Apéndice).

Es importante mencionar que la Col-6712 y la Col-6949, además de sobresalir en rendimiento y algunas características agronómicas, presentaron altos efectos de aptitud combinatoria general (ACG), según el trabajo de investigación de Romero (2002). Este mismo autor encontró que la Col-6784 fue la población nativa más recomendable como probador para el sistema de humedad residual.

Las poblaciones nativas sobresalientes, dada su naturaleza genética, se han venido trabajando como materiales de partida en diferentes programas de mejoramiento, tal es el caso del Proyecto “Mejoramiento Participativo por Retrocruza Limitada de maíces criollos en la región Chalco-Amecameca”, a cargo del Dr. Rafael Ortega Paczka (Ortega, 2010).

Basándose en los resultados obtenidos en el proyecto citado en el párrafo anterior, parte de cuyos resultados conforman la investigación de Arce (2009), se decidió llevar a generaciones avanzadas de recombinación la F_1 de las cruzas con mayores rendimientos y mejores características agronómicas de planta y mazorca; por ello este trabajo sirvió de base para realizar un estudio más especializado utilizando una metodología más compleja como el diseño dialélico de Griffing (1956), que permite

estimar los efectos de aptitud combinatoria general de progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica de sus cruzas, con los cuales es posible predecir las mejores combinaciones, así como diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes.

III CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MEXICO

3.1 RESUMEN

Con el propósito de contribuir a la detección de variedades adecuadas de partida para el mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y blanco cremoso para el Sureste del Estado de México, así como de definir el método de mejoramiento genético a seguir con las mismas, se evaluó el peso seco de grano por planta (PSG/PP), componentes del rendimiento y características agronómicas de un conjunto de 110 materiales genéticos. Dentro de los materiales genéticos participaron poblaciones nativas, poblaciones en generaciones avanzadas de recombinación genética, maíces mejorados, cruzas de poblaciones nativas x maíces mejorados, y retrocruzas hacia poblaciones nativas. Los materiales genéticos se evaluaron en un diseño experimental de látice triple 10 x 11 con tres repeticiones en cuatro localidades del Estado de México. Se hizo un análisis de varianza combinado. Se confirmó que las poblaciones nativas presentaron valores bajos para la mayoría de los componentes de rendimiento y del rendimiento mismo, y que manifestaron características agronómicas no deseables. Por otro lado, en comparación con las poblaciones nativas, las poblaciones producto del premejoramiento, así como sus cruzas presentaron mejores componentes de rendimiento, mejor rendimiento de peso seco de grano por planta (PSG/PP) y características agronómicas deseables, mientras que las retrocruzas presentaron valores intermedios en rendimiento y características agronómicas no deseables. Por su parte, los maíces mejorados mostraron valores intermedios en rendimiento, y presentaron buenas características de planta, pero no de mazorca.

Además, se detectaron a los híbridos HS2 y Niebla como sobresalientes en rendimiento, y a Juchitepec como la localidad que reunió las condiciones óptimas para el cultivo del maíz. Finalmente, se detectaron materiales sobresalientes de partida para el mejoramiento genético del maíz en el Sureste del Estado de México.

Palabras clave: *Zea mays* L., raza Chalqueño, poblaciones nativas, premejoramiento genético, Sureste del Estado de México.

3.2 SUMMARY

In order to contribute to detect highly productive varieties to start genetic improvement in maize (*Zea mays* L.) of white and white-cream colored kernel for the Southeast of the State of Mexico, as well as to define the breeding method to be implemented, the grain yield per plant (PSG/PP), yield components, and agronomic traits were evaluated in 110 different populations. This set was formed by native populations, advanced populations, improved populations, crosses among native and improved populations, and crosses backcrossed to native populations. The populations were evaluated in a 10 x 11 triple lattice design with three replications at four locations in the State of Mexico, and a combined analysis of variance of data was performed. It was confirmed that the native populations had low yields and low values for most of the yield components, and some of them had a bad agronomic performance. On the other hand, the populations subjected to pre-breeding as well as their crosses had better yields and yield components, as well as a better agronomic performance, than the native populations. Meanwhile, the backcrosses had intermediate yields and bad agronomic performances, while the improved populations had intermediate yields and good agronomic traits of plant but not of ear. Moreover, the hybrids HS2 and Niebla had the highest yields, and Juchitepec was the best location to grow maize.

It was possible to identify highly productive varieties to start a breeding program for the Southeast of the State of Mexico.

Keywords: *Zea mays* L., Chalqueño race, native populations, pre-breeding, yield, Southeast of State of.

3.3 INTRODUCCIÓN

Maíces nativos de la raza Chalqueño se cultivan en extensas llanuras y valles de clima templado en altitudes que va de los 1,800 msnm de la República Mexicana, predominantemente en el centro del país, en el área conocida como Valles Altos Centrales (CAEVAME, 1982).

En los Valles Altos Centrales se encuentra la región sureste del Estado de México, donde según Ortega (2004) el maíz de la raza Chalqueño es el cultivo más importante sobre cualquier otro cultivo; se siembran alrededor de 30 mil hectáreas en condiciones de temporal, punta de riego, pero en su mayoría de humedad residual producto de las lluvias invernales conservada en algunos tipos de suelo de dicha región.

En la región predominan agricultores minifundistas los cuales siembran poblaciones nativas con muy alto potencial de rendimiento y grano de calidad. La mayoría de estos agricultores conservan sus poblaciones por periodos de 20 o más años (Ortega, 2007a); sin embargo; estas poblaciones nativas de maíz de México poseen características indeseables como plantas y mazorcas altas con susceptibilidad acamarse, características de grano no deseable para la industria de la tortilla entre otras (Ortega, 2010).

Herrera (1999) en su trabajo de investigación encontró la existencia de poblaciones nativas que igualan a los mejores híbridos comerciales para la región sureste de Estado de México. Este autor también encontró que los maíces mejorados presentaron grano pequeño y olote grueso, características por las cuales estos maíces no son aceptados por los agricultores de la región sureste del Estado de México.

Ortega (2007b) reconoce que los maíces mejorados desarrollados en los campos experimentales, no se adaptan a las condiciones agroclimáticas de los agricultores, porque se han formado en condiciones favorables, con suelos profundos, riegos frecuentes y altas dosis de fertilización por lo que según Muñoz *et al.* (1976) se acumuló un “Efecto de especialización a las condiciones del campo experimental”.

En opinión de Hallauer *et al.* (2010), los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético. Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental constituida por los criterios de selección.

Algunos autores entre ellos De la O *et al.* (2011) reconocen que la utilización directamente de germoplasma exótico (poblaciones nativas originales) en cruzamientos dirigidos a la obtención de materiales elites no es una buena estrategia, pues este material es poco adaptado y generalmente posee varios defectos, razón por la cual se debe de realizar como una etapa intermedia el premejoramiento definido por Nass y Paterniani (2001) como un conjunto de actividades que busca la identificación de características y/o genes de interés, presentes en materiales no adaptados o que no fueron sometidos a procesos de mejoramiento y su posterior incorporación en los materiales adaptados de mayor potencial productivo. Por lo que el pre-mejoramiento constituye entonces la primera etapa en la utilización de los recursos genéticos luego de las etapas de colecta, identificación, conservación y caracterización/evaluación.

Para poder incorporar las poblaciones nativas en programas de mejoramiento genético de maíz Ortega (2010) recomienda que el material de partida esté

conformado por una combinación de germoplasma local y de germoplasma mejorado. El primero aportará la buena adaptación al ambiente de cultivo de la región, características deseadas regionalmente del grano de maíz y otros productos y otros caracteres; mientras que el segundo aportará genes para caracteres agronómicos deseables en la agricultura moderna tales como reducida altura de planta, que contribuyen a la resistencia al acame y mecanización del cultivo, así como genes adicionales para rendimiento y características de grano apreciadas por la industria de la tortilla.

Existen algunos métodos de mejoramiento genético o de premejoramiento de los cuales los fitomejoradores han echado mano para mejorar materiales genéticos en rendimiento y características agronómicas, entre estos métodos para el tema de esta tesis destacan la selección masal visual estratificada (Molina, 1983; Moreno, 1998) con algunas modificaciones, la retrocruza limitada propuesta por Márquez (2000) y aplicado entre otros por Arce (2009).

El objetivo general planteado en esta tesis es contribuir a detectar adecuados materiales de partida para el mejoramiento de maíz de grano blanco y blanco cremoso para el sureste del Estado de México, así como a definir el método de mejoramiento a seguir con esos materiales sobresalientes.

El objetivo específico es contribuir a detectar adecuados materiales de partida para el mejoramiento de maíz de grano blanco y blanco cremoso para el sureste del Estado de México.

La hipótesis planteada es que las cruzas de poblaciones superan en rendimiento medio, presentan mejores características de planta y mazorca y poseen mayor adaptabilidad en comparación con las poblaciones nativas y los maíces mejorados apropiados para la región.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Materiales genéticos

Se evaluaron un conjunto de 110 materiales genéticos de maíz de grano color blanco cremoso, los cuales para efectos de estudio se agruparon por tipos de materiales genéticos (Cuadro 1)

Cuadro 1. Agrupación por tipos de materiales genéticos

Grupo	Tipo de material genético
1	Colectas (Muestra de poblaciones nativas del Estado de México, Michoacán y Puebla.
2	Maíces mejorados (Híbridos y líneas)
3	Poblaciones (Cruzas entre progenitores de poblaciones nativas x maíces mejorados en generaciones avanzadas de recombinación)
4	Cruzas de poblaciones (cruza entre poblaciones en generaciones avanzadas)
5	Retrocruzas (retrocruzas hacia poblaciones nativas)

Algunas colectas y maíces mejorados de los 110 materiales genéticos participaron como progenitores de las poblaciones, sus cruzas y retrocruzas. Las poblaciones nativas utilizadas como progenitores fueron; Col-6487, Col-6712, Col-6779, Col-6780, Col- 6781, Col-6784, Col-5610, Col-6948 y la Col-6949 (Cuadro 1 del Apéndice. Los maíces mejorados utilizados como progenitores, fueron: Línea CML 244 del CIMMYT y los híbridos HS2 y Promesa, formados por el Dr. Aquiles Carballo Carballo del Colegio de Postgraduados.

Los testigos empleados en la evaluación fueron: HS2 y las poblaciones nativas de la región Chalco-Amecameca como: 6°CSM de Pedro Cruz procedente de Juchitepec y la Col-6780 procedente de la población de Tlapala, cerca del municipio de Chalco, Estado de México.

También formaron parte del conjunto de 110 materiales genéticos algunos maíces híbridos comerciales como: San Pedro, San Josecito, San Marcos y San Juan, todos estos formados por el Dr. Moisés Mendoza Rodríguez (finado) de la Universidad Autónoma Capingo; además los híbridos Niebla de la empresa Ceres y el HS2 en tercera generación de recombinación.

3.4.2 Características de los experimentos

La fase experimental de la investigación consistió en la evaluación del rendimiento y características agronómicas de los 110 materiales genéticos en ensayos uniformes en látices triples en las localidades: 1) Chapingo, 2) Juchitepec, 3) Santa María Huexoculco y 4) Ozumba, todas del Estado de México (Cuadro 2)

Cuadro 2. Características de los ambientes de evaluación de los 110 materiales genéticos

variable	Localidad o ambiente			
	Chapingo	Juchitepec	Santa María Huexoculco	Ozumba
Ubicación geográfica	LN 19° 29' 05"	LN 19° 05' 13"	LN 19° 15' 24.5"	LN 19° 02' 26.2"
	LO 98° 53' 11"	LO 98° 53' 05"	LO 98° 49' 13.8"	LO 98° 48' 41.3"
Altitud (msnm)	2 250	2 543	2 410	2 340
Clima*	C(w)	C(w)	C(w) y hacia el este C(E)(w)	Hacia el norte C(w) y al sur Acw
Precipitación pluvial (mm)	598	773.6	765.2	943.6
Temperatura (°C)	17.2	14.6	14.9	14
Suelos	Ígneas extrusivas (Feozem y Cambisol)	Ígneas extrusivas (Andosol y Feozem)	Ígneas extrusivas (Cambisol y Regosol)	Ígneas extrusivas (Regosol, Andosol y Feosem)
Sistema de cultivo	Riegos de auxilio	Humedad residual	Suelos con humedad	Temporal

*; C(w); Templado subhúmedo con lluvias en verano. C(E)(w); Semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Acw; Semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Fuentes; INEGI (2005) y Google (2013)¹.

¹ Google (2013) Google Earth Plug-in

3.4.3 Conducción de los experimentos

Las operaciones de campo fueron: preparación de los terrenos de cultivo, labores culturales, aplicación de fertilizantes y el control de malezas; todas se realizaron de forma tradicional por los agricultores cooperantes, de acuerdo con los usos de cada localidad; en Chapingo el manejo fue el acostumbrado en la institución.

La evaluación de los materiales genéticos se llevó a cabo en el 2007. En este año se presentaron lluvias abundantes, acompañadas de fuertes vientos persistentes, en los meses de julio a septiembre. Estos fenómenos meteorológicos causaron un alto porcentaje de acame, sobre todo en materiales genéticos con mayor porcentaje de recombinación de poblaciones nativas. Las localidades más afectadas fueron: Ozumba, Chapingo y Santa María Huexoculco. Sin embargo, la localidad de Juchitepec no presentó daños importantes en lo referente al acame de raíz.

El buen comportamiento de la localidad de Juchitepec probablemente se debió a las buenas condiciones de suelo y clima, sumadas a las buenas prácticas culturales implementadas por el agricultor cooperante, Sr. Pedro Cruz Linares. Este agricultor se ha distinguido por realizar algunas prácticas agroecológicas para mejorar sus parcelas, entre ellas la rotación de cultivos y también por su buen empeño en la conducción y acompañamiento de los experimentos, razón por la cual se viene trabajando con este agricultor desde ya hace varios años.

3.4.3.1 Chapingo, Estado de México

En Chapingo el experimento se estableció en la Tabla San Juan, del Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, donde el cultivo anterior fue maíz.

La siembra se efectuó el día 15 de mayo de 2007; se depositaron las semillas con pala en fondo del surco. Las parcelas experimentales estuvieron constituidas de dos surcos separados a 0.80 m y con una longitud de 5 m. En cada surco se tuvieron 11 matas con separación de 50 cm; se sembraron tres semillas por mata, posteriormente se aclaró a dos plantas.

La fertilización se efectuó en dos partes. La primera aplicación fue durante la siembra, con 100 kg de DAP (18-46-00) + 100 kg de Urea (46-00-00). La segunda aplicación se realizó durante el aporque, con una aplicación de 100 kg de Urea (46-00-00).

Para el control de malezas de hoja ancha se aplicó un litro de Gesaprim calibre 90 en 250 litros de agua por hectárea; esta actividad se efectuó en presencia de humedad del suelo según las indicaciones del producto.

El 21 de octubre se tomaron datos de altura de planta y mazorca, al igual que se calificaron enfermedades causadas por: virus, *Ustilago*, *Helminthosporium*, *Puccinia* y ramificación de la mazorca (regionalmente denominada “manita” o “muñeco”).

La cosecha se realizó los días 10 y 11 de diciembre en forma manual; adicionalmente a esta actividad se tomó el peso húmedo de mazorcas en cada parcela.

Debido a que el 2007 fue un año de lluvias abundantes, sólo se dio un riego de auxilio al cultivo; posteriormente no se aplicó riego alguno, con el propósito de simular las condiciones y las limitantes que presentan generalmente las parcelas de los agricultores.

Algunos factores externos.

El día 31 de julio de 2007 se presentó un fuerte aguacero acompañado de viento, lo que ocasionó el acame de muchas plantas del experimento, afectando principalmente los materiales genéticos que contenían mayor porcentaje de germoplasma nativo. Además, los días 23 y 24 de octubre se presentaron heladas.

3.4.3.2 Juchitepec, Estado de México

En Juchitepec se estableció el lote experimental en el predio llamado el “Sótano”, a una altitud de 2550 msnm. El lote se ubicó a un costado de la carretera que comunica Juchitepec con la carretera Milpa Alta-Oaxtepec, a 3 km de la cabecera municipal. El agricultor cooperante fue el Sr. Pedro Cruz Linares. Este agricultor maneja un sistema de rotación de cultivos, que consiste en sembrar avena en un ciclo y posteriormente maíz en el siguiente. El cultivo anterior donde se estableció el experimento fue avena.

La siembra en Juchitepec se realizó el 22 de abril de 2007 en condiciones de humedad residual. Las parcelas experimentales estuvieron constituidas de dos surcos separados a 0.80 m y con longitud de 5 m. En cada surco se tuvieron 11 matas con separación de 50 cm; se sembraron tres semillas por mata. La fertilización se efectuó el

20 de junio aplicando 200 kg de urea (46-00-00) por hectárea de forma manual. El aporque se llevó a cabo el 21 de junio.

El control de malezas se realizó el 23 de junio, y consistió en mezclar un litro de Cirrus y un litro de Gesaprim Calibre 90 en 250 litros de agua, para una hectárea. Se dio seguimiento de forma manual en el control de malezas, en particular del teocintle, considerado maleza por los agricultores del sureste del Estado de México. Debido a que en sus primeras etapas de desarrollo el teocintle presenta características morfológicas similares a las del maíz se debió tener mucho cuidado en su eliminación.

Los días 4 y 5 de octubre se tomaron datos de altura de planta, altura de mazorca, acame, y se calificaron enfermedades causadas por: virosis, *Ustilago*, *Helminthosporium*, *Puccinia* y ramificación de la mazorca, conocida en el sureste del Estado de México como “manita” o “muñeco”.

La cosecha se efectuó los días 26 y 27 de diciembre en forma manual; asociado a esta actividad se cuantificó en cada parcela el peso húmedo de la mazorca, número total de mazorcas, y porcentaje de mazorcas podridas.

Algunos factores externos.

A finales de julio y principios de agosto de 2007, se presentaron lluvias abundantes acompañadas de vientos fuertes. Estas condiciones climatológicas no representaron problemas importantes en Juchitepec, debido a la presencia de suelos profundos y bien drenados, lo que permitió un buen anclaje a las plantas del maíz.

Los días 26 y 27 de octubre de 2007, por las madrugadas, se presentaron heladas ligeras en Juchitepec, pero no causaron daños importantes al cultivo.

3.4.3.3 Santa María Huexoculco, Estado de México

El experimento se estableció en el predio la “Nopalera”, ubicado a una altitud de 2280 msnm. El agricultor cooperante fue el Sr. Flavio Roldan Estrada, con quien se ha venido trabajando desde años anteriores. El cultivo anterior en el predio fue avena.

La siembra se llevó a cabo el 8 de mayo de 2007 en condiciones de humedad, en suelos someros y tepetatosos. Las parcelas experimentales estuvieron constituidas de dos surcos separados a 0.80 m y con longitud de 5 m. En cada surco se tuvieron 11 matas con separación de 50 cm; se sembraron tres semillas por mata.

La fertilización consistió en dos aplicaciones. La primera se llevó a cabo durante la siembra, con una aplicación de 100 kg/ha de DAP (18-46-00). La segunda aplicación fue con 100 kg/ha de Urea (46-00-00) al realizar el aporque.

El control de malezas se realizó el 5 de julio de 2007. Se aplicó Primagram Gold, herbicida preemergente, a una dosis de 1 l/ha⁻¹; se dio seguimiento del control de malezas en forma manual.

La cosecha se efectuó en forma manual los días 17 y 18 de diciembre. Asociado a esta actividad se registró en cada una de las parcelas el peso húmedo de las mazorcas, número total de mazorcas y el porcentaje de pudrición.

Algunos factores externos

En Santa María Huexoculco se presentó considerable sequía en las primeras fases del ciclo vegetativo del maíz. El día 24 de octubre ocurrió una lluvia abundante con vientos fuertes que acamaron significativamente a las plantas. El día 29 del mismo mes se presentó una helada. El 2007 fue un año de muchos contrastes, en cuanto a fenómenos meteorológicos.

3.4.3.4 Ozumba, Estado de México

El experimento se estableció en el predio “Los Capulines”, ubicado a un costado de la carretera México-Cuautla, a una altitud aproximada de 2350 msnm, ya en la cuenca del Valle de Cuautla, Morelos. El cultivo anterior en el predio fue maíz.

La siembra se realizó el 01 de mayo de 2007, en tierras de humedad. Las parcelas experimentales estuvieron constituidas de dos surcos separados a 0.75 m y una longitud de 5 m. En cada surco se tuvieron 11 matas con separación de 50 cm; se sembraron tres semillas por mata y se hizo un aclareo dejando dos plantas en cada mata.

Se realizó solo una fertilización durante la siembra con una mezcla de 100 kg/ha de urea (46-00-00) + superfosfato triple de calcio (00 - 46 - 00 + Ca: 13%). No se realizó una segunda fertilización y no se realizó la labor conocida como cajoneo.

El control de malezas se realizó el 8 de julio con presencia de humedad del suelo. Se aplicó Primagram Gold, herbicida preemergente, a una dosis de 1 l/ha⁻¹; se dió

seguimiento de control de malezas de forma manual eliminando principalmente al teocintle, considerado maleza por los agricultores del sureste del Estado de México.

Los días 12 y 13 de octubre se tomaron datos de altura de planta, altura de mazorca y se calificó enfermedades. La cosecha se efectuó los días 3 y 4 de diciembre; en esta actividad también se cuantificó en cada una de las parcelas: peso húmedo de las mazorcas, número total de mazorcas, y porcentaje de mazorcas podridas.

Algunos factores externos en Ozumba.

En Ozumba no hubo presencia de heladas; sin embargo, en el mes de julio el experimento fue afectado significativamente por fuertes lluvias, acompañadas de vientos fuertes que ocasionaron acame de materiales genéticos, principalmente los que contenían mayor porcentaje de germoplasma nativo, en este caso las colectas y las retrocruzas. Tal vez éste es una de las razones por la cual en esta región se han dejado de cultivar materiales nativos y prevalecen maíces mejorados.

3.4.4 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: 1) Peso seco de grano por planta (PSG/PP), 2) Componentes de rendimiento: longitud de mazorca (LM), número de hileras (NL), diámetro de mazorca (DMZ) y peso de 100 granos (PCGR), y 3) Características agronómicas: altura de planta (ALPL), altura de mazorca (ALMZ), acame de raíz (ACR), y porcentaje de humedad (PDH).

3.4.5 Análisis de los datos experimentales acopiados

Los materiales genéticos se establecieron en un diseño experimental de látice triple 10 x 11. El análisis estadístico de rendimiento y los otros caracteres se llevaron a cabo en un arreglo de bloques completos al azar, usando el paquete computacional SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2004). El análisis estadístico de las variables evaluadas se hizo mediante un análisis de varianza combinando, las cuatro localidades.

3.4.5.1 Estimación del peso seco de grano por planta (PSG/PP)

Para el cálculo de esta variable se usaron las variables que a continuación se indican:

Peso húmedo de mazorca por planta (PHMPP)

Peso de mazorca (PMZ)

Número de plantas (NPL)

Porcentaje de humedad (PDH)

Porcentaje de materia seca (PMS)

Peso seco de mazorca por planta (PSMPP)

Porcentaje de desgrane (PDD)

Peso de grano (PGR)

Peso seco de grano por planta (PSGPP)

$$\begin{aligned} \text{PHMPP} &= (\text{PMZ} / \text{NPL}) \\ \text{PMS} &= ((100 - \text{PDH}) / 100) \\ \text{PSMPP} &= (\text{PHMPP} \times \text{PMS}) \\ \text{PDD} &= (\text{PGR} / \text{PMZ}) \\ \text{PSGPP} &= (\text{PSMPP} \times \text{PDD}) \end{aligned}$$

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Resultados para el conjunto de 110 materiales genéticos

Se presentan los resultados obtenidos para las siguientes variables analizadas: 1) Peso seco de grano por planta (PSG/PP); 2) Componentes de rendimiento; 3) Características agronómicas, para los 110 materiales genéticos, donde se incluyen poblaciones nativas, poblaciones en generaciones avanzadas de recombinación, maíces mejorados, cruzas de poblaciones nativas x maíces mejorados, y retrocruzas hacia poblaciones nativas. Los resultados obtenidos se muestran y se discuten en tres diferentes formas de análisis; 1) Por tipos de materiales genéticos; 2) Por localidades; y 3) En forma individual.

3.5.1.1 Resumen de resultados obtenidos entre tipos de materiales

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado de localidades para tipo de materiales genéticos se muestran en el Cuadro 3, donde se observó significancia ($\alpha = 0.05$) entre las fuentes de variación para la mayoría de las variables, excepto para las variables porcentaje de humedad (PHD) y número de hileras (NH) en la interacción Tipo de Materiales x Localidades.

Al no existir significancia ($\alpha = 0.05$) para la interacción Tipo de Materiales x Localidad para el porcentaje de humedad (PHD) y número de hileras (NH), se deduce que las diferencias entre tipo de materiales fueron similares en las cuatro localidades. Por el contrario, donde sí hubo significancia esto indica que hubo diferencias entre los promedios de cada tipo de material en las fuentes de variación de interés.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado entre tipos de materiales.

FV	GL	PSG/PP	APL	ALMZ	PACRZ	PHD	LMZ	DMZ	NH	PCGR
LOC	3	358860.593**	16.576**	15.593**	266721.031**	2326.666**	433.614**	16.245**	39.079**	4138.079**
REP(LOC)	8	4943.490**	1.028**	0.797**	3918.020**	29.594**	4.694**	0.484**	2.255NS	269.538**
TM	4	19486.970**	3.030**	3.895**	20081.647**	134.645**	7.081**	7.564**	21.740**	2179.376**
TM *LOC	12	7684.739**	0.138**	0.069**	3079.443**	2.789NS	9.684**	0.495**	0.835NS	92.317**
ERROR	1292	533.465	0.040	0.028	420.350	4.496	1.852	0.177	3.583	28.603
TOTAL	1319									
MEDIA		100.740	2.557	1.501	38.111	19.413	15.621	5.529	16.552	43.279
CV		22.927	7.777	11.165	53.829	10.923	8.712	7.610	11.436	12.357
DMS (0.5)		6.602	0.057	0.048	5.864	1.136	0.606	0.389	0.120	0.541

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; TM = Tipos de Materiales; LOC = localidades; PSG/PP = peso seco de grano por planta; (g planta⁻¹); APL = altura de planta; ALMZ = altura de mazorca; PACRZ; porcentaje de acame de raíz; PHD = porcentaje de humedad; LMZ = longitud de mazorca; DMZ =diámetro de mazorca; NH = número de hileras; PCGR = peso de cien granos; CM = cuadrados medios; CV = coeficiente de variación; **, * ns: Diferencias estadísticas con $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$ y no significativo, respectivamente.

En el Cuadro 2 del Apéndice, se muestra la comparación de medias según la prueba de Tukey (0.05) para las variables: peso seco de grano por planta componentes de rendimiento y características agronómicas.

A reserva de que más adelante se analizarán los resultados con más detalle, se destaca que el peso seco de grano por planta (PSG/PP), de las cruzas de poblaciones y de las poblaciones resultaron entre ellas iguales estadísticamente con 107 gr y de 101 gr, respectivamente; sin embargo, las cruzas de poblaciones ocuparon el primer lugar de la lista. De manera que, se puede inferirse que hubo cruzas de poblaciones, así como poblaciones sobresalientes que pueden ser utilizados en programas posteriores de mejoramiento genético para la región sureste del Estado de México

También se puede observar en el Cuadro 2 del Apéndice que las colectas y los maíces mejorados se ubicaron en los últimos sitios con respecto a la variable peso

seco de grano por planta (PSG/PP), con 85 gr y 94 gr, respectivamente. Con base en esto, se anticipa la hipótesis de que las poblaciones nativas no presentan los mejores rendimientos.

Las colectas y retrocruzas se colocaron en los primeros sitios en la comparación de medias de las siguientes variables: altura de planta (2.68 m y 2.63 m); altura de mazorca (1.68 m y 1.57 m); y porcentaje de acame (51.04 % y 45.34 %). Estos resultados coinciden con los de Arce (2009), quien evaluó algunas poblaciones nativas y retrocruzas que se incluyen en este trabajo de investigación. Este autor encontró en la evaluación de dos ambientes (Juchitepec y Chapingo) que las poblaciones nativas y las retrocruzas mostraron portes altos de planta y mazorca; así como una alta incidencia de acame. Por otra parte, Ortega (2007) señala que las poblaciones nativas poseen una adaptación específica a su ambiente de cultivo, y que cuando estas poblaciones se cultivan fuera de su ambiente de adaptación presentan baja capacidad de rendimiento, así como, muchas características indeseables, como: asincronía en la floración, plantas muy altas y por lo tanto alta susceptibilidad al acame, enfermedades, gran cantidad de hijos, alta esterilidad femenina, plantas y mazorcas fuera de tipo producto de cruza y mezclas de variedades de los agricultores vecinos.

Por otra parte, los bajos rendimientos encontrados de los maíces mejorados agrupados es atribuido al “Efecto genético” de especialización a las condiciones de los campos experimentales, según Muñoz *et al.* (1976); esto obedece a que los maíces mejorados que son destinados para la región sureste del estado de México, se han formado en los campos experimentales de Instituciones de agronomía del área de

Texcoco (INIFAP, Chapingo, Colegio de Postgraduados, CIMMYT), en condiciones favorables de riego, altas dosis de fertilizantes y suelos profundos (Ortega 2007a). Este tipo de mejoramiento centralizado no ha funcionado para la región sureste del Estado de México y en general para el país, debido a que la mayoría de los agricultores realizan una agricultura de temporal minifundista con suelos poco fértiles y someros; además de los pocos apoyos gubernamentales destinados al campo mexicano.

3.5.1.2 Análisis de resultados por rendimiento, sus componentes y caracteres agronómicos en datos agrupados por tipo de material

A continuación se describen los resultados por agrupación de tipo de materiales de las siguientes variables: 1) Peso seco de grano por planta (PSG/PP); 2) Características agronómicas; y 3) Componentes del rendimiento.

Peso seco de grano por planta

En el análisis de varianza se encontró que hubo diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 22.9 %; la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 6.60 gr. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05), se encontró en el grupo superior a las cruza de poblaciones, con 106.8 gr y a las poblaciones, con 101.0 gr, por lo que estadísticamente resultaron iguales, seguido en otros grupos a las retrocruzas, con 98.0 gr, mejorados, con 94.2 gr, y colectas, con 84.4 gr.

De acuerdo con los resultados observados, se pudo detectar que existen tanto poblaciones como cruza de poblaciones con buenos rendimientos. Estos materiales genéticos pueden ser considerados para en programas posteriores de mejoramiento

genético para la región sureste del Estado de México. Por lo anterior la hipótesis planteada en esta investigación si se cumple, ya que las cruzas de poblaciones superaron en rendimiento a los maíces mejorados y a las poblaciones nativas.

Altura de planta y mazorca

En el análisis de varianza se encontró que hubo diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 7.8 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.06 m para APL. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró en el grupo superior a las colectas, con 2.68 m, y a las retrocruzas, con 2.63 m, seguidos de otros grupos a las cruzas de poblaciones, con 2.56 m, a las poblaciones, con 2.55 m, y a los maíces mejorados, con 2.28 m.

En el análisis de varianza se encontró que hubieron diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 11.2 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.05 m para ALMZ. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró a las colectas con 1.68 m en el grupo superior, le siguieron las retrocruzas, con 1.57 m, las poblaciones, con 1.49 m, las cruzas de poblaciones, con 1.49 m. y los maíces mejorados, con 1.22 m.

Nótese que en ambas variables evaluadas se encontraron, en promedio de ambientes, que las poblaciones nativas y las retrocruzas presentaron características de altura de planta no muy deseadas, lo que podría limitar su uso por una agricultura tecnificada con altas densidades de plantas. En contraposición, las poblaciones y las cruzas de poblaciones igualaron estadísticamente a los maíces mejorados. Estos

resultados demuestran que se ha mejorado el porte de materiales genéticos utilizando, maíces mejorados como progenitores porque aportan buenas características de planta.

Porcentaje de Acame de Raíz

En el análisis de varianza se encontró que hubo diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 53.8 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 5.8 %. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró a las colectas con 51.0 % y a las retrocruzas, con 45.3% en el grupo superior seguido en otros grupos a las poblaciones, con 37.6 %, a las cruzas de poblaciones, con 36.2 %, y al final los maíces mejorados con 19.0 %.

De acuerdo con los resultados observados para la variable porcentaje de acame, se puede afirmar que los materiales nativos y las retrocruzas presentaron susceptibilidad al acame. Se manifestó claramente la alta susceptibilidad al acame de raíz de estos materiales en gran parte debido a que el 2007 fue un año donde se presentaron abundantes lluvias acompañadas de fuertes vientos.

Por otra parte, el comportamiento en cuanto acame de raíz de las poblaciones y de las cruzas de poblaciones se puede decir que fue bueno, y que es necesario seguir trabajando en la disminución del porcentaje de acame; sin embargo, existen materiales genéticos con tolerancia al acame, debido a que provienen de progenitores mejorados, los cuales donaron características de tolerancia al acame.

Porcentaje de humedad

En el análisis de varianza se encontró que hubo diferencia altamente significativa en casi todas las fuentes de variación, excepto en la interacción Tipo de Material x Localidades, que no se encontró significancia. El coeficiente de variación fue de 10.9 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 1.1 %. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró a las retrocruzas con 20.6 % y a las colectas con 20.3 %, seguidos por las poblaciones, con 19.3 %, a las cruzas de poblaciones con 19.2 % y en el último lugar los maíces mejorados con 18.3 %.

En este estudio no se evaluó precocidad, pero se sugiere tomar el porcentaje de humedad como un indicador del ciclo vegetativo de los materiales genéticos. Aunque las poblaciones y las cruzas de poblaciones no igualaron estadísticamente en porcentaje de humedad a los maíces mejorados, se observa un notorio avance en precocidad. Estos resultados indican que hubo materiales genéticos de ciclo intermedio que pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético para precocidad, ya que debido al cambio climático que hoy en día se enfrenta es importante tener materiales de ciclo corto, con buenos rendimientos y características agronómicas deseadas.

Longitud de mazorca

En el análisis de varianza se encontraron diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 8.7 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.61 cm. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró a las retrocruzas con 15.8 cm, y a las poblaciones

con 15.7 cm en el grupo superior, las cruza de poblaciones, con 15.7 cm, a los maíces mejorados con 15.6 cm, y en el último sitio las colectas con 15.3 cm.

Aunque estadísticamente se muestra que no hubo diferencias entre las retrocruzas, colectas, poblaciones y cruza de poblaciones, es notorio que las retrocruzas se colocaron en el primer sitio.

Diámetro de mazorca

El análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 7.6 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.39 cm. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró en el grupo superior a las retrocruzas, con 5.7 cm, en seguida en otros grupos a las cruza de poblaciones, con 5.6 cm, a las colectas, con 5.6 cm, a las Poblaciones, con 5.5 cm, y en el último sitio los maíces mejorados, con 5.1 cm.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable diámetro de mazorca, se puede notar que las retrocruzas, en conjunto, fueron superiores a los demás grupos.

Número de hileras en la mazorca

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en dos de las cuatro fuentes de variación. La fuente de variación que no presentó diferencias significativas fue la interacción Tipos de Materiales x Localidades. El coeficiente de variación fue de 11.4 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.12 hileras. En la comparación de medias por el método de Tukey (0.05) se encontró a las cruza de poblaciones, con 16.8 hileras, a las retrocruzas, con 16.6 hileras, y a las

poblaciones, con 16.4 hileras en el grupo superior, en seguida en otro grupo a las colectas, con 16.2 hileras, y a los maíces mejorados, con 16.0 hileras.

Al ser el número de hileras un componente del rendimiento, es de esperar que las cruzas de poblaciones y las poblaciones se encuentren con el mayor número de hileras; aunque es de notar que también las retrocruzas presentaron alto número de hileras por mazorca. Asimismo, es de esperar que los maíces mejorados tengan menor cantidad de hileras; esto debido a que generalmente los híbridos provienen de progenitores que contienen pocos números de hileras. En cuanto a los materiales criollos, el bajo número de hileras encontradas es probablemente debido a la inadaptabilidad que presentan cuando se les cultiva fuera de su microambiente de origen.

Peso de cien granos

El análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa en todas las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 12.4 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.54 gr. En la comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$) se encontró a las cruzas de poblaciones, con 16.8 gr, a las retrocruzas, con 16.6 gr, y a las poblaciones con 16.4 gr, en el grupo superior, en seguida en otros grupos a las colectas, con 16.2 gr, y a los maíces mejorados, con 16.0 gr.

Al ser el peso de cien gramos un componente del rendimiento, es de esperar que las cruzas de poblaciones y las poblaciones se coloquen entre los grupos con mayor peso de cien granos, aunque las retrocruzas mostraron buen peso de cien granos.

Por otra parte, las colectas probablemente no siempre se encontraron en su ambiente óptimo, por lo que presentaron estrés a los diferentes ambientes, esto debido a la presencia de fuertes lluvias que ocasionaron el acame, y por otro lado el efecto de algunas heladas tempranas. La ocurrencia de estos fenómenos meteorológicos, probablemente influyó para que no hubiera llenado de grano.

Con respecto a los maíces mejorados, el bajo peso se debió probablemente al tamaño pequeño que presentaron estos materiales.

3.5.1.3 Resultados en localidades

El principal objetivo de este apartado fue tener información de la adaptabilidad de los materiales a diferentes ambientes de la región de estudio, basándose en el rendimiento, y sus componentes y en caracteres agronómicos.

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los análisis de varianza por tipos de materiales y de los materiales genéticos individuales. Se encontró que hubo diferencia significativas ($\alpha = 0.05$) en todas las variables analizadas. Por lo que en todas las variables para ambos análisis, las cuatro localidades fueron diferentes entre ellas.

En el Cuadro 3 del Apéndice se muestran las comparaciones de medias por localidades. Se observa que Juchitepec se colocó en el primer sitio de análisis para peso seco de grano por planta (PSG/PP), con 141 gr, y que estadísticamente fue diferente a las demás localidades. Asimismo, se encontró en el último lugar de la lista para las características agronómicas analizadas; altura de planta (APL), con 2.37 m; altura de mazorca (ALMZ), con 1.24 m; y porcentaje de acame de raíz (PACRZ), con

5.38 %. Los resultados aquí obtenidos probablemente se deben a las buenas condiciones de suelo y clima que presenta esta localidad, sumados a las buenas prácticas de cultivo realizadas por el agricultor cooperante, Sr. Pedro Cruz Linares.

Llama la atención que en Juchitepec 2007 se obtuvieron los mayores rendimientos a la vez que la menor altura de planta y el menor acame; o sea que fue un ambiente favorable.

También se puede observar (Cuadro 3 del Apéndice), en la comparación de medias por el método de Tukey (0.05), que Ozumba se colocó en el último lugar para peso seco de grano por planta (PSG/PP), con 61 gr; en cambio en las variables porcentaje de acame de raíz (PACRZ) y porcentaje de humedad (PH) se colocó en el primer lugar, con 65.9% y 23.2 %, respectivamente. Los bajos rendimientos y los altos porcentajes de acame de raíz y de humedad encontrados en Ozumba podría atribuirse a su elevada altitud (2350 msnm) y a su ubicación en la vertiente del Pacífico; es decir, se encuentra en una zona de transición entre la cuenca del Valle de Cuautla, Morelos, y en la zona donde actualmente sólo se cultivan maíces mejorados para Valles Altos, donde estos maíces han desplazado a las poblaciones nativas.

De acuerdo con los resultados, probablemente Ozumba no sea un ambiente adecuado para continuar realizando trabajos de pre-mejoramiento genético para la mayor parte del sureste del Estado de México.

Peso seco de grano por planta

En la comparación de medias, para el peso seco de grano por planta (PSG/PP), se observó que la mejor localidad fue Juchitepec, con 141.1 gr, seguida de Santa María Huexoculco, con 104.8 gr, Chapingo, con 96.8 gr, y en el último lugar de la lista estuvo la localidad de Ozumba, con 60.8 gr.

Los altos rendimientos en la localidad de Juchitepec se debieron a las excelentes condiciones de suelo y clima; además, de las actividades culturales realizadas por el agricultor cooperante, Sr. Pedro Cruz Linares. Estos resultados, hacen pensar que Juchitepec presenta condiciones óptimas para continuar desarrollando diferentes programas de mejoramiento genéticos en maíz y otros cultivos.

Los bajos rendimientos en Ozumba se debieron probablemente a que la mayoría de los materiales genéticos resultaron inadaptados para este ambiente. En cambio este ambiente resulto muy favorable para los maíces mejorados.

Altura de planta y de mazorca

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0.05) el grupo de materiales de mayor altura de planta se encontró en la localidad de Chapingo, con 2.81 m, seguido de otros grupos de análisis como Santa María Huexoculco, con 2.68 m, Ozumba, con 2.37 m, y Juchitepec, con 2.37 m.

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0.05) se encontró que la mayor altura de mazorca se obtuvo en Chapingo, con 1.71 m, seguido de las

localidades de Santa María Huexoculco, con 1.65 m, Ozumba, con 1.42 m, y Juchitepec, con 1.24 m.

Con los resultados de altura de planta y mazorca; así como con el peso seco de grano por planta en la localidad de Juchitepec, se ratifica que esta localidad presenta buenas condiciones que hacen que los diferentes materiales presenten porte bajo de planta y mazorca, las cuales son características agronómicas que se buscan en la mayoría de los materiales genéticos.

Aunque en Chapingo se intentó proporcionar labores agrícolas similares a las que realizaron la mayoría de los agricultores del sureste del Estado de México, es probable que los portes altos de planta y mazorca se hayan debido a que hubo algunas aplicaciones de riego, sobre todo en etapas tempranas del cultivo, así como la utilización de dosis de fertilizantes que no correspondieron a las condiciones de humedad y fertilidad en que evolucionaron estos materiales.

Porcentaje de acame de raíz

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (0.05) se encontró que el grupo de materiales con más acame ocurrió en Ozumba, con 65.9 %, seguido de las localidades Santa María Huexoculco, con 57.4 %, Chapingo, con 23.7 %, y Juchitepec, con 5.4 %.

Los resultados encontrados en las localidades de Ozumba, Huexoculco y Chapingo muestran que en estas hubo alta incidencia de acame de raíz; sin embargo, las tres localidades fueron estadísticamente diferentes. Resultó que Ozumba fue la localidad

que presentó más acame, debido tal vez a que en esta localidad no se hizo el cajoneo lo que propició que los vientos de junio y agosto produjeran más acame, afectando significativamente a los materiales con mayor porcentaje de germoplasma nativo

Porcentaje de humedad

En la comparación de medias se encontró en el grupo superior (Tukey 0.05) a la localidad de Ozumba, con 23.2 %, seguida de las localidades Juchitepec, con 19.0 %, Chapingo, con 18.6 %, y Santa María Huexoculco, con 16.9 %.

Longitud de mazorca

En la comparación de medias se encontró en el grupo superior (Tukey 0.05) a la localidad de Juchitepec, con 16.7 cm, seguida de Santa María Huexoculco, con 16.1 cm, Chapingo, con 15.7 cm, y Ozumba, con 14.0 cm.

Al ser la longitud de mazorca un componente muy importante del rendimiento, y contando ya con los datos directos de rendimiento, era de esperarse que Juchitepec tuviera las mayores longitudes de mazorca y Ozumba las menores longitudes de diámetro de mazorca, tal como resultó.

Diámetro de mazorca

En la comparación de medias se encontró en el grupo superior (Tukey 0.05) a la localidad de Juchitepec, con 5.8 cm, en el segundo grupo de análisis se ubicó Chapingo, con 5.5 cm, Santa María Huexoculco, con 5.5 cm, y en el último lugar de análisis a Ozumba, con 5.3 cm.

Estos resultados encontrados explicaron en parte el orden en los rendimientos encontrados por localidades.

Numero de hileras

En la comparación de medias se encontró en el grupo superior (Tukey 0.05) a la localidad de Santa María Huexoculco, con 16.9 hileras y a Chapingo, con 16.7 hileras; en seguida estuvieron Juchitepec, con 16.6 hileras y Ozumba, con 16.0 hileras.

Peso de cien granos

En la comparación de medias se encontró en el grupo superior (Tukey 0.05) a la localidad de Juchitepec, con 48.5 gr, en el segundo lugar se encontró Santa María Huexoculco, con 42.6 gr, y en el último lugar estuvieron Ozumba, con 41.3 gr y Chapingo, con 40.8 gr.

Aunque hubo diferencias significativas para esta variable, no se da una explicación de ello, porque debería de ser un carácter bastante estable en los diferentes ambientes analizados. Aunque posiblemente las heladas tuvieron algo que ver con los resultados encontrados al afectar a Chapingo.

3.5.1.4 Resultados obtenidos entre materiales genéticos individuales

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza combinado de localidades para los 110 materiales genéticos. Se presentan los cuadrados medios de las variables; 1) pesos seco de grano por planta; 2) características agronómicas; y 3) componentes de rendimiento.

Hubo diferencias significativas en todas las variables analizadas para la fuente de variación Localidades. Esto indica que por lo menos en una localidad las variables resultaron diferentes del resto de localidades analizadas, por lo que la expresión de las variables estuvieron afectadas por el ambiente de evaluación.

También se encontró diferencias significativas entre los materiales genéticos para todas las variables evaluadas. Estos resultados eran de esperarse, ya que de los 110 materiales genéticos participaron colectas, maíces mejorados, poblaciones, cruza de poblaciones y retrocruzas.

Para el caso de la interacción Materiales Genéticos x Localidades, en la mayoría de las variables evaluadas se encontró significancia, con excepción de peso de cien granos (PCGR). Esto indica que los materiales genéticos no se comportaron de igual forma en las cuatro localidades por efectos genéticos y ambientales diferentes.

Para el peso seco de grano por planta (PSG/PP), los componentes de rendimiento y la mayoría de las características agronómicas los coeficientes de variación resultaron dentro de los márgenes considerados confiables, lo que confiere una confianza en los datos analizados. El coeficiente de variación para el caso del porcentaje de acame de raíz (PCRZ) resultó muy alto, de 49.5 %, lo que se explica por incidencias de vientos fuertes con diferencias en la intensidad en las localidades, por microvariaciones en las condiciones de suelo y por efectos de las parcelas vecinas, efectos que el análisis de bloques al azar no corrige.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las cuatro localidades entre 110 materiales genéticos de maíz.

FV	GL	PSG/PP	APL	ALMZ	PACRZ	PHD	LMZ	DMZ	NH	PCGR
LOC	3	358860.593**	16.576**	15.593**	266721.031**	2326.66**	433.614**	16.244**	39.079**	4138.080**
REP(LOC)	8	4943.490**	1.028**	0.797**	3918.019**	29.594**	4.694**	0.484**	2.55NS	269.538**
MG	109	2137.492**	0.270**	0.275**	1516.957**	19.906**	5.406**	1.099**	25.173**	191.933**
MG x LOC	327	884.231**	0.038**	0.021**	567.064**	4.453**	2.144**	0.144**	1.923**	23.171NS
ERROR	872	386.780	0.026	0.018	355.780	3.160	1.430	0.113	1.553	20.967
TOTAL	1319									
MEDIA		100.740	2.557	1.501	38.111	19.413	15.621	5.529	16.552	43.279
CV		19.522	6.373	9.005	49.492	9.157	7.656	6.069	7.528	10.580
DMS (0.5)		35.028	0.290	0.240	33.595	3.167	2.130	0.598	0.999	8.155

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; MG = materiales genéticos; LOC = localidades; PSG/PP = peso seco de grano por planta; (g planta⁻¹); APL = altura de planta; ALMZ = altura de mazorca; PACRZ = porcentaje de acame de raíz; PHD = porcentaje de humedad; LMZ = longitud de mazorca; DMZ = diámetro de mazorca; NH = número de hileras; PCGR = peso de cien granos; CM = cuadrados medios; CV = coeficiente de variación; **, * ns: Diferencias estadísticas con $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$ y no significativo, respectivamente.

En la comparación de medias según la prueba de Tukey (0.05), para la variable peso seco de grano por planta (PSG/PP), llama particularmente la atención lo encontrado en las cruces de poblaciones (HS2 x Col-6784) 3 x (Promesa x Col-6948) 3, (6° CSM Santos Alt x HS 2) 3 x (Promesa x Col-6948) 3, (Col-6949 x Promesa) 3 x (Col-6712 x HS2) 3, (Col-6712 x Promesa) 3 x (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz. 4, (6° CSM S Alt. HS 2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2, y (Col-6780 x HS2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2, las cuales se ubicaron en los primeros 10 lugares en orden de mayor a menor y estadísticamente igualaron a los dos mejores híbridos comerciales para Valles Altos; el HS2, formado por el Dr. Aquiles Carballo del Colegio de Postgraduados, y el Niebla, de la empresa Ceres.

A diferencia de Arce (2009), en esta tesis hubo poblaciones y cruces que resultaron iguales estadísticamente a los mejorados y criollos, producto del avance del programa de mejoramiento en un año, en donde en 2007 se eliminaron los materiales inferiores

en comportamiento en el año anterior y se evaluaron por primera vez las cruzas resultantes del dialélico.

Peso seco de grano por planta

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación analizadas, el coeficiente de variación fue de 19.5 %. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 35 gr; 69 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05); diez de ellos, en su mayoría cruzas de poblaciones, se mencionan a continuación: HS2 con 133 gr, Niebla con 127 gr, (HS2 x Col-6784) 3 x (Promesa x Col-6948) 3 con 127 gr, 302 blanco x Híbrido San José con 125 gr, (6° CSM S Alt x HS 2) 3 x (Promesa x Col-6948) 3 con 124 gr, (Col-6949 x Promesa) 3 x (Col-6712 x HS2) 3 con 122 gr, (Col-6712 x Promesa) 3 x (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz) 4 con 119 gr, (6° CSM Santos Alt x HS 2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2 con 117 gr, (Col-6780 x HS2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2 con 116 gr, y (Col-6780 x SINT 2BP) 4 con 115 gr. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: el híbrido San Juan con 58 gr, Col-7101 (Blanco Pedro Cruz) con 65 gr, 6° CSM Pedro Cruz con 71 gr, (Carballo 1819) 2 con 72 gr y Col-7106 (Amarillo de Vicente Botello) con 75 gr.

Con base en los resultados obtenidos, se observa que hubo cruzas de poblaciones, por mencionar algunas como: (HS2 x Col-6784) 3 x (Promesa x Col-6948), (6° CSM S Alt x HS 2) 3 x (Promesa x Col-6948) 3, y poblaciones como: 302 blanco x Híbrido San José, (Col-6780 x SINT 2BP) 4, que igualaron estadísticamente a los dos mejores híbridos comerciales, el HS2 y el Niebla.

Se rechaza la hipótesis planteada en el Capítulo I del presente trabajo que establece: “Las cruzas de poblaciones superan en rendimiento medio, presentan mejores características de planta y mazorca y poseen mayor adaptabilidad, que los maíces mejorados apropiados para la región”; y se pone en controversia lo mencionado por algunos autores entre ellos Muñoz *et al.* (1976), quienes reconocen que los híbridos comerciales han adquirido un “efecto genético” de especialización a los campos experimentales; de igual forma lo mencionado por Ortega (2007a), quien menciona que los maíces mejorados no se adaptan a las condiciones agroclimáticas de los agricultores porque se han formado en condiciones favorables con riegos frecuentes, suelos profundos y altas dosis de fertilización.

Altura de planta (APL) y mazorca (ALMZ)

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación para APL; el coeficiente de variación fue de 6.4%. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.29 m; 6 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05); diez de los materiales que se colocaron en el grupo superior, en su mayoría poblaciones nativas, se mencionan a continuación; Col-6949 con 3.05 m, Col-6948 con 2.97 m, Col-6715 con 2.76 m, (Col-6949 x Promesa) 3 x (6° CSM Santos Alt x HS2) 3 con 2.75 m, Col-6762 con 2.76 m, (Col-6715 x HS2) 2 x 6715) 3 con 2.76 m, Col-7106 (Amarillo de Vicente Botello) con 2.74 m, 6° CSM Pedro Cruz con 2.73 m, Col-6780 con 2.73 m, (Promesa x Col-6948) 3 con 2.73 m, y (Col-6780 x HS2) 3 con 2.72 m. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: (Carballo 1819) 2

con 2.02 m, los maíces híbridos San Juan con 2.08 m, San Pedro con 2.16 m, San Josecito con 2.16 m y San Marcos con 2.19 m.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en todas las fuentes de variación analizadas para ALMZ. El coeficiente de variación fue de 9.0%. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.24 m. Tres de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05); ocho de las variedades que se colocaron en los primeros sitios en la comparación de media (Tukey 0.05), en su mayoría poblaciones nativas, se mencionan a continuación: Col-6948 con 2.01 m, Col-6949 con 1.98 m, 6º CSM Pedro Cruz con 1.78 m, Col-6715 con 1.75 m, (Col-6715 x HS2) 2 x 6715) 3 con 1.74 m, Col-6780 con 1.71 m, Col-6762 con 1.70 m, Col-302 Blanco con 1.68 m, y Col-6779 con 1.68 m. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron; (Carballo 1819) 2 con 0.96 m, y los híbridos San Juan con 1.11 m, San Pedro con 1.12 m, San Josecito con 1.14 m y San Marcos con 1.15 m.

Con estos resultados se confirma la hipótesis de que las poblaciones nativas se caracterizan por tener considerable altura de planta, y se confirma lo dicho por algunos autores, entre ellos Ortega (2010), quienes indican que con frecuencia las poblaciones nativas presentan portes altos en planta y mazorca, sobre todo cuando se cultivan en ambientes favorables.

Porcentaje de acame

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación analizadas. El coeficiente de variación fue de 49.5 %. La

Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 33.5 %. 67 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05); diez de ellos en su mayoría poblaciones nativas, se mencionan a continuación: Col-7106 (Amarillo de Vicente Botello) con 68.8 %, Col-6784 con 61.7 %, Col-7101 (Blanco Pedro Cruz) con 60.6 %, 6° CSM Pedro Cruz con 59.9 %, Col-302 Blanco con 58.4 %, (Col-6558 x Promesa) 2 x Col-6558) 2 con 56.2 %, ((Promesa) 2 x Col-6715) x Col-6715)2 con 56.2 %, Col-5610 con 55.0 %, y Col-6780 con 54.273 %. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: los híbridos San Juan con 4.4 %, Niebla con 13.9 %, San Josecito con 16.3 %; una cruce de población (Col-6784 x CML 244) 4 x (Col-6712 x HS2) 3 con 17.1 %, y (Promesa) 2 con 18.5 %.

Por los resultados obtenidos, puede decirse que hubo una gran incidencia de acame en las poblaciones nativas, por lo que se confirma la hipótesis de que las poblaciones presentan una fuerte incidencia de acame; esto en parte se debió a las altas aturas de planta y de mazorca.

También llama la atención que una cruce de población (Col-6784 x CML 244) 4 x (Col-6712 x HS2) 3 se encontró con una incidencia relativamente baja en acame, por lo que es de notar que se ha avanzado en la formación de materiales de partida de porte bajo que no acaman mucho.

Porcentaje de humedad

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación analizadas. El coeficiente de variación fue de 9.2 %. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 3.2 %. 43 de los 110 materiales genéticos se

colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05), diez de ellos, en su mayoría poblaciones nativas y retrocruzas, se mencionan a continuación: Col-7101 (Blanco de Pedro Cruz) con 22.9 %, Col-6784 con 22.7 %, Col-6780 x (Col-6780 x SINT 2BP)3 con 22.2 %, Col-6949 con 22.1 %, Col-6780 con 21.8 %, (Col-6784 x CML 244)3 x Col-6784 con 21.3 %, ((Promesa) 2 x Col-6715) x Col-6715)2 con 21.3 %, Col-6715 con 21.3 %, Col-6762 con 21.2 %, y (6º CSM Santos Alt x HS2) 3 x (Promesa x Col-6948) 3 con 21.2 %.

Diez de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: Col-5610 con 15.1 %, híbrido San Pedro16.8 %, (Col-6712 x Promesa) 3 x (Promesa x Col-6779) 3 con 16.9 %, híbrido San Marcos (del Dr. Moisés Mendoza) con 17.1 %, (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz) 4 con 17.5 %, (Col-6949 x Promesa) 3 x (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz) 4 con 17.6%, (Promesa x Col-6948) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2 con 17.6 %, (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz) 4 x (Promesa x Col-6948) 3 con 17.7 %, (Col-5610 x Promesa) 3 con 17.7 %, y (Col-5610 x Promesa) 2 x (Col 6712 x Promesa) 3 con 17.8 %.

Conforme a lo encontrado en estos resultados, y siendo el porcentaje de humedad un indicador de precocidad, se observó la tendencia de que las poblaciones nativas y retrocruzas sean los materiales genéticos más tardíos.

También, se observó que una población nativa, la Col-5610, se colocó en los materiales genéticos más bajos en porcentaje de humedad. La Col-5610 es una población nativa proveniente del estado de Puebla, algo precoz y poco rendidora en comparación con los Chalqueños del sureste del Estado de México.

Longitud de mazorca

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación analizadas. El coeficiente de variación fue de 7.7 %. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 2.1 cm. 18 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05), diez de ellos se mencionan a continuación; Niebla con 18.3 cm, 302 blanco x híbrido San José con 17.1 cm, ((Promesa) 2 x 6715) x Col-6715)2 con 16.9 cm, (Col-6779 x HS2) 4 con 16.9 cm, Col-6762 con 16.7 cm, ((Promesa) 2 x Col-6715) x Col-6715)2 con 16.6, híbrido San Marcos (de Dr. Moisés) con 16.5 cm, Col-6715 con 16.5 cm, (6° CSM Santos Alt x HS 2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2 con 16.5 cm, y ((Col-6780 x Promesa) 2 x Col-6780)2 con 16.4 cm. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron en su mayoría poblaciones nativas: Col-5610 con 13.3 cm, (Carballo 1819) 2 con 13.3 cm (híbrido precoz en generaciones avanzadas), Col-6784 con 14.1 cm, Col-7101 (Blanco de Pedro Cruz) con 14.3 cm y 6° CSM Santos Altamirano con 14.5 cm.

De acuerdo con estos resultados, es de destacar que entre los materiales de mayor longitud de mazorca hubo varias retrocruzas, lo que sugeriría que éstos pueden ser buenos materiales de partida; sin embargo, como ya hemos visto en apartados anteriores, presentaron arquetipo altos de planta y mazorca con susceptibilidad de acame, característica indeseable para la mayoría de los agricultores del sureste del Estado de México, y en general para cualquier agricultor de la República Mexicana.

Diámetro de Mazorca

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación analizadas. El coeficiente de variación fue de 6.1 %. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.59 cm. 25 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05), diez de ellos, en su mayoría retrocruzas, fueron: (Col-6712 x Promesa) 3 x (Promesa x Col-6948) 3 con 6.3 cm, Col-6949 con 6.2 cm, Col-6780 con 6.2 cm, ((Col-6780 x HS2)2 x Col-6780) 3 con 6.2 cm, Col-6780 x (Col-6780 x SINT 2BP)3 con 6.1 cm, (Promesa x Col-6948) 3 con 6.0 cm, ((Col-6784 x CML 244)3 x Col-6784 con 6.0 cm, ((Col-6780 x Promesa)2 x Col-6780)2 con 6.0 cm, (Promesa x Col-6948) 3 (Col-6780 x HS2) 3 con 6.0 cm, y Col-6784 con 5.9 cm. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: Híbrido San Juan con 4.4 cm, híbrido San Marcos con 4.8 cm, Col-5610 con 5.0 cm, (HS 2)3 con 5.0 cm, y Col-6779 con 5.1 cm.

En los resultados de este apartado, se observa que de igual forma que en la variable longitud de mazorca, se encontraron retrocruzas sobresalientes, lo que sugeriría que pueden ser buenos materiales de partida; pero ya se vio que presentan portes altos de planta y mazorca con incidencia de acame, por lo que tendrían que ser mejoradas en ese sentido.

Número de hileras

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en la mayoría de las fuentes de variación. El coeficiente de variación fue de 7.5 %, la Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 0.99 hileras. 25 de los 110 materiales genéticos se

colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05); diez de ellos se mencionan a continuación: Col-6948 con 19.8 hileras, (Promesa x Col-6948) 3 x (Col-6780 x HS2) 3 con 19.7 hileras, Col-6780 con 19.5 hileras, (Col-6949 x Promesa) 5 con 19.2 hileras, (Promesa x Col-6948) 3 x (Col-6949 x Promesa) 3 con 19.2 hileras, (Promesa x Col-6948) 3 con 19.0 hileras, ((Col-6780 x Promesa)² x Col 6780) 2 con 19.0 hileras, ((Col-6780 x HS2) 2 x Col-6780)) 3 19.0 hileras, Col-6949 con 18.9 hileras, y Col-6784 con 18.8 hileras. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: Col-6779 con 13.6 hilera, ((Promesa x Col-6779) 3 x Col-6779) 2 con 13.7 hileras, Col-7106 (Amarillo de Vicente Botello) con 13.8 hileras, (Col-6779 x HS2) 3 con 13.9 hileras y el híbrido San Juan con 14.0 hileras.

De acuerdo con los resultados mostrados en este apartado, es de destacar que hubo colectas como la Col-6948 y la Col-6780, por mencionar algunas, que sobresalieron en número de hileras. Es de esperar que algunos materiales genéticos que tengan como progenitores a estas poblaciones nativas sobresalgan en el carácter indicado. Así por ejemplo sobresalió la cruce (Promesa x Col-6948) 3 (Col-6780 x HS2) 3, población (Promesa x Col-6948) 3, y retrocruza ((Col-6780 x HS2)² x Col-6780)) 3.

Peso de cien granos

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en la mayoría de las fuentes de variación, con excepción de Variedad x Localidad. El coeficiente de variación fue de 10.6 %. La Diferencia Significativa Honesta (0.05) fue de 8.1 gr. 45 de los 110 materiales genéticos se colocaron en el grupo superior (Tukey 0.05), diez de ellos se mencionan a continuación: Col-7101 (Blanco de Pedro Cruz) con 52.2 gr, 6°

CSM S. Altamirano con 52.2 gr, Col-6715 con 51.2 gr, (6º CSM S. Altamirano x HS2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2 con 50.3 gr, (HS2 x Col-6784) 3 x (Col-6784 x CML 244) 4 con 50.0 gr, Col-7106 (Amarillo de Vicente Botello) con 49.4 gr, (HS2 x 1er CSM Enrique Hdz) 4 x (Col-6784 x CML 244) 4 con 49.3 gr, ((Promesa 2 x Col-6715) x Col-6715)2 con 48.3 gr, (Promesa x Col-6779) 3 x (Col-6784 x CML 244) 4 con 47.8 gr, y (HS2 X 1er CSM E. Hernández) 4 x (Promesa x Col-6779) 3 con 47.7 gr. Cinco de los materiales genéticos que se colocaron en los últimos sitios en la comparación de medias fueron: híbrido San Juan con 25.1 gr, (Carballo 1819) 2 con 30.2 gr, híbrido San Marcos con 34.0 gr, Col 6948 con 34.6 gr, y (HS2)3 con 35.5 gr.

Los materiales sobresalientes son poblaciones nativas, las cuales son producto del premejoramiento y cruza; es decir, materiales en cuya constitución genética hay germoplasma nativo. La excepción fue la Col-6948, procedente de la Ciénega de Zacapu, Mich. Que tiene grano pequeño. Se confirma entonces la hipótesis de que los maíces mejorados en general tienen grano pequeño, lo que no es del agrado de muchos agricultores de la región de estudio. También se observó que peso de 100 granos es un importante componente de rendimiento.

3.6 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados encontrados en los diferentes análisis para los 110 materiales genéticos, se puede concluir lo siguiente:

Se confirma que las poblaciones nativas (colectas), en promedio de ambientes, presentaron valores bajos para la mayoría de los componentes de rendimiento y del rendimiento mismo, así como que manifestaron características agronómicas no deseables, entre ellas arquetipos altos en planta y mazorca, con alta susceptibilidad al acame y alto porcentaje de humedad de grano a la cosecha, carácter relacionado al ciclo del cultivo.

En comparación con las poblaciones nativas, las poblaciones producto del premejoramiento, así como sus cruzas presentaron mejores componentes de rendimiento, mejor rendimiento de peso seco de grano por planta (PSG/PP), tuvieron menos altura de planta y mazorca, y presentaron menor acame y fueron más precoces. Esto indica que en el programa de mejoramiento de estos maíces se ha avanzado en aumentar el rendimiento y sus componentes, así como en la mejora de caracteres agronómicos.

Las retrocruzas presentaron valores intermedios en rendimiento, lo que las hace atractivas como material de partida para el mejoramiento; sin embargo, hace falta mejorar sus características agronómicas por algún método de mejoramiento.

En conjunto y en promedio de ambientes, los maíces mejorados mostraron valores intermedios en rendimiento, presentaron buenas características de planta pero no de

mazorca como los híbridos HS2 y Niebla, sin embargo, los materiales mejorados presentaron componentes del rendimiento bajos.

Se detectaron materiales sobresalientes en rendimiento y caracteres agronómicos producto del premejoramiento que son prometedores como materiales de partida

En Juchitepec se obtuvieron los más altos rendimientos, características deseadas de planta y de mazorca, lo que hace suponer que esta localidad reúne todas las condiciones óptimas, en este caso, para el cultivo de maíz.

3.7 LITERATURA CITADA

Arce R A Ch (2009) Evaluación de maíces nativos, mejorados y sus combinaciones en Juchitepec y Chapingo, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco Edo. de Méx. 117 p.

CAEVAMEX (1982) Marco de referencia de la producción de maíz en la Mesa Central de México (Síntesis). Grupo Interdisciplinario de Maíz, SARH. Campo Agrícola Experimental "Valle de México". Chapingo, Mex.

De la O O M, J M Hernández C, G Esquivel E (2011) Utilización de poblaciones nativas de maíz en el premejoramiento. *In:* R E Preciado O, S Montes H (eds) Amplitud, aprovechamiento y riesgos de la diversidad genética de maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, Estado de México. 274 p.

Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda Fo. (2010) Quantitative Genetics in Maize Breeding. 3rd ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.

Herrera C B E (1999) Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 141 p

INEGI (2005) Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México.

- Márquez S F, L Sagún C, J A Carrera V, E Barrera G (2000)** Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Mexico. 55 p.
- Molina G J D (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Publicación Especial, 35 p.
- Moreno F V. (1998)** Selección masal visual estratificada en cinco criollos de maíz en la región Chalco-Amecameca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México. 111 p
- Muñoz O A, A Carballo C y V A González (1976)** Mejoramiento de maíz en el CIAMEC. Análisis y reenfoque del programa. En Memoria del Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N. L., México. pp. 124 - 129.
- Nass L L and Paterniani E (2001)** Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agrícola* 57:581-587.
- Ortega P R (2004)** Experiencias del Proyecto “Milpa” en maíz (*Zea mays* L.) en Chapingo –Amecameca, México en su Primera Etapa. *In: Memoria del Simposio: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales.* Instituto Internacional de Recursos Fitogeneticos, Cali, Colombia. pp:90-162.
- Ortega P R (2007a)** Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de maíces criollos para Chalco-Amecameca. *In: Sexto Congreso de la Asociación Mexicana*

de Estudios Rurales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México. pp:2-13.

Ortega P R (2007b) Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de maíces criollos para Chalco-Amecameca. *In: Memorias de la Segunda Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los maíces criollos*, Uruapan, Michoacán, México. p 26.

Ortega P R (2010) Hacia la conservación y mejoramiento *in situ* de la diversidad del maíz de México. *In: J E Ibarra S (ed) Agricultura, Ciencia y sociedad rural 1810-2010. Recursos naturales y sociedad sustentable*. 1:223-252.

Ortíz J. (1993) El fitomejoramiento como disciplina científica. *Ciencia (Número Especial)* 85-94.

SAS Institute (2004) SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC.

IV APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

4.1 RESUMEN

Con el propósito de contribuir a la detección de variedades adecuadas de partida para el mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y blanco cremoso para el Sureste del Estado de México, así como de definir el método de mejoramiento genético a seguir con las mismas, se evaluó el peso seco de grano por planta (PSG/PP) de 10 poblaciones sobresalientes y el de sus 45 cruzas simples posibles. Los materiales se evaluaron en un diseño experimental de látice triple 10x11 con tres repeticiones en cuatro localidades del Estado de México. Se hizo un análisis de varianza combinado, y también se estimaron los efectos (g_i) de aptitud combinatoria general (ACG) de las poblaciones sobresalientes y los efectos (s_{ij}) de aptitud combinatoria específica (ACE) de las 45 cruzas simples, mediante el método 2 de Griffing. Con los efectos de g_i y s_{ij} se construyó la estructura genética del PSG/PP de cada craza, para identificar las mejores poblaciones y las mejores cruzas. El análisis de varianza combinando detectó significancia en la mayoría de las fuentes de variación, excepto en ACG. Las cruzas que mostraron los mayores efectos de ACE no siempre fueron las que tuvieron mayor PSG/PP. Las cruzas con efectos bajos de ACE no siempre presentaron bajo PSG/PP. Las cruzas de más alto rendimiento fueron aquellas en las que cuando menos uno de los progenitores fue de alta ACG y sus efectos de ACE fueron altos y positivos. Las cruzas de bajo rendimiento fueron aquellas en las que cuando menos uno de sus progenitores fue de baja ACG y sus efectos de ACE fueron negativos y de alto valor absoluto. Se identificaron variedades sobresalientes de partida

para el mejoramiento genético del maíz en el Sureste del Estado de México, ya sea por selección o por hibridación.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, cruzas dialélicas, poblaciones nativas, rendimiento.

4.2 SUMMARY

In order to contribute to detect highly productive varieties to start genetic improvement in maize (*Zea mays* L.) of white and white-cream colored kernel for the Southeast of the State of Mexico, as well as to define the breeding method to be implemented, ten outstanding maize populations and their 45 possible single crosses were evaluated for grain yield per plant (PSG/PP) in a 10 x 11 triple lattice design with three replications at four locations in the State of Mexico. A combined analysis of variance of data was performed and also the general (g_i) (GCA) and specific (s_{ij}) (SCA) combining effects of the populations and their single crosses were estimated according to Griffing's Method 2. The genetic structure for each cross was constructed with the g_i and s_{ij} estimates to identify the best populations and crosses. The analysis of variance detected significance in most of the sources of variation, except in GCA. Crosses with the highest s_{ij} effects did not always have the highest PSG/PP, and those having low s_{ij} effects did not always have low PSG/PP. High yielding crosses were those in which at least one of the progenitors was of high GCA and had high s_{ij} effects. On the contrary, low yielding crosses were those in which at least one progenitor was of low GCA and its SCA effects were high and negative. It was possible to identify highly productive varieties to start a breeding program for the Southeast of the State of Mexico, using both selection and/or hybridization.

Keywords: *Zea mays* L., combining ability, diallel crosses, native populations, yield.

4.3 INTRODUCCIÓN

En los Valles Altos Centrales de México se cultiva predominantemente maíz (*Zea mays* L.) de la raza Chalqueño, en altitudes de 1 900 a 2 700 msnm (Romero *et al.* 2002). En uno de estos valles, el Valle de México, se encuentra la región sureste del Estado de México, donde se siembran unas 30 mil hectáreas de maíz, en su mayoría en condiciones de humedad residual producto de lluvias invernales y del tipo de suelo; de igual manera, en menor proporción, se cultiva maíz en condiciones de temporal y de punta de riego (Ortega, 2004).

En la región sureste del Estado de México, la mayoría de los agricultores practican una agricultura de minifundio. Estos agricultores siembran poblaciones nativas con alto potencial de rendimiento y alta calidad de grano, y conservan sus poblaciones nativas de maíces por periodos de 20 años o más; sin embargo, especialmente cuando estas poblaciones son cultivadas en lugares fuera de su microambiente de adaptación, con frecuencia presentan características agronómicas indeseables, tales como plantas altas con susceptibilidad al acame, gran número de hijos, alta frecuencia de plantas con esterilidad femenina, asincronía en la floración, enfermedades, así como segregación de plantas con mazorcas y granos fuera de tipo, producto de mezclas y cruza con otras variedades del mismo productor o de los vecinos (Ortega, 2007).

En el mejoramiento genético del maíz, en opinión de Hallauer *et al.* (2010), los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético. Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental,

constituida por los criterios de selección. Con respecto a la primer decisión, De la O *et al.* (2011) reconocen que utilizar directamente el germoplasma exótico (Poblaciones nativas) en cruzamientos dirigidos a la obtención de materiales élites no es una buena estrategia, por lo que se debe realizar el premejoramiento como una etapa intermedia.

Se ha señalado que para poder incorporar poblaciones nativas en programas de mejoramiento, el material de partida debe estar constituido por una combinación de germoplasma nativo y de germoplasma mejorado (Ortega, 2010). El primero aportará la buena adaptación al ambiente de cultivo de la región, además de características deseadas regionalmente del grano y otros caracteres; mientras que el segundo aportará genes para caracteres agronómicos deseables en la agricultura moderna, tales como reducida altura de planta y mazorca, que contribuyen a la resistencia al acame y a la mecanización del cultivo, así como genes adicionales para rendimiento y características de grano apreciadas por la industria de la tortilla.

Existen algunos métodos de mejoramiento genético o de premejoramiento que los fitomejoradores pueden usar para mejorar materiales genéticos en rendimiento y características agronómicas, entre ellos destacan la selección masal visual estratificada de Molina (1983) y la retrocruza limitada de Márquez *et al.* (2000). Con los avances de la genética y en especial la cuantitativa, se han propuesto esquemas de mejoramiento genético más complejos como el diseño dialélico de Griffing (1956), que permite estimar los efectos de aptitud combinatoria general de los progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica de sus cruza, con los cuales es posible predecir las mejores combinaciones, así como diseñar métodos de mejoramiento más eficientes.

Sprague y Tatum (1942) introdujeron los conceptos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Especifica (ACE), que sirvieron de base para que Griffing (1956) desarrollara el diseño dialéxico con sus cuatro métodos. Este diseño es una herramienta muy efectiva para estimar efectos y varianzas de ACG y ACE. También, Sprague y Tatum (1942) explicaron que los efectos de ACG quedan definidos por los efectos aditivos de los genes, mientras que los efectos no aditivos son función de los efectos de ACE y tal vez también por efectos epistáticos.

Algunos estudios realizados por Reyes *et al.* (2004) y Escorcía *et al.* (2010) sobre cruza dialéxicas indican que las cruza simples de alto rendimiento son aquéllas en las que cuando menos una de las líneas es de alta ACG y ocurren entre las dos líneas efectos altos positivos de ACE. En contraposición, las cruza simples de más bajo rendimiento son aquéllas cuyas dos líneas son de baja ACG y ocurren entre ellas efectos negativos de ACE de alto valor absoluto.

Con el propósito de detectar variedades adecuadas de partida para el mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y blanco cremoso para el sureste del Estado de México, así como de definir el método de mejoramiento genético a implementar, en este trabajo se evaluaron diez poblaciones sobresalientes y sus 45 cruza simples posibles en cuatro localidades del Estado de México, bajo el método 2 de Griffing, bajo los supuestos de que, a) una cruza simple poblacional es de alto rendimiento cuando al menos una de sus poblaciones progenitoras es de alta ACG y tiene efectos de ACE positivos (s_{ij}) de alto valor absoluto, b) una cruza simple poblacional es de bajo rendimiento cuando al menos una de sus variedades

progenitoras es de baja ACG y tiene efectos de ACE negativos (s_{ij}) de alto valor absoluto, c) el análisis de la estructura genética para rendimiento de las poblaciones evaluadas define qué poblaciones deben mejorarse por selección recurrente y cuales mediante hibridación.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Materiales

El material genético evaluado estuvo constituido por 10 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño cruzadas con maíces mejorados, con tres o cuatro generaciones de recombinación, sobresalientes en rendimiento y caracteres agronómicos. Estas poblaciones son producto del premejoramiento y fueron identificadas a partir de algunos trabajos de evaluación, entre ellos el de Arce (2009). La genealogía de las 10 poblaciones se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Genealogía de 10 poblaciones sobresalientes de la raza Chalqueño cruzadas con maíces mejorados con 3 a 4 generaciones de recombinación

Población	Genealogía	Origen (Campo y año)
1	(HS2 x Col-6712) 3	CH 2006
2	(Promesa x Col-6948) 3	CH 2005
3	(HS2 X 1er CSM E Hdz) 4	CH 2006
4	(CML 244 x Col-6784) 4	CH 2005
5	(Promesa X Col-6779) 2	CH 2005
6	(HS 2 x Col-6780) 4	CH 2006
7	(Promesa x Col-6949) 5	CH 2006
8	(HS2 X Col-6784) 4	CH 2006
9	(HS2 x 6º CSM S Alt) 4	CH 2006
10	(Promesa x Col 6712) 3	CH 2004

4.4.2 Métodos y parcela experimental

Para la evaluación de las 10 poblaciones y sus 45 cruzas simples posibles se usó un diseño experimental de látice triple 10 x 11 con tres repeticiones, el cual se analizó como un diseño estadístico de bloques completos al azar. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos de cinco metros de largo y 0.85 m de ancho. En cada surco se sembraron tres semillas cada 0.50 m; posteriormente se realizó aclareo para

dejar solo dos plantas por mata. Se tuvo una densidad aproximada de 46,800 plantas/ha⁻¹.

4.4.3 Ambientes de prueba

Las 10 poblaciones sobresalientes y sus 45 cruzas simples posibles, fueron evaluadas para peso seco de grano por planta (PSG/PP) en cuatro ambientes: 1) Chapingo, 2) Juchitepec, 3) Santa María Huexoculco y 4) Ozumba. Todas estas localidades pertenecen al Estado de México (Cuadro 2)

Cuadro 2. Características de los ambientes de evaluación de las 10 poblaciones progenitoras y de sus 45 cruzas simples posibles.

variable	Localidad o ambiente			
	Chapingo	Juchitepec	Santa María Huexoculco	Ozumba
Ubicación geográfica	LN 19° 29' 05"	LN 19° 05' 13"	LN 19° 15' 24.5"	LN 19° 02' 26.2"
	LO 98° 53' 11"	LO 98° 53' 05"	LO 98° 49' 13.8"	LO 98° 48' 41.3"
Altitud (msnm)	2 250	2 543	2 410	2 340
Clima*	C(w)	C(w)	C(w) y hacia el este C(E)(w)	Hacia el norte C(w) y al sur Acw
Precipitación pluvial (mm)	598	773.6	765.2	943.6
Temperatura (°C)	17.2	14.6	14.9	14
Suelos	Ígneas extrusivas (Feozem y Cambisol)	Ígneas extrusivas (Andosol y Feozem)	Ígneas extrusivas (Cambisol y Regosol)	Ígneas extrusivas (Regosol, Andosol y Feosem)
Sistema de cultivo	Riegos de auxilio	Humedad residual	Suelos con humedad	Suelos de temporal

*; C(w); Templado subhúmedo con lluvias en verano. C(E)(w); Semifrío subhúmedo con lluvias en verano. ACw; Semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Fuentes; INEGI (2005) y Google (2013)².

² Google (2013) Google Earth Plug-in

4.4.4 Conducción de los experimentos

La preparación de los terrenos de cultivo consistió en labores culturales, aplicación de los fertilizantes y control de malezas; tales labores y la conducción de las siembras se realizaron de forma tradicional de acuerdo a cada localidad.

4.4.4.1 Chapingo, Estado de México

El experimento en Chapingo se estableció en la Tabla San Juan, del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, a una altitud aproximada de 2300 msnm. El cultivo anterior en el terreno fue maíz. La siembra se efectuó el día 15 de mayo de 2007 y a los 20 días después de la siembra se dio un riego de auxilio. La fertilización se efectuó en dos etapas. La primera aplicación fue durante la siembra con 100 kg ha⁻¹ de DAP (18-46-00) + 100 kg ha⁻¹ de Urea (46-00-00). La segunda aplicación se realizó durante el aporque, con una aplicación de 100 kg/ha⁻¹ de Urea (46-00-00). Para el control de malezas se aplicó un L ha⁻¹ de Gesaprim calibre 90 en 250 L ha⁻¹ de agua. La cosecha se realizó los días 10 y 11 de diciembre en forma manual.

4.4.4.2 Juchitepec, Estado de México

En Juchitepec se estableció el lote experimental en el predio llamado el "Sótano", a una altitud de 2550 msnm. El lote se ubicó a un costado de la carretera que comunica Juchitepec con la carretera Milpa Alta-Oaxtepec, a 3 km de la cabecera municipal. En este lote hubo avena como cultivo anterior. La siembra se realizó el 22 de abril de 2007, en condiciones de humedad residual. La fertilización se efectuó el 20 de junio

con una aplicación de 200 kg ha⁻¹ de urea (46-00-00). El aporque se llevó a cabo el 21 de junio. El control de malezas se realizó el 23 de junio con una mezcla de un litro de Cirrus y un litro de Gesaprim calibre 90 en 250 L ha⁻¹. La cosecha se efectuó los días 26 y 27 de diciembre en forma manual.

4.4.4.3 Santa María Huexoculco, Estado de México

El experimento se realizó en el predio la “Nopalera”, ubicado a una altitud de 2280 msnm. En este lote hubo avena como cultivo anterior. La siembra se llevó a cabo el 8 de mayo de 2007 en condiciones de humedad, en suelos someros y tepetatosos. La fertilización consistió en dos aplicaciones. La primera se llevó a cabo durante la siembra con una aplicación de 100 kg ha⁻¹ de DAP (18-46-00). La segunda aplicación fue con 100 kg/ha de Urea (46-00-00). El control de malezas se realizó el 5 de julio aplicando Primagram Gold a una dosis de 1 L ha⁻¹ y continuo en forma manual. La cosecha se efectuó en forma manual los días 17 y 18 de diciembre de 2007.

4.4.4.4 Ozumba, Estado de México

El experimento se estableció en el predio los “Capulines”, ubicado a un costado de la carretera México-Cuautla, a una altitud aproximada de 2350 msnm, en la cuenca del Valle de Cuautla, Morelos. En este lote hubo maíz como cultivo anterior. La siembra se realizó el 01 de mayo de 2007, en tierras de humedad. Sólo se fertilizó una vez durante la siembra con una mezcla de 100 kg ha⁻¹ de urea (46-00-00) + superfosfato triple de calcio (00 - 46 - 00 + Ca: 13%). El control de malezas se realizó el 8 de junio con

aplicación de un L ha⁻¹ de Primagram Gold, se dio seguimiento en forma manual. La cosecha se efectuó los días 3 y 4 de diciembre de 2007.

Factores externos de las localidades

En el 2007 hubieron muchos contrastes en fenómenos meteorológicos; por ejemplo: en Huexoculco se presentaron deficiencias de precipitación al principio del ciclo agrícola; en todas las localidades en algún periodo se presentaron lluvias fuertes acompañadas de vientos, en Chapingo eso ocurrió el 31 de julio; en Juchitepec, en los meses de julio y agosto; en Santa María Huexoculco, el 29 de octubre, y en Ozumba, en el mes de julio. Las heladas se presentaron en Chapingo los días 23 y 24 de octubre; en Juchitepec los días 26 y 27 de octubre; en Santa María Huexoculco el 29 de octubre; y en Ozumba no hubo heladas.

4.4.5 Análisis de la información

El análisis de varianza se realizó mediante el diseño dialélico de Griffing (1956) método 2, donde se incluyen las 10 variedades progenitoras y sus 45 cruzas simples posibles. Este diseño permite estimar los efectos de aptitud combinatoria general (gi) de los 10 progenitores (ACG) y los efectos de aptitud combinatoria específica (sij) de las 45 cruzas (ACE). Con los estimadores de gi y sij se obtuvo la estructura genética de las 45 cruzas, con la cual se diseñará el uso potencial de los materiales genéticos en un programa de mejoramiento genético, en la región del sureste del Estado de México.

Para el análisis de varianza combinado se usó el código SAS de varios autores (Martínez, 1988; Reyes, 2003; Zhang *et al.*, 2005), con el fin de estimar los efectos de

ACG de las 10 poblaciones usadas como progenitores y los efectos de ACE de las 45 cruzas simples posibles.

El análisis estadístico del peso seco de grano por planta (PSG/PP) se realizó mediante el análisis de varianza combinado de las cuatro localidades, bajo un análisis estadístico usando el modelo del diseño de bloques completos al azar, mediante el paquete computacional SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2004). Los Cuadrados Medios y la Suma de Cuadrados de Cruzas se partieron en ACG y ACE. De igual manera, la interacción Poblaciones x Localidades se partió en ACG x Localidades y ACE x Localidades.

El modelo para el análisis combinado del PSG/PP de las 10 variedades progenitoras y de sus 45 cruzas fue el del diseño dialélico método 2 de efectos fijos de Griffing (1956):

$$X_{ijkm} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + a_m + (ga)_{im} + (ga)_{jm} + (sa)_{ijm} + e_{ijkm}$$

Dónde:

μ = media poblacional

g_i, g_j = efecto de ACG del progenitor i y del progenitor j.

s_{ij} = efecto de ACE del cruzamiento del progenitor i con el progenitor j.

a_m = efecto del ambiente m

$(ga)_{im}, (ga)_{jm}$ = efecto de interacción del efecto de ACG del progenitor i y del progenitor j con el ambiente m.

$(sa)_{ijm}$ = interacción del efecto de ACE de la cruce i j con el ambiente m .

e_{ijkm} = efecto del error de la cruce i j en la repetición k en el ambiente m .

En dicho modelo los sub-índices representan las siguientes amplitudes:

$i = 1, 2, 3, \dots, p$ (10) progenitores

$j = 1, 2, 3, \dots, p$ (10) progenitores

$k = 1, 2, \dots, r$ (3) repeticiones

$m = 1, 2, 3, \dots, l$ (4) ambientes

La estructura genética de las 45 cruces se construyó de acuerdo con el modelo del dialélico de Griffing (1956).

$$X_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij}$$

Dónde:

X_{ij} = Peso seco de grano por planta de la cruce de la línea i con la línea j

μ = Valor medio de las 45 cruces

g_i = efecto de ACG de la variedad i

g_j = efecto de ACG de la variedad j

s_{ij} = efecto de ACE de la cruce de la variedad i con la variedad j

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Resultados y discusión del dialélico

En el Cuadro 3 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las cuatro localidades para la variable peso seco de grano por planta (PSG/PP) de las 10 poblaciones de maíz y de sus 45 cruzas simples posibles, de acuerdo con el método 2 de Griffing (1956). Se observa que las fuentes de variación Localidades, Repeticiones (dentro de Localidades), Cruzas y la ACE presentaron diferencias significativas del 95% de probabilidad ($\alpha = 0.05$); para la ACG x Localidades presentó diferencias significativas al 90% ($\alpha = 0.10$). Para la Aptitud Combinatoria General (ACG) no se encontraron diferencias significativas con el 90% ni con el 95%.

Cuadro 3. Análisis de varianza combinado de cuatro localidades del peso seco de grano por planta (PSG/PP) para 10 poblaciones usadas como progenitores y de sus 45 cruzas simples posibles, usando el Método 2 de Griffing.

FV	GL	CM	SC
LOC	3	505165.362**	168388.454**
REP(LOC)	8	17637.781**	2204.722**
CRUZAS	54	44810.115**	829.816**
ACG	9	5772.412ns	641.379ns
ACE	45	39037.703**	867.504**
LOC*CRUZAS	162	96378.054**	594.926**
ACG * LOC	27	17946.352*	664.680*
ACE*LOC	135	78431.702**	580.975**
Error	432	175672.885	406.650
Total	659	839664.199	
CV = 19.108			

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; PSG/PP = peso seco de grano por planta; (g planta⁻¹); CM = cuadrados medios; SC = suma de cuadrados; ACG = aptitud combinatoria general; ACE = Aptitud combinatoria específica; CV = coeficiente de variación; **, * ns: Diferencias estadísticas con $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$ y no significativo, respectivamente.

La significancia encontrada en Localidades indica que al menos una localidad fue diferente entre las cuatro, lo cual pudo deberse a las diferencias climáticas y edáficas

existentes en cada localidad, y a que el peso seco de grano por planta (PSG/PP) en maíz es un carácter altamente poligénico y muy afectado por el ambiente.

Por otro lado, la significancia en las Cruzas pudiera deberse a la diversidad genética de las poblaciones, pues cada una de ellas fue formada a partir de poblaciones nativas de la raza Chalqueño cruzadas con materiales mejorados; y aunque provienen de la misma raza, algunas de estas poblaciones nativas son genéticamente divergentes entre ellas, como es el caso de la Col-6712, Col-6780 y la Col-6948. Probablemente también el caso de la línea de maíz mejorado CML 244 es divergente genéticamente a los otros dos progenitores, los híbridos HS2 y Promesa. Al respecto, Guillen *et al.* (2009) encontraron que a medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores, se incrementan las diferencias entre las cruzas, tanto en características agronómicas como fisiológicas.

La no significancia de la ACG podría explicarse por una baja acumulación aditiva de genes para peso seco de grano por planta (PSG/PP) en los cruzamientos con predominio de las poblaciones con expresión de sobredominancia; es decir, que los efectos de dominancia (ACE) fueron de mayor expresión en el peso seco de grano por planta (Cuadro 3) e indicaron la importancia de la acción génica por dominancia sobre los efectos aditivos. Otra posible explicación es que no hubo diferencias en los promedios fenotípicos para PSG/PP entre poblaciones cuando se cruzaron entre ellas, lo que indica que los efectos aditivos promedio de los genes de las poblaciones fueron muy similares.

Al respecto, algunos autores encontraron lo siguiente: Rivera (1977) menciona que al incrementar la diversidad genética de los progenitores, aumenta también la diferencia para los valores de aptitud combinatoria, ya sea para ACG, para ACE o bien para ambos tipos de acción génica. Crossa *et al.* (1990) mencionan que los efectos no aditivos son más importantes a medida que avanza la endogamia de los padres involucrados, debido a que existe mayor número de *loci* en estado homocigótico. Puertas (1992) considera que la expresión heterótica de un cruzamiento depende de la conjunción de los *loci* genómicos de los padres, equivalente al valor promedio de ACE de la progenie.

La alta significancia encontrada en la ACE muestra que existieron cruzamientos específicos de un alto valor sobredominante de algunas poblaciones, que pudieran ser utilizados para la formación de híbridos. Entre algunos autores que encontraron significancia para ACE en híbridos de maíz de alto rendimiento figuran: Sierra y Preciado (1988), Espinosa *et al.* (1988) y más recientemente Gutiérrez (2002) y De la Cruz (2003).

El coeficiente de variación (C.V.) alcanzó un valor de 19.1 %, el cual se encuentra estadísticamente dentro de los límites de aceptación, lo que indica una buena confiabilidad en los resultados obtenidos en el análisis de varianza combinado.

En el Cuadro 4 aparece el pesos secos de grano por planta (PSG/PP) promedio y la genealogía de las 10 poblaciones progenitoras y de sus 45 cruzas simples posibles. Se observa que 51 de los 55 materiales genéticos se ubicaron en el grupo superior Tukey ($\alpha = 0.05$); de éstos, 6 fueron poblaciones, y 45 fueron cruzas simples. Las primeras 17

cruzas fueron: 2x8 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x Col-6784) 4] con 127 gr; 2x9 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4] con 124 gr; 1x7 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6949) 5] con 122 gr; 3x10 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6712)3] con 119 gr; 6x10 [(HS2 x Col-6780) 4 x (Promesa x Col-6712)3] con 114 gr; 9x10 [(HS2 x 6° CSM S Alt) 4 x (Promesa x Col-6712)3] con 114 gr; 2x3 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 1er CSM E Hdz) 4] con 113 gr; 2x6 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x Col-6780) 4] con 113 gr; 4x8 [(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS2 x Col-6784) 4] con 113 gr; 1x6 [(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x Col-6780) 4] con 113 gr; 1x5 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6779) 2] con 112 gr; 4x6 [(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS2 x Col-6780) 4] con 112 gr; 8x10 [(HS2 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6712)3] con 111 gr; 5x6 [(Promesa x Col-6779) 2 x (HS2 x Col-6780) 4] con 111 gr; 3x7 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6949) 5] con 111 gr; 6x8 [(HS2 x Col-6780) 4 x (HS2 x Col-6784) 4] con 111 gr; y 1x10 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6712)3] con 111 gr.

Las seis poblaciones que se ubicaron en el grupo superior, según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) fueron: Pob. 5 con 107 gr, Pob. 1 con 107 gr, Pob. 10 con 106 gr, Pob. 2 con 99 gr y Pob. 6 con 99 gr; cuyas genealogías son las siguientes: (Promesa x Col-6779) 2, (HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x Col-6712) 3, (Promesa x Col-6712) 3, (Promesa x Col-6948) 3, (HS2 x Col-6780) 4 y (HS2 x 1er CSM E Hdz) 4.

Cuadro 4. Peso seco promedio de grano por planta (PSG/PP) y genealogía de las 10 poblaciones progenitoras y sus 45 cruzas simples posibles.

Cruzas	Genealogía		PSG/PP		
2x8	(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x Col-6784) 4	127		A	
2x9	(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	124	B	A	
1x7	(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6949) 5	122	B	A	C
3x10	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6712) 3	119	B	D	A C
6x10	(HS 2 x Col-6780) 4 x (Promesa x Col-6712) 3	114	B	D	A C
9x10	(HS2 x 6° CSM S Alt) 4 x (Promesa x Col-6712) 3	114	B	D	A C
2x3	(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 1er CSM E Hdz) 4	113	B	D	A C
2x6	(Promesa x Col-6948) 3 x(HS 2 x Col-6780) 4	113	B	D	A C
4x8	(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS2 x Col-6784) 4	113	B	D	A C
1x6	(HS2 x Col-6712) 3 x (HS 2 x Col-6780) 4	113	B	D	A C
1x5	(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6779) 2	112	B	D	A C
4x6	(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS 2 x Col-6780) 4	112	B	D	A C
8x10	(HS2 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6712) 3	111	B	D	A C
5x6	(Promesa x Col-6779) 2 x (HS 2 x Col-6780) 4	111	B	D	A C
3x7	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6949) 5	111	B	D	A C
6x8	(HS 2 x Col-6780) 4 x (HS2 x Col-6784) 4	111	B	D	A C
1x10	(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6712) 3	111	B	D	A C
4x10	(CML 244 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6712) 3	110	B	D	A C
1x4	(HS2 x Col-6712) 3 x (CML 244 x Col-6784) 4	110	B	D	A C
3x4	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (CML 244 x Col-6784) 4	110	B	D	A C
4x9	(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	109	B	D	A C
7x8	(Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x Col-6784) 4	108	B	D	A C
2x10	(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6712) 3	108	B	D	A C
7x9	(Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	107	B	D	A C
5	(Promesa x Col-6779) 2	107	B	D	A C
2x4	(Promesa x Col-6948) 3 x (CML 244 x Col-6784) 4	107	B	D	A C
1	(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x Col-6712) 3	107	B	D	A C
10	(Promesa x Col-6712) 3	106	B	D	A C
1x2	(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6948) 3	105	B	D	A C
5x9	(Promesa x Col-6779) 2 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	105	B	D	A C
1x3	(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x 1er CSM E Hdz) 4	104	B	D	A C
3x8	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (HS2 x Col-6784) 4	103	B	D	A C
5x7	(Promesa x Col-6779) 2 x (Promesa x Col-6949) 5	103	B	D	A C
4x5	(CML 244 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6779) 2	102	B	D	A C
4x7	(CML 244 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6949) 5	102	B	D	A C
6x7	(HS 2 x Col-6780) 4 x (Promesa x Col-6949) 5	102	B	D	A C
6x9	(HS 2 x Col-6780) 4 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	102	B	D	A C
3x5	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6779) 2	101	B	D	A C
1x9	(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	101	B	D	A C
1x8	(HS2 x Col 6712) 3 x (HS2 x Col-6784) 4	100	B	D	A C
5x8	(Promesa x Col-6779) 2 x (HS2 x Col-6784) 4	100	B	D	A C
2	(Promesa x Col-6948) 3	99	B	D	A C
2x5	(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6779) 2	99	B	D	A C
6	(HS 2 x Col-6780) 4	99	B	D	A C
7x10	(Promesa x Col-6949) 5 x (Promesa x Col-6712) 3	98	B	D	A C
2x7	(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6949) 5	97	B	D	A C
3x6	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (HS 2 x Col-6780) 4	97	B	D	A C
5x10	(Promesa x Col 6779) 2 x (Promesa x Col-6712) 3	97	B	D	A C
3	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4	97	B	D	A C
3x9	(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	96	B	D	A C
8x9	(HS2 x Col 6784) 4 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4	94	B	D	A C
4	(CML 244 x Col-6784) 4	92	B	D	C
9	(HS2 x 6° CSM S Alt) 4	92	B	D	C
7	(Promesa x Col-6949) 5	90		D	C
8	(HS2 x Col-6784) 4	87		D	

DMS = 33.49

Materiales genéticos con la misma letra son estadísticamente iguales en peso seco de grano por planta (PSG/PP). Tukey (0.05)

De las 17 cruzas ubicadas en los primeros lugares, se observa que tres de las poblaciones progenitoras que se encontraron en las cruzas y que se repitieron con más frecuencia fueron: la 10, 6, y la 2; cuyas genealogías son: (Promesa x Col- 6712) 3, (HS2 x Col-6780) 4) y (Promesa x Col-6948) 3, en la formación de estas poblaciones intervinieron tres colectas sobresalientes que son:

1) Colecta 6948. Es la única población nativa que participa en la constitución genética de los progenitores que no fue colectada en el sureste del Estado de México, sino en Zacapu, Michoacán, por lo que debe ser genéticamente en grado importante divergente con el resto de las poblaciones nativas. Esto explica que haya heredado a varias de las poblaciones descendientes alta ACE cuando se combinan con poblaciones que tienen en su constitución criollos del sureste del Estado de México.

2) Colecta 6780. Es una población nativa sobresaliente, blanco dentado, con olote grueso y mayor número de hileras de la mazorca que la mayoría de las poblaciones nativas del sureste del Estado de México. A diferencia de la mayoría de las localidades del sureste del Estado de México, en donde se cultiva sin riego, en la localidad de Tlapala, Municipio de Chalco, es el lugar de procedencia de esa colecta, hasta recientemente los agricultores sembraban “de punta de riego” (riego en la siembra) con agua derivada del Río de La Compañía; esto probablemente explique la evolución particular, algunas de sus características peculiares, y la divergencia genética con la mayoría de los criollos que están en la genealogía de las poblaciones y cruzas evaluadas en esta tesis.

3) Colecta 6712 es un material nativo sobresaliente acopiado en Santa María Huexoculco, municipio de Chalco. De acuerdo con algunos autores como Romero (2002), fue una población nativa sobresaliente en ACG; asimismo, Herrera *et al.* (2013) encontró que es un material nativo sobresaliente para varias partes altas del país, principalmente del sureste del Estado de México. La persona que lo donó, y que lo mantiene desde hace muchos años, en alguna ocasión comentó que estaba derivado de generaciones avanzadas del híbrido H-129 del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (hoy INIFAP), lo que explicaría que las poblaciones derivadas de esa colecta sean sobresalientes en ACE.

Los resultados anteriores coinciden con lo encontrado por Ordás (1991) y por Rivera (1977), quienes indican que sus mejores cruzas fueron formadas con líneas de diferente origen. También se indica que los maíces mejorados frecuentemente conservan la característica de resultar en buenas cruzas, porque sus líneas fueron previamente seleccionadas por ACE. Así lo indica Ortega (1985) quien encontró que el H-412 tuvo mejor Aptitud Combinatoria que criollos mexicanos.

En la comparación de medias de los 55 materiales genéticos, 4 se coloraron en el último grupo, siendo todas poblaciones, como la 8, con 87 g, la 7, con 90 g, la 9, con 92 g, y la 4, con 92 g; cuyas genealogías se mencionan en seguida: (HS2 X Col-6784) 4, (Promesa x Col-6949) 5, (HS2 x 6º CSM S Alt) 4 y (CML 244 x Col-6784) 4. Estas poblaciones estadísticamente rindieron menos que las cruzas evaluadas.

En el Cuadro 5 se anota la comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$), del PSG/PP en las localidades de las 10 poblaciones progenitoras y de sus 45 cruzas simples

posibles. Se formaron tres grupos; en el primer grupo superior se ubicó Juchitepec, con 143 g, seguido en el grupo dos de Santa María Huexoculco y de Chapingo, con 113 g y 101 g, respectivamente, y en el último grupo se encontró Ozumba, con 65 g.

Estadísticamente la localidad donde se lograron los mayores PSG/PP fue Juchitepec; esto podría explicarse debido a la presencia de buenas condiciones climáticas y edáficas; (lluvias abundantes, suelos profundos, ricos en materia orgánica y minerales), sumado a las buenas prácticas del agricultor cooperante. En Chapingo, los suelos de la Tabla San Juan, donde estuvo localizado el experimento, son someros; además, se presentaron lluvias abundantes en el mes de julio lo que ocasionó incidencia de acame, dando como resultado rendimientos bajos. En Santa María Huexoculco se presentó considerable sequía en las primeras fases del ciclo vegetativo del maíz. En Ozumba el exceso de lluvia y los fuertes vientos produjeron considerable acame de plantas antes de terminar llenado de grano, lo que fue causa de disminución del rendimiento.

Cuadro 5. Rendimiento promedio para localidades

Localidad	PSG/PP
Juchitepec	143 A
Santa María Huexoculco	113 B
Chapingo	101 B
Ozumba	65 C
DMS	16.55

Localidades con la misma letra son estadísticamente iguales en peso seco de grano por planta (PSG/PP). Tukey (0.05)

En el Cuadro 6 se observa el orden de posición de los efectos de ACG de las 10 poblaciones utilizadas como progenitores para PSG/PP. Se observó que en la prueba de t ($\alpha = 0.05$) no hubo diferencias para las poblaciones, pero al hacer una prueba de t

($\alpha = 0.10$) resultó que la población 10 o sea (Promesa x Col-6712) 3 presentó diferencias significativas, sobresaliendo con el efecto más alto y positivo. Este resultado indica que esta población tuvo una alta contribución en la expresión del rendimiento de sus progenies, y que los efectos aditivos fueron los más importantes; por lo que según algunos autores, entre ellos Vacaro *et al.* (2002); Preciado *et al.* (2005); Guillen *et al.* (2009), los progenitores que muestran significancia y efectos de ACG altos y positivos pueden contribuir con alelos superiores para rendimiento de grano, por lo que estos materiales genéticos deben ser incluidos en programas de mejoramiento genético.

Cuadro 6. Orden de ACG de las 10 poblaciones utilizadas como progenitores

Orden	Población	Efectos ACG	Valor t	Pr > t
1	10	2.700	1.690	0.0914
2	2	2.550	1.600	0.1102
3	1	2.410	1.510	0.1321
4	6	1.010	0.630	0.5268
5	4	-0.050	-0.030	0.9736
6	3	-1.030	-0.650	0.5178
7	5	-1.370	-0.860	0.3899
8	8	-1.620	-1.020	0.3095
9	9	-2.120	-1.330	0.1853
10	7	-2.470	-1.550	0.1221

Las poblaciones que tendieron a tener los mayores efectos de ACG fueron las siguientes: 10 con 2.70, 2 con 2.55, 1 con 2.41, y la 6 con 1.01; cuyas genealogías se describen a continuación: (Promesa x Col-6712) 3, (Promesa x Col-6948) 3, (HS2 x Col-6712) 3 y (HS 2 x Col-6780) 4. De igual forma se observa que estas poblaciones intervinieron en las cruzas de mayor rendimiento. Estos resultados coinciden con los de varios autores, entre ellos Díaz (1988), Reyes *et al.* (2004), y recientemente Escorcía *et al.* (2010), quienes encontraron que en las cruzas de mayor rendimiento intervino al

menos una línea de alta aptitud combinatoria general. Por lo que se adelanta para afirmar que la primera hipótesis se cumplió con los resultados obtenidos.

Las poblaciones con los menores efectos de ACG fueron: 7 con -2.47, 9 con -2.12, 8 con -1.62, 5 con -1.37, 3 con -1.03, y 4 con -0.05. Las genealogías de estas poblaciones se describen a continuación: (Promesa x Col-6949) 5, (HS2 x 6º CSM S Alt) 4, (HS2 x Col-6784) 4, (Promesa x Col-6779) 2, (HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 y (CML 244 x Col-6784) 4. Estas poblaciones produjeron cruzas con bajo rendimiento. Lo cual coincide con Reyes *et al.* (2004) y Escorcía *et al.* (2010), quienes mencionan que las cruzas con menor rendimiento son aquéllas en las que cuando menos una de las líneas es de baja ACG. Estos resultados confirman que la segunda hipótesis sí se cumple.

En el Cuadro 7 se observan los efectos de ACE de las 45 cruzas simples posibles. Se observa que 15 de los 55 materiales genéticos mostraron significancia; de éstos, seis cruzas destacaron por presentar efectos de AGE altos y positivos. A continuación se mencionan: 2 x 8 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 X Col-6784) 4] con 20.45 **, 2 x 9 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4] con 18.36 **, 1 x 7 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6949) 5] con 16.28, 3 x 7 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6949) 5] con 9.05 *, 4 x 8 [(CML 244 x Col-6784) 4 x (HS2 x Col-6784) 4] con 8.97* y 4 x 10 [(CML 244 x Col-6784) 4 x (Promesa x Col-6712) 3] con 2.15 *. De los ocho progenitores que intervinieron en las seis cruzas con mayores efectos de ACE, sólo las poblaciones 10 [(Promesa x Col 6712)3], 2 [(Promesa x Col 6948) 3] y 1 [(HS2 x Col 6712) 3] tuvieron efectos positivos de ACG con 2.7*, 2.55 y 2.41 respectivamente.

Al hacer la comparación de los efectos de ACE y del peso seco de grano por planta (Cuadro 6) de los materiales genéticos, se observa que las primeras 11 cruzas que mostraron los mayores efectos de ACE, no siempre fueron los que tuvieron mayor peso seco de grano. Tal es el caso de las cruzas 7 x 8 [(Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x Col-6784) 4] y la 7 x 9 [(Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4] que tuvieron efectos altos de ACE de 6.56 y de 6.22 respectivamente, pero que no figuran en los primeros sitios en cuanto a peso seco de grano por planta (PSG/PP). En contraposición la cruz 1 x 10 [(HS2 x Col 6712) 3 x (Promesa x Col 6712)3] presentó alto peso seco de grano (111 g) y una bajo efecto de ACE (-0.14). En estos resultados es de esperar que una cruz de alto rendimiento sea aquella cuyas dos líneas son de alta ACG o al menos una de las líneas es de alta ACG pero el efecto de ACE de la cruz es alto y positivo. A esta misma conclusión llegaron Reyes et al. (2004) y Escorcía et al. (2010).

Las 10 cruzas que presentaron los efectos más bajos de ACE fueron: 5 x 10 [(Promesa x Col 6779) 2 x (Promesa x Col-6712)3] con -9.69, 7 x 10 [(Promesa x Col-6949) 5 x (Promesa x Col-6712)3] con -8.26, 2 x 7 [(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6949) 5] con -8.20, 3 x 6 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (HS 2 x Col-6780) 4] con 8.10, 2 x 5 [(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6779) 2] con -7.71, 8 x 9 [(HS2 x Col 6784) 4 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4] con -7.53, 1 x 8 [(HS2 x Col 6712) 3 x (HS2 x Col-6784) 4] con -6.40, 3 x 9 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4] con -6.14, 1 x 2 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6948) 3] con -5.07 y 1 x 9 [(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4] con -4.99. Se observa que no todas las cruzas que tuvieron los menores efectos de ACE presentaron los rendimientos más bajos. Tal

es el caso de la cruza 1 x 2 que tuvo un efecto de ACE bajo y negativo, pero que no figura entre las cruzas de menor rendimiento.

Cuadro 7. Efectos de ACE de las 45 cruzas simples posibles.

Cruza	PSG/PP	Efecto de ACE	Valor t	Pr> t
2x8	127	20.45	3.81	0.0002
2x9	124	18.36	3.42	0.0007
1x7	122	16.28	3.04	0.0025
3x10	119	11.88	0.83	0.4091
6x10	114	5.01	-0.55	0.5827
9x10	114	7.80	-0.31	0.7561
2x3	113	5.86	1.09	0.2749
2x6	113	3.74	0.70	0.4862
4x8	113	8.97	1.67	0.0950
1x6	113	3.55	0.66	0.5083
1x5	112	5.18	0.97	0.3344
4x6	112	5.18	0.97	0.3351
8x10	111	4.72	-1.63	0.1048
5x6	111	6.08	1.13	0.2577
3x7	111	9.05	1.69	0.0922
6x8	111	6.08	1.13	0.2577
1x10	111	-0.14	-0.60	0.5456
4x10	110	2.15	-1.70	0.0905
1x4	110	2.28	0.43	0.6710
3x4	110	5.30	0.99	0.3235
4x9	109	5.80	1.08	0.2800
7x8	108	6.56	1.22	0.2221
2x10	108	-2.95	-2.26	0.0242
7x9	107	6.22	1.16	0.2470
2x4	107	-1.20	-0.22	0.8230
1x2	105	-5.07	-0.95	0.3444
5x9	105	2.79	0.52	0.6036
1x3	104	-3.16	-0.59	0.5562
3x8	103	0.54	0.10	0.9204
5x7	103	1.72	0.32	0.7481
4x5	102	-1.69	-0.32	0.7523
4x7	102	-0.60	-0.11	0.9116
6x7	102	-1.74	-0.32	0.7455
6x9	102	-2.68	-0.50	0.6176
3x5	101	-2.13	-0.40	0.6913
1x9	101	-4.99	-0.93	0.3524
1x8	100	-6.40	-1.19	0.2332
5x8	100	-2.96	-0.55	0.5816
2x5	99	-7.71	-1.44	0.1510
7x10	98	-8.26	-2.91	0.0038
2x7	97	-8.20	-1.53	0.1269
3x6	97	-8.10	-1.51	0.1318
5x10	97	-9.69	-0.85	0.3956
3x9	96	-6.14	-1.14	0.2530
8x9	94	-7.55	-1.41	0.1600

De acuerdo con la estructura genética del PSG/PP (Cuadro 8), para las 10 cruzas superiores se observó que en la mayoría de los casos, excepto para la 4 x 8 [(CML 244 x Col 6784) 4 x (HS2 X Col 6784) 4], en éstas participaron cuando menos una población de alta ACG. Las cuatro cruzas de mayor PSG/PP mostraron los efectos de ACG y ACE más altos. En el caso de la crusa 4 x 8 [(CML 244 x Col 6784) 4 x (HS2 X Col 6784) 4], participaron dos poblaciones con baja ACG, sus efectos fueron g_4 y g_8 negativos (-0.05 y -1.62), pero fueron compensados por los efectos de ACE altos y positivos de la crusa. También se observó que en las 10 cruzas de más bajo rendimiento, intervienen cuando menos una población de baja ACG y sus efectos de las cruzas son bajos y negativos.

En la estructura del valor genotípico (X_{ij}) de una crusa, pueden presentarse los siguientes casos: 1) Los efectos aditivos son los más importantes si se cumple la condicionante $(g_i + g_j) > s_{ij}$. Ejemplo: las cruzas 1 x 10 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6712)3] y 2 x 10 [(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6712)3], etc.; 2) La dominancia es la más importante si se cumple la condicionante $(g_i + g_j) < s_{ij}$. Ejemplo: las cruzas 2 x 8 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 X Col-6784) 4], 2 x 9 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4], 1 x 7 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6949) 5], y 3 x 10 [(HS2 X 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6712)3], etc.; y 3) Aditividad y dominancia son igualmente importantes si se cumple la condicionante $(g_i + g_j) = s_{ij}$. Ejemplo: las cruzas cercanas a la situación fueron: 2 x 6 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS 2 x Col-6780) 4] y 1 x 6 [(HS2 x Col-6712) 3 x (HS 2 x Col-6780) 4].

En las cruzas 1 x 10 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6712)3] y 2 x 10 [(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6712) 3] fueron más importantes los efectos aditivos, por lo que podrán manejarse como variedades mejoradas en generaciones avanzadas de apareamiento aleatorio. En las cruzas 2 x 8 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 X Col-6784) 4], 2 x 9 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4], 1 x 7 [(HS2 x Col 6712) 3 x (Promesa x Col-6949) 5] y 3 x 10 [(HS2 x 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col-6712)3] fueron más importantes los efectos de dominancia, por lo que se podrá hacer mejoramiento por hibridación. Con respecto a las cruzas 2 x 6 [(Promesa x Col-6948) 3 x (HS2 x Col-6780) 4] y 1 x 6 [(HS2 x Col-6712) 3 x (HS2 x Col-6780) 4], tanto los efectos aditivos como los de dominancia fueron importantes, por lo que sufrirán endogamia en grado intermedio en comparación con los otros dos casos.

Se puede inferir, pues, de la estructura genética de las cruzas que un programa de mejoramiento por hibridación tendrá éxito si las dos líneas o poblaciones de un híbrido son de alta ACG; condición que por sí misma asegura altos rendimientos; pero que además presenten un efecto positivo alto de ACE.

Cuadro 8. Estructura genética de las 45 cruzas simples posibles.

Cruzas	Xij	μ	Gi	gj	gi + gj	sij
2x8	127	106	2.55	-1.62	0.93	20.45
2x9	124	106	2.55	-2.12	0.44	18.36
1x7	122	106	2.41	-2.47	-0.06	16.28
3x10	119	106	-1.03	2.70	1.67	11.88
6x10	114	106	1.01	2.70	3.71	5.01
9x10	114	106	-2.12	2.70	0.58	7.80
2x3	113	106	2.55	-1.03	1.52	5.86
2x6	113	106	2.55	1.01	3.56	3.74
4x8	113	106	-0.05	-1.62	-1.68	8.97
1x6	113	106	2.41	1.01	3.42	3.55
1x5	112	106	2.41	-1.37	1.03	5.18
4x6	112	106	-0.05	1.01	0.96	5.18
8x10	111	106	-1.62	2.70	1.07	4.72
5x6	111	106	-1.37	1.01	-0.36	6.08
3x7	111	106	-1.03	-2.47	-3.50	9.05
6x8	111	106	1.01	-1.62	-0.61	6.08
1x10	111	106	2.41	2.70	5.10	-0.14
4x10	110	106	-0.05	2.70	2.64	2.15
1x4	110	106	2.41	-0.05	2.35	2.28
3x4	110	106	-1.03	-0.05	-1.08	5.30
4x9	109	106	-0.05	-2.12	-2.17	5.80
7x8	108	106	-2.47	-1.62	-4.09	6.56
2x10	108	106	2.55	2.70	5.25	-2.95
7x9	107	106	-2.47	-2.12	-4.58	6.22
2x4	107	106	2.55	-0.05	2.50	-1.20
1x2	105	106	2.41	2.55	4.96	-5.07
5x9	105	106	-1.37	-2.12	-3.49	2.79
1x3	104	106	2.41	-1.03	1.37	-3.16
3x8	103	106	-1.03	-1.62	-2.65	0.54
5x7	103	106	-1.37	-2.47	-3.84	1.72
4x5	102	106	-0.05	-1.37	-1.43	-1.69
4x7	102	106	-0.05	-2.47	-2.52	-0.60
6x7	102	106	1.01	-2.47	-1.46	-1.74
6x9	102	106	1.01	-2.12	-1.11	-2.68
3x5	101	106	-1.03	-1.37	-2.40	-2.13
1x9	101	106	2.41	-2.12	0.29	-4.99
1x8	100	106	2.41	-1.62	0.78	-6.40
5x8	100	106	-1.37	-1.62	-2.99	-2.96
2x5	99	106	2.55	-1.37	1.18	-7.71
7x10	98	106	-2.47	2.70	0.23	-8.26
2x7	97	106	2.55	-2.47	0.08	-8.20
3x6	97	106	-1.03	1.01	-0.02	-8.10
5x10	97	106	-1.37	2.70	1.32	-9.69
3x9	96	106	-1.03	-2.12	-3.15	-6.14
8x9	94	106	-1.62	-2.12	-3.74	-7.55

4.6 CONCLUSIONES

Las cruzas que mostraron los mayores efectos de ACE no siempre fueron las que tuvieron mayor peso seco de grano por planta (PSG/PP), como ocurrió en las siguientes cruzas (Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x Col-6784) 4 y (Promesa x Col-6949) 5 x (HS2 x 6° CSM S Alt) 4, las cuales mostraron efectos altos de ACE, pero no figuraron en los primeros sitios de PSG/PP.

Las cruzas con efectos bajos de ACE no siempre presentaron bajo PSG/PP, como en la crusa (HS2 x Col 6712) 3 x (Promesa x Col 6712) 3, que presentó alto PSG/PP (111 g) y un bajo efecto de ACE (-0.14), indicando ser una crusa específica buena porque al menos uno de sus padres fue de alta ACG.

Las cruzas simples de alto rendimiento fueron aquéllas en las que cuando menos uno de los progenitores fue de alta ACG y sus efectos de ACE fueron altos y positivos.

Las cruzas simples de bajo rendimiento fueron aquéllas en las que cuando menos uno de sus progenitores fue de baja ACG, y también ocurrieron entre los dos progenitores efectos de AGE negativos y de alto valor absoluto.

Finalmente, fue posible identificar variedades sobresalientes de partida para el mejoramiento genético del maíz en el Sureste del Estado de México, ya sea por selección o por hibridación.

4.7 LITERATURA CITADA

- Arce R A Ch (2009)** Evaluación de maíces nativos, mejorados y sus combinaciones en Juchitepec y Chapingo, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco Edo. de Méx. 117p
- Crossa J, S K Vasal, D L Beck (1990)** Combining ability estimates of CIMMYT' S tropical late yellow maize germoplasm. *Maydica* 35:273-278.
- De la Cruz L E, E. Gutiérrez del R, A Palomo G, S Rodríguez H (2003)** Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:279-284.
- De la O O M, J M Hernández C, G Esquivel E (2011)** Utilización de poblaciones nativas de maíz en el premejoramiento. *In: R E Preciado O, S Montes H (eds) Amplitud, aprovechamiento y riesgos de la diversidad genética de maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, Edo. de México. 274 p.*
- Díaz H C (1988)** Cruzas dialélicas parciales entre líneas de maíz de alto rendimiento del trópico y del Bajío. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México
- Escorcía G N, J D Molina G, F Castillo G, J A Mejía C. (2010)** Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:271-279.

Espinosa C A, J Ortiz C, A Ramírez F, N O Gómez M, A Martínez G (1988)

Estabilidad y comportamiento de líneas *per se* y cruzas de maíz en la producción de semilla. Agri. Téc Méx. 24:27-36.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel

crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.

Guillen de la C P, E de la Cruz L, G Castañon N, R Osorio O, N P Brito M, A

Lozano R, U López N (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10:101-107.

Gutiérrez del R E, A Palomo G, A Espinosa B, E de la Cruz L. (2002) Aptitud

combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera Rev. Fitotec. Mex. 25:271-277.

Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda Fo. (2010) Quantitative Genetics in Maize

Breeding. 3rd ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.

Herrera C B E, F Castillo G, R Ortega P, A Delgado A. (2013) Poblaciones superiores

de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de Méx. Rev. Fitotec. Mex. 36:33-43.

INEGI (2005) Anuario Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de

México.

- Márquez S F, L Sahagún C, J A Carrera V, E Barrera G (2000)** Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mexico. 55 p.
- Martínez G A (1988)** Análisis de los experimentos de Griffing usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos factoriales. Comunicaciones en Estadística y Cómputo. Colegio de Postgraduados. 7:1-82.
- Molina G J D (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Pub. Especial, 35 p.
- Ordas A (1991)** Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. Crop Sci. 31:504-507.
- Ortega P R (1985)** Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Versión resumida de la tesis en busca del grado de Ph. D. Leningrado, URSS.
- Ortega P R (2004)** Experiencias del proyecto milpa en maíz (*Zea mays* L.) en Chapingo –Amecameca, México en su primera etapa. *In*: Memoria del Simposio: Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogeneticos, Cali, Colombia. pp:90-162
- Ortega P R (2007)** Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de maíces criollos para Chalco-Amecameca. *In*: Sexto Congreso de la Asociación Mexicana de

Estudios Rurales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México.
pp:2-13

Ortega P R (2010) Hacia la conservación y mejoramiento *in situ* de la diversidad del maíz de México. *In:* J E Ibarra S (ed) Agricultura, Ciencia y Sociedad Rural 1810-2010. Recursos Naturales y Sociedad Sustentable. 1:223-252

Ortíz C J. (1993) El fitomejoramiento como disciplina científica. Ciencia (Número Especial) 85-94.

Preciado O R E, A D Terrón I, N O Gómez M, E I Robledo G (2005) Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. Agronomía Mesoamericana 16:145-151.

Puertas G M (1992) Genética Fundamentos y Perspectivas. McGraw-Hill. España. 741 p.

Reyes L D (2003) Estimadores de efectos y varianzas de aptitud combinatoria general y específica de la raza de maíz Tuxpeño. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx

Reyes L D, J D Molina G, M A Oropeza R, E C Moreno P (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz de la raza Tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27:49-56.

Rivera F H (1977) Efecto de la diversidad genética en la heterosis de cruas intervarietales de maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 98 p.

Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002) Cruas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. Rev. Fitotec. Mex. 25:107-115.

SAS Institute (2004) SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Sierra M M, R E Preciado O (1988). Análisis e interpretación de cruas dialélicas con germoplasma tropical precoz de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 11:92-102.

Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single – crosses of corn. J. Amer, Soc. Agron. 43:923-932.

Vacaro E J F, Barbosa N, D Girardi P, C Natalino N, L D Haa C (2002) Combining ability of twelve maize populations. Pesq. Agropec. Bras. 37:67-72.

Zhang Y, M S Kang, K R Lamkey (2005) DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart Analyses. Agron. J. 97:1097-1106.

V. DISCUSIÓN GENERAL

La importancia de este trabajo se debe a que incorpora materiales genéticos sobresalientes obtenidas a partir de algunos trabajos de investigación como: Moreno (1998), Herrera (1999), Romero (2002), y Arce (2009). De estos estudios se obtuvieron poblaciones nativas sobresalientes en rendimiento y características agronómica como: Col-5610, Col-6712, Col-6779, Col-6780, Col-6784, Col-6948 y Col-6949. Además de algunas de estas poblaciones nativas Arce (2009) detectó algunas poblaciones y retrocruzas sobresalientes como: [Población (Col-6780 x HS2) 3, en rendimiento; Pob. (Col-6712 x HS2), resistente al acame; Pob. (Promesa x Col-6948) 3, resistente al acame)], Retrocruza (Col-6784 x Promesa) 2 x Col-6784) 2, en rendimiento, retrocruza (Col-6780 x Promesa) 2 x Col-6780, en rendimiento, retrocruza (Promesa x Col-6779) 3 x Col-6779, en acame entre otras.

Dentro de los trabajos que se vienen realizando a partir de 1995 y por lo menos hasta 2009 en el proyecto titulado “Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de los maíces criollos del sureste del Estado de México”, el propósito central de esta tesis de investigación fue contribuir a la detección de variedades adecuadas de partida para el mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y blanco cremoso para el Sureste del Estado de México, así como de definir el método de mejoramiento genético a seguir con las mismas.

En esta tesis se analizan y discuten los datos obtenidos en 2007 de las localidades de Chapingo, Juchitepec, Santa Maria Huexoculco y Ozumba, todas estas del Estado de México.

Si bien el 2007 fue un año de muchos contraste meteorológicos (en una localidad de prueba hubo déficit de lluvias al inicio del ciclo agrícola, en las cuatro localidades de prueba se presentaron lluvias abundantes con vientos fuertes en la segunda mitad del ciclo agrícola) que afectaron considerablemente el rendimiento y características agronómicas de algunos materiales genéticos; a pesar de ello, en la esta investigación se lograron identificar individualmente y en agrupación materiales sobresalientes, más adelante se discuten y analizan con más detalle estos resultados.

5.1 Discusión del primer estudio con los 110 materiales genéticos evaluados

Con base a los análisis de varianza combinados y en la comparación de medias para materiales agrupados por localidades y en forma individual, se encontró que en la mayoría de las variables se detectó significancia por lo que al menos un grupo, localidad o material genético es diferente a los demás.

Las poblaciones nativas (colectas), en promedio de ambientes, presentaron valores bajos para la mayoría de los componentes de rendimiento y del rendimiento mismo, también manifestaron características agronómicas no deseables, entre ellas arquetipos altos en planta y mazorca, con alta susceptibilidad al acame y alto porcentaje de humedad de grano a la cosecha, carácter relacionado al ciclo del cultivo, estos resultados coinciden por lo mencionado por algunos autores entre ellos Ortega (2007b) quien menciona que las poblaciones nativas poseen una adaptación específica a su ambiente de cultivo, y que cuando estas poblaciones se cultivan fuera de su ambiente de adaptación presentan baja capacidad de rendimiento, así como, muchas características indeseables, como: asincronía en la floración, plantas muy altas y por lo

tanto alta susceptibilidad al acame, enfermedades, gran cantidad de hijuelos, alta esterilidad femenina, plantas y mazorcas fuera de tipo producto de cruzas y mezclas de variedades de los agricultores vecinos.

En comparación con las poblaciones nativas, las poblaciones producto del premejoramiento, así como sus cruzas presentaron mejores componentes de rendimiento, mejor rendimiento de peso seco de grano por planta (PSG/PP), tuvieron menos altura de planta y mazorca, y presentaron menor acame y fueron más precoces. Entre estas están las siguientes: Población. (Col- 302 Blanco x Híbrido San José), con 125 gr, en rendimiento); Pob. (Col-6780 x Sint 2BP) 4, con 115 gr en rendimiento; Pob. (Col-5610 x Promesa) 3, con 2.30 m en APL; Cruza [(HS2 x Col-6784) 3 x (Promesa x Col-6948) 3]; con 127 gr, en rendimiento; Cruza [(6° CSM S Alt x HS2) 3 x (Promesa x Col-6948) 3], con 124 gr, en rendimiento; Cruza [(Col-6712 x HS2) 3 x (Col-5610 x Promesa) 2] con 2.33 m en altura de planta y 1.33 m altura de mazorca; Cruza [(Col-6784 x CML 244) 4 x (Col-6712 x HS2) 3], con 17.1 % de acame. Esto indica que en el programa de mejoramiento de estos maíces se ha avanzado en aumentar el rendimiento y sus componentes, así como en la mejora de caracteres agronómicos.

Las retrocruzas presentaron valores intermedios en rendimiento entre ellas están: [(Col-6780 x HS2) 2 x Col-6780] 3 con 115 gr, [(Promesa 2 x Col-6715) x 6715] 2 con 110 gr, y (Col-6784 x CML 244) 3 x Col-6784 con 110 gr. Estas cruzas son atractivas como material de partida para el mejoramiento genético; sin embargo, hace falta avanzarlas en cuanto a generaciones de recombinación (como se puede observar

algunas de las probadas están en primera generación), mejorar sus características agronómicas por algún método de mejoramiento y volverlas a evaluar.

En conjunto y en promedio de ambientes, los maíces mejorados mostraron valores intermedios en rendimiento, presentaron buenas características de planta pero no de mazorca, y presentaron componentes del rendimiento bajos. Los resultados encontrados de los maíces mejorados agrupados es atribuido al “Efecto genético” de especialización a las condiciones de los campos experimentales, según Muñoz *et al.* (1976); esto obedece a que los maíces mejorados que son destinados para la región sureste del estado de México, se han formado en los campos experimentales de Instituciones de agronomía del área de Texcoco (INIFAP, Chapingo, Colegio de Postgraduados, CIMMYT), en condiciones favorables de riego, altas dosis de fertilizantes y suelos profundos (Ortega 2007a). Este tipo de mejoramiento centralizado no ha funcionado para la región sureste del Estado de México y en general para el país, debido a que la mayoría de los agricultores realizan una agricultura de temporal minifundista con suelos poco fértiles y someros; además de los pocos apoyos gubernamentales destinados al campo mexicano. Sin embargo, estas aseveraciones se ponen en discusión al encontrar dos híbridos (HS2 y Niebla) que sobresalen con los más altos rendimientos con 133 gr y 127 gr. Esto se debió probablemente a que el 2007 fue un año muy lluvioso lo que permitió que estos híbridos expresaran su mayor potencial de rendimiento y agronómico.

Finalmente, Arce (2009) evaluó por rendimiento y características agronómicas 56 materiales genéticos donde participaron poblaciones nativas, poblaciones en

generaciones avanzadas de recombinación, maíces mejorados y retrocruzas hacia poblaciones nativas. En sus resultados encontró que en conjunto las poblaciones nativas presentaron altos rendimiento y buenas características agronómicas en su lugar de origen y que los maíces mejorados presentaron altos rendimiento en Chapingo, región que pertenece al área de influencia de los campos experimentales y donde se han desarrollado la mayoría de los materiales mejorados para Valles Altos. En cuanto a las retrocruzas presentaron rendimientos medios, algunos componentes del rendimiento sobresalientes como: volumen de 100 granos y peso de 100 gramos; pero muy malas características en planta. A diferencia de Arce (2009), en este trabajo además de las poblaciones nativas, también maíces mejorados, poblaciones en generaciones avanzadas de recombinaciones y retrocruzas, se identificaron conjuntamente y de forma individual con buenas características agronómicas y con altos rendimientos, así como de sus componentes. Los maíces mejorados en conjunto presentaron rendimiento medio y buenas características en planta, pero no en mazorca; sin embargo individualmente se identificaron dos Híbridos (HS3 y el Niebla) que figuraron como las más sobresalientes en rendimiento.

5.2 Discusión del Segundo Estudio (el dialélico)

El análisis de varianza combinado detectó significancia en Localidades, Repeticiones (dentro de localidades), Cruzas y en la ACE; sin embargo, no hubo significancia en la ACG. La no significancia encontrada en la ACG puede atribuirse a una baja acumulación aditiva de genes para el rendimiento en los cruzamientos con predominio de las poblaciones con expresión de sobredominancia; es decir, que los efectos de

dominancia (ACE) fueron de mayor expresión en el rendimiento e indica la importancia de la acción génica por dominancia, sobre los efectos aditivos. La significancia encontrada en la ACE muestra la existencia de cruzamientos específicos de un alto valor sobredominante de algunas poblaciones que pueden ser utilizados para la formación de híbridos. Al respecto, De la Cruz (2010) menciona que cuando en una población los efectos de acción génica aditiva son más importantes que los efectos de acción génica no aditiva, se recomienda mejorar la población por selección recurrente, por el contrario, si los efectos de acción génica no aditiva son los más importantes, la población debe mejorarse por hibridación.

En las cruzas de mayor rendimiento se encontró que interviene en ellas tres poblaciones, Población (Promesa x Col-6712) 3, Pob. (HS2 x Col-6780) 4 y (Promesa x Col-6948) 3. En la formación de estas poblaciones participaron las poblaciones nativas originales Col-6948, Col-6780, Col-6712 con un origen divergente, lo que explica los altos rendimientos encontrados. Al respecto Romero (2002) señala que la diversidad genética de Chalqueño entre grupos genéticos regionales y entre poblaciones dentro de grupos, aunada a la importante varianza entre individuos dentro de las poblaciones nativas, sugieren la variabilidad de seguir distintas estrategias de mejoramiento genético para la raza y dada la disimilitud entre grupos genéticos regionales es posible también aprovechar la varianza de dominancia mediante la heterosis que expresan las cruzas intervarietales e inclusive con la formación de híbridos entre líneas derivadas de poblaciones nativas de Chalqueño de alta heterosis interracial.

Las cruzas con los mayores efectos de ACE no siempre fueron las que tuvieron mayor rendimiento como ocurrió con las cruzas (Promesa x Col 6949) 5 x (HS2 X Col

6784) 4 y (Promesa x Col 6949) 5 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4, las cuales mostraron efectos altos de ACE, pero no figuraron en los primeros sitios de PSG/PP. Por otra parte, las cruzas con efectos bajos de ACE no siempre presentaron bajo rendimientos, como en la craza (HS2 x Col 6712) 3 x (Promesa x Col 6712) 3, que presentó alto PSG/PP (111 g) y un bajo efecto de ACE (-0.14), indicando ser una craza específica buena porque al menos uno de sus padres fue de alta ACG.

Las cruzas simples de alto rendimiento fueron aquéllas en las que cuando menos uno de los progenitores fue de alta ACG y sus efectos de ACE fueron altos y positivos. En contraparte, las cruzas simples de bajo rendimiento fueron aquéllas en las que cuando menos uno de sus progenitores fue de baja ACG, y también ocurrieron entre los dos progenitores efectos de AGE negativos y de alto valor absoluto. Resultados que coinciden con Reyes et al. (2004) y Escorcia et al. (2010)

Finalmente, fue posible identificar materiales genéticos sobresalientes de partida para el mejoramiento genético del maíz en el Sureste del Estado de México, ya sea por selección o por hibridación. Entre las cruzas que destacan son las siguientes: 1x10 [(HS2 x Col-6712) 3 x (Promesa x Col-6712)3] y 2x10 [(Promesa x Col-6948) 3 x (Promesa x Col-6712)3], se podrán mejorar como generaciones avanzadas de apareamiento aleatorio. Las cruzas 2x8 [(Promesa x Col 6948) 3 x (HS2 X Col 6784) 4], 2x9 [(Promesa x Col 6948) 3 x (HS2 x 6º CSM S Alt) 4], 1x7 [(HS2 x Col 6712) 3 x (Promesa x Col 6949) 5] y 3x10 [(HS2 X 1er CSM E Hdz) 4 x (Promesa x Col 6712)3], que podrán mejorarse por hibridación. Por último, las cruzas 2x6 [(Promesa x Col 6948) 3 x (HS 2 x Col 6780) 4] y 1x6 [(HS2 x Col 6712) 3 x (HS 2 x Col 6780) 4] en grado intermedio por selección recurrente o por hibridación.

VI. LITERATURA CITADA EN: REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL, RESUMEN GENERAL Y DISCUSIÓN GENERAL

Antuna G O, F R Sánchez, E G del Rió, N A R Torres, L B García (2003)

Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26:11-17.

Arce R A Ch (2009) Evaluación de maíces nativos, mejorados y sus combinaciones en

Juchitepec y Chapingo, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco Edo. de Méx. 117p

Bruce A B (1910) The Mendelian theory of heredity on the augmentation of vigor. Crop

Sci. 32:677-682.

Burrow M D and J G Coors (1994) DIALLEL: A microcomputer program for the

simulation and analysis of diallel crosses. Agron. J. 86:154–158.

Caballero H F (1986) Estudio Genético y taxonómico de poblaciones de la raza de

maíz Tuxpeño. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Caballero H F, T Cervantes S (1990) Estudio genético y taxonómico de poblaciones

de maíz de la raza Tuxpeño. Agrociencia serie Fitotecnia 1 (2): 43-64.

Covarrubias C R (1960) Cruzas intervarietales, una gran posibilidad para los

programas de mejoramiento del maíz en Latinoamérica. *In*: 6^a. Reunión centroamericana del PCCMM. Managua Nicaragua. pp. 11-13.

Davenport C (1908) Degeneration albinism and inbreeding. Science 28:454-455.

Davis R L (1927) Report of the plant breeder. Rep. Puerto Rico, Agric. Exp. Stn. Rep. 14-15.

De la Cruz L E, G Castañon N, N P Brito M, A Gómez V, V Robledo T, A J Lozano del Rio (2010) Heterosis y aptitud combinatória de poblaciones de maíz tropical. *PHYTON* 79:11-17.

De la Cruz L, J R Parra, J L Díaz, J J S González, M M Rivera, M C Bonapartes, S A H de la Peña, S M Munguía (2003) Heterosis y aptitude combinatorial entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:1-10.

De la Loma J L (1982) Genética General y Aplicada. 3ª Edición UTHEA. México, D. F. pp407-418.

De la O O M, J M Hernández C, G Esquivel E (2011) Utilización de poblaciones nativas de maíz en el premejoramiento. *In: R E Preciado O, S Montes H (eds) Amplitud, aprovechamiento y riesgos de la diversidad genética de maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, Estado de México. 274 p.*

East E M (1908) Inbreeding in corn. Connecticut Agric. Exp. Stn. Rep. pp. 419-428.

Escorcía G N, J D Molina G, F Castillo G, J A Mejía C (2010) Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:271-279.

Falconer D S and T F C Mackay (1996) Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman, Essex, England. 464 p.

Fehr W R (1987) Principles of Cultivar Development. Vol 1. Capítulo 8.

Gómez M N, R B Valdivia, y A H Mejia (1988) Dialélico integrado com líneas de diferente programa de maíz para la región calida. Rev. Fitotec. Mex. 11:103-120.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.

Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda Fo. (2010) Quantitative Genetics in Maize Breeding. 3rd ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.

Hayman B I (1954) The theory and analysis of diallel crosses. Genetics 39:789-809.

Herrera C B E (1999) Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 141 p

Hinkelman K (1976) Diseños dialélicos y cruzas múltiples: ¿Qué información se obtiene de ellos? Traducido del Ingles por F Castillo G., de E Pollak, O Kempthorne, and T B Bailey Jr. (eds.) Proceedings of the International Conference on Quantitative Genetics, August 16-21.(1976). Iowa St. Univ. Press. pp 659-676.

Jenkins M T and A M Brunson (1932) Methods of testing inbred lines of maize in cross bred combinations. J Am. Soc. Agron. 24:523-530.

- Kempthorne O (1956)** The theory of the diallel cross. *Genetics* 41(4): 451-459.
- Magari R and M S Kang (1994)** Interactive BASIC program for Griffing's diallel analyses. *J. Hered.* 85:336.
- Márquez S F, L Sagún C, J A Carrera V, E Barrera G (2000)** Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Mexico. 55 p.
- Martínez G A (1988a)** Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento MATRIZ de SAS. *Comunicaciones en Estadísticas y Cómputo.* 7(1):1-32.
- Martínez G A (1988b)** Análisis de los experimentos dialélicos usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos dialélicos. *Comunicaciones en Estadísticas y Cómputo.* 7(2):1-35.
- Martínez G A (1991)** Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento IML de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Cómputo.* 10(2):1-36.
- Miranda Filho J B (1999)** Inbreeding depression and heterosis. *In. The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops.* J. G. Coors, and S. Pandey (eds.) ASA. CSSA. CIMMYT. Madison, WI. USA. PP:69-80.
- Molina G J D (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Publicación Especial, 35 p.

- Molina G J D (1992)** Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor, S. A. México, D. F. 349 p.
- Moncada P, Martínez C P, Borrero J, Chatel M, Gauch H Jr, Guimaraes E, Thohme J, McCouch Sr (2001)** Qualitative trait loci (QTL) for yield and yield components in an *Oryza sativa* x *Oryza rufipogon* BC2F2 population evaluated in an upland environment. Theor. Appl. Genet. 102:41-52.
- Morales R M M, J Ron p, J J Sánchez G, J L Ramírez D, L Cruz L, S Mena m, S Hurtado P (2007)** Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. Rev. Fitotec. Mex. 30:285-294.
- Moreno F V. (1998)** Selección masal visual estratificada en cinco criollos de maíz en la región Chalco-Amecameca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México. 111 p
- Muñoz O A, A Carballo C y V A González (1976)** Mejoramiento de maíz en el CIAMEC. Análisis y reenfoque del programa. En Memoria del Sexto Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey, N. L., México. pp. 124 - 129.
- Nass L L (2001)** utilização de recursos genéticos vegetais no melhoramento. *In:* Recursos Genéticos e Melhoramento. Fundação MT. Rondonópolis, chap. 2, p. 29-56. .

- Nass L L and Paterniani E (2001)** Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agrícola* 57:581-587.
- Ortega P R (2000)** Proyecto de conservación in situ y mejoramiento participativo en maíz en México. *Revista Geografía Agrícolas*. No. 31: 97 - 108.
- Ortega P R (2004)** Experiencias del Proyecto “Milpa” en maíz (*Zea mays* L.) en Chapingo –Amecameca, México en su Primera Etapa. *In: Memoria del Simposio: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. pp:90-162.
- Ortega P R (2007a)** Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de maíces criollos para Chalco-Amecameca. *In: Sexto Congreso de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México. pp:2-13.
- Ortega P R (2007b)** Mejoramiento participativo por retrocruza limitada de maíces criollos para Chalco-Amecameca. *In: Memorias de la Segunda Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Uso de los maíces criollos*, Uruapan, Michoacán, México. p 26.
- Ortega P R (2010)** Hacia la conservación y mejoramiento *in situ* de la diversidad del maíz de México. *In: J E Ibarra S (ed) Agricultura, Ciencia y sociedad rural 1810-2010*. Recursos naturales y sociedad sustentable. 1:223-252.
- Ortiz J. (1993)** El fitomejoramiento como disciplina científica. *Ciencia (Número Especial)* 85-94.

Poehlman J M and D Allen S (2003) Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa S.A. De C.V. 2 da. Edición. 511 p

Reyes L D (2003) Estimadores de efectos y varianzas de aptitud combinatoria general y específica de la raza de maíz Tuxpeño. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.

Reyes L D, J D Molina G, M A Oropeza R, E C Moreno P (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz de la raza Tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27:49-56.

Rivera F C H (1977) Efectos de la divergencia genética en la heterosis de cruas intervarietales de maíz. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo México.

Romero P J. (2002) Diversidad genética y heterosis en cruas de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño en los Valles Altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad en Genética.

Sánchez G J J, M Goodman M, C Stuber W (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Economic Botany 54:43-59.

Schaffer H E and R A Usanis (1989) General least squares analysis of diallel experiments: A computer program. Genetics Dep. Res. Rep.1 North Carolina State University, Raleigh, USA.

- Schmidt, J. (1919)** La valeur de l'individu á titre de générateur app ci e suivant la méthode du croisement diall le. Compt. Rend. Lab. Carlsberg, 14(633).
- Shull G H (1908)** The composition of a field of maize. Am. Bred Assoc. Rep. 4:296-301.
- Sprague G F, L A Tatum (1942)** General vs specific combining ability in single – crosses of corn. J. Amer, Soc. Agron. 43:923-932.
- Vavilov N I (1993)** México como centro básico de origen de las plantas cultivadas del Nuevo Mundo. Traducido al español por Grivoskaya E. y R. Ortega P. Revista de Geografía Agrícola No 20: 15 - 34.
- Vega U y A. Bejarano (1975)** Estudio de la capacidad combinatoria en líneas de maíz (*Zea mays L.*) a través de cruzamiento dialélicos. Agron. Trop. 25(3): 419-434.
- Zhang Y and M S Kang (1997)** DIALLEL-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. Agron. J. 89:176–182.

VII APÉNDICE

Cuadro 1. Poblaciones nativas (colectas) que intervienen en la formación de los materiales genéticos.

Clave	Nombre común	Color de grano	Localidad de producción	Altitud (msnm)	Nombre del (los) colector (es)	Posible raza	Año de colecta
Col-5610		Crema	Desconocido dentro del estado de Puebla		Dr. Abel Muñoz Orozco	Cónico	1995
Col-6487 (6 CSM Santos Alt)	Blanco criollo	Blanco	Cocotitlan, Mpio. de Chalco, Edo. de México.	2240	Dr. Rafael Ortega Paczka y Dr. Fernando Castillo González	Chalqueño	1994
Col-6712	Criollo (posible generación avanzada de H-129)	Crema	Santa María Huexoculco, Mpio. de Chalco, Edo. de México.	2260 a 2300	Dr. Rafael Ortega Paczka y Valdemar Ballesteros	Chalqueño	1996
Col-6779	Amarillo	70 % amarillo y 30 % blanco	Tepecoculco, Mpio de Atlautla, Edo. de México.	2200	Dr. Rafael Ortega Paczka y Dr. Fernando Castillo González	Chalqueño	1997
Col-6780	Blanco	Crema	La Candelaria Tlapala, Mpio. de Chalco, Edo de México.	2240	Dr. Rafael Ortega Paczka y Dr. Fernando Castillo González	Chalqueño	1997
Col-6781 (1º er CSM E Hdz)	Criollo	Blanco	La Candelaria Tlapala, Mpio. de Chalco, Edo de México.	2240	Dr. Rafael Ortega Paczka y Dr. Fernando Castillo González	Chalqueño	
Col-6784	Criollo	Crema	La Candelaria Tlapala, Mpio. de Chalco, Edo de México.	2240	Dr. Rafael Ortega Paczka y Dr. Fernando Castillo González	Chalqueño	1997
Col-6948	Chalco	Crema	Bellas Fuertes, Mpio. de Coeneo, Edo de Michoacán.	2000	Dr. Rafael Ortega Paczka y MC. Jorge Romero Peñaloza	Chalqueño	1998
Col-6949	Chalco	Crema	Cortijo Viejo, Mpio. de Coeneo, Edo de Michoacán.	2000	Dr. Rafael Ortega Paczka y MC. Jorge Romero Peñaloza	Chalqueño	1998

Cuadro 2. Comparación de medias agrupadas por tipos de materiales, para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.

PSG/PP		APL		ALMZ		PACRZ		PHD		LMZ		DMZ		NH		PCGR	
TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA	TM	MEDIA
4	106.800 A	1	2.680 A	1	1.683 A	1	51.042 A	5	20.588 A	5	15.816 A	5	5.699 A	4	16.760 A	4	16.761 A
3	101.037 AB	5	2.626 A	5	1.574 B	5	45.337 A	1	20.250 A	3	15.687 A	4	5.569 B	5	16.621 AB	5	16.622 AB
5	98.058 BC	4	2.557 B	3	1.488 C	3	37.633 B	3	19.266 B	4	15.651 AB	1	5.552 B	3	16.424ABC	3	16.424 ABC
2	94.185 C	3	2.546 B	4	1.485 C	4	36.163 B	4	19.146 B	2	15.596 AB	3	5.501 B	1	16.217 BC	1	16.217 BC
DMS	6.601	DMS	0.057	DMS	0.048	DMS	5.864	DMS	0.606	DMS	0.389	DMS	0.120	DMS	0.541	DMS	1.529

TM 1:Colecta, TM 2:Variedades mejoradas, TM 3:Poblaciones, TM 4:Cruzas de poblaciones y TM 5:Retrocruzas. Peso seco de grano por planta PSG/PP, Altura de planta:ALPL, Altura de mazorca:ALMZ, Porcentaje de acame de raíz:PACRZ, Porcentaje de humedad:PHD, Longitud de mazorca:LMZ, Diámetro de mazorca :DMZ, Numero de hileras:NH y peso de cien granos:PCGR. Materiales con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey (0.05)

Cuadro 3. Comparación de medias por localidades, para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.

PSG/PP		APL		ALMZ		PACRZ		PHD		LMZ		DMZ		NH		PCGR	
LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA	LOC	MEDIA
2	141.130 A	1	2.812 A	1	1.708 A	4	65.924 A	4	23.167 A	2	16.719 A	2	5.843 A	3	16.897 A	2	48.473 A
3	104.827 B	3	2.678 B	3	1.647 B	3	57.419 B	2	18.972 B	3	16.065 B	1	5.483 B	1	16.668 AB	3	42.567 B
1	96.102 C	4	2.370 C	4	1.415 C	1	23.721 C	1	18.590 C	1	15.672 C	3	5.469 B	2	16.563 B	4	41.255 C
4	60.821 D	2	2.367 C	2	1.236 D	2	5.381 D	3	16.925 D	4	14.028 D	4	5.321 C	4	16.080 C	1	40.821 C
DMS	3.941	DMS	0.033	DMS	0.027	DMS	3.779	DMS	0.356	DMS	0.240	DMS	0.067	DMS	0.250	DMS	0.918

Localidad 1:Chapingo, Localidad 2:Juchitepec, Localidad 3: Santa María Huexoculco y Localidad 4: Ozumba. Peso seco de grano por planta PSG/PP, Altura de planta: ALPL, Altura de mazorca: ALMZ, Porcentaje de acame de raíz (PACRZ), Porcentaje de humedad de grano: PHD, Longitud de mazorca: LMZ, Diámetro de mazorca: DMZ, Número de hileras: NH y peso de cien granos: PCG. Localidades con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey (0.05)

Cuadro 4. Comparación de medias individuales de los 110 materiales genéticos (10 más altos y 5 más bajos), para las variables peso seco de grano por planta, componentes del rendimiento y características agronómicas.

PSG/PP		APL		ALMZ		PACRZ		PHD		LMZ		DMZ		NH		PCGR	
VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA
105	132.750 A	60	3.045 A	23	2.015 A	8	68.838 A	101	22.917 A	107	18.292 A	30	6.343 A	23	19.750 A	101	52.167 A
107	127.250 AB	23	2.970 AB	60	1.978 AB	37	61.701 AB	37	22.675 AB	97	17.111 AB	60	6.242 AB	53	19.708 A	70	52.167 A
28	126.917 AB	77	2.763 ABC	100	1.783 ABC	101	60.641 AB	86	22.167ABC	79	16.907 ABC	51	6.202 ABC	51	19.458 AB	77	51.167 AB
97	124.500 ABC	63	2.758 ABC	77	1.747 CDE	100	59.859 AB	60	22.108 ABCD	88	16.854ABCD	85	6.152 ABCD	61	19.208 ABC	9	50.333 ABC
27	124.333 ABC	99	2.757 ABC	78	1.736 CDE	95	58.362 ABC	51	21.775 ABCDE	99	16.677 ABCDE	86	6.098 ABCDE	25	19.167 ABC	68	50.000 ABCD
17	121.750 ABCD	78	2.755 ABC	51	1.713 CDEF	91	56.246 ABCD	82	21.333 ABCDEF	78	16.578 ABCDEF	24	6.027 ABCDEF	24	19.083 ABCD	8	49.417 ABCDE
36	119.083 ABCDE	8	2.740 BCD	99	1.703 CDEFG	79	56.172 ABCD	79	21.333 ABCDEF	109	16.544 ABCDEF	82	6.020 ABCDEFG	87	19.000 ABCDE	35	49.250 ABCDEF
9	116.689 ABCDEF	100	2.730 BCDE	95	1.677 CDEFGH	1	54.954 ABCDE	77	21.258 ABCDEFG	77	16.519 ABCDEF	87	6.000 ABCDEFGH	85	18.958 ABCDE	79	48.333 ABCDEF
5	115.917 ABCDEFG	51	2.726 BCDEF	40	1.675 CDEFGHI	51	54.273 ABCDEF	99	21.233 ABCDEFG	9	16.470 ABCDEF	53	6.962 ABCDEFGHI	60	18.875 ABCDEF	49	47.750 ABCDEFGH
75	115.417 ABCDEFG	53	2.720 BCDEF					27	21.183 ABCDEFG	87	16.408 ABCDEFG	37	5.931 ABCDEFGHIJ	37	18.833 ABCDEF	46	47.667 ABCDEFGH
PSG/PP		APL		ALMZ		PACRZ		PHD		LMZ		DMZ		NH		PCGR	
VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA	VAR	MEDIA
8	74.833 LMNOP	109	2.194 NOPQR	109	1.154 YZABC	102	18.485 GHIJK	32	17.517 JKLMN	70	14.533 FGHIJ	40	5.086 WXYZ	110	13.983 VWXY	104	35.500 PQRS
103	72.083 MNOP	106	2.163 OPGR	106	1.136 ZABC	21	17.070 HIJK	109	17.100 KLMN	101	14.337 GHIJ	104	5.044 XYZ	90	13.875 WXY	23	34.583 QRS
100	70.750 NOP	98	2.158 PQR	98	1.118 ABC	106	16.327 IJK	50	16.850 LMN	37	14.060 HIJ	1	5.00 YZA	8	13.750 XY	109	34.000 RS
101	65.250 OP	110	2.083 RQ	110	1.110 BC	107	13.889 JK	98	16.792 MN	1	13.303 IJ	109	4.830 ZA	89	13.708 XY	103	30.167 ST
110	58.333 P	103	2.024 R	103	0.955 C	110	4.367 K	1	15.050 N	103	13.274 J	110	4.433 A	40	13.583 Y	110	25.083 T

Peso seco de grano por planta:PSG/PP, Altura de planta:ALPL, Altura de mazorca:ALMZ, Porcentaje de acame de raíz:PACRZ, Porcentaje de humedad:PHD, Longitud de mazorca:LMZ, Diámetro de mazorca:DMZ, Numero de hileras:NH y peso de cien granos: PCGR. Materiales genéticos con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey (0.05)

Cuadro 5. Resumen de los 110 materiales genéticos

MATERIALES GENÉTICOS	PSGPPL (g ⁻¹)	ALMZ (m)	ALPL (m)	PACRZ (%)	PHD (%)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	PCGR (g)	NH
1	75	1.31	2.25	46.05	15.05	13.30	5.00	41.25	14.5
2	100	1.36	2.30	32.87	17.73	15.00	5.30	42.33	15.0
3	102	1.39	2.42	39.62	18.35	15.33	5.41	45.58	15.6
4	111	1.33	2.33	40.81	18.67	15.91	5.38	45.83	15.4
5	116	1.41	2.50	31.73	19.63	15.15	5.55	43.17	16.4
6	91	1.54	2.52	36.58	17.63	15.13	5.53	39.67	16.8
7	106	1.52	2.54	22.53	18.72	15.10	5.55	43.33	16.9
8	75	1.67	2.74	65.12	20.33	15.43	5.27	49.42	13.8
9	117	1.34	2.44	46.18	20.03	16.47	5.51	50.33	15.0
10	101	1.43	2.54	31.76	18.88	16.19	5.58	44.83	16.2
11	106	1.39	2.44	24.81	18.73	15.24	5.51	47.25	16.0
12	102	1.38	2.38	40.12	17.83	15.57	5.43	47.33	15.2
13	91	1.65	2.62	37.16	18.50	15.39	5.58	45.42	15.3
14	107	1.40	2.52	32.63	19.53	16.02	5.37	44.17	15.8
15	113	1.56	2.56	25.92	18.92	15.77	5.54	42.08	17.3
16	105	1.52	2.54	21.53	18.99	15.43	5.60	41.17	17.0
17	122	1.47	2.59	15.12	20.03	15.92	5.80	39.83	18.2
18	104	1.42	2.52	14.48	18.65	15.14	5.23	44.67	15.3
19	101	1.51	2.62	30.72	21.12	15.23	5.24	43.08	16.3
20	100	1.48	2.54	27.49	20.42	15.63	5.47	40.83	17.2
21	110	1.38	2.51	11.09	18.13	15.72	5.36	44.00	15.9
22	111	1.50	2.56	31.41	18.75	15.99	5.21	41.83	15.1
23	78	2.02	2.97	30.02	19.10	14.90	5.92	34.58	19.8
24	99	1.63	2.66	16.67	19.30	14.91	6.03	39.75	19.0
25	97	1.58	2.52	20.51	18.80	16.06	5.91	39.42	19.2
26	113	1.52	2.61	30.51	17.68	16.26	5.86	43.92	18.1
27	124	1.59	2.61	19.56	21.18	16.26	5.76	43.75	17.3
28	127	1.64	2.68	10.10	19.32	15.92	5.82	41.17	18.0
29	107	1.35	2.54	15.38	19.60	15.96	5.66	45.75	17.3
30	108	1.49	2.57	18.65	19.60	15.39	6.34	41.67	18.6
31	96	1.53	2.57	26.54	20.40	16.24	5.24	42.67	15.2
32	97	1.36	2.51	27.78	17.52	15.26	5.38	43.58	17.2
33	96	1.55	2.65	25.92	20.29	15.55	5.28	44.17	16.3
34	103	1.44	2.57	34.25	18.51	14.75	5.22	42.50	16.3
35	110	1.32	2.46	27.08	18.88	15.62	5.61	49.25	15.7
36	119	1.53	2.57	38.48	18.18	15.44	5.41	43.67	15.9
37	85	1.60	2.51	53.38	22.68	14.06	5.93	42.17	18.8
38	92	1.42	2.49	25.72	20.56	15.34	5.60	47.17	15.9
39	110	1.56	2.65	28.16	20.12	15.38	5.58	44.00	16.2
40	106	1.68	2.70	34.08	19.52	16.05	5.09	47.00	13.6
41	107	1.35	2.41	22.02	18.27	15.16	5.28	45.00	14.6
42	112	1.36	2.44	31.71	18.37	15.00	5.22	44.00	14.8
43	111	1.55	2.64	18.24	19.16	15.67	5.73	46.92	16.4
44	99	1.56	2.57	13.54	19.22	15.36	5.70	41.67	17.5
45	103	1.54	2.57	22.01	19.99	15.82	5.56	42.75	17.0
46	101	1.41	2.46	25.17	18.14	15.10	5.43	47.67	15.3
47	105	1.59	2.63	37.44	20.04	15.78	5.42	46.75	15.3
48	100	1.40	2.50	16.04	18.98	15.54	5.42	44.08	16.4
49	102	1.43	2.54	13.19	19.44	15.60	5.41	47.75	15.1
50	97	1.45	2.44	29.71	16.85	14.91	5.34	44.83	16.3
51	95	1.71	2.73	42.92	21.78	15.23	6.20	43.42	19.5
52	99	1.67	2.72	44.58	19.78	16.26	5.70	41.50	18.2
53	113	1.67	2.72	28.53	19.29	15.91	5.96	39.83	19.7
54	102	1.58	2.70	33.87	20.15	15.85	5.78	39.50	18.5
55	97	1.51	2.56	26.05	19.98	15.44	5.73	43.50	17.9
56	102	1.53	2.66	34.46	20.58	15.67	5.61	42.00	17.0
57	111	1.50	2.61	24.70	18.78	15.71	5.67	42.50	18.0
58	112	1.58	2.64	27.53	20.54	16.22	5.85	44.25	17.7
59	114	1.59	2.60	35.25	19.23	15.49	5.79	41.42	18.5
60	85	1.98	3.05	24.66	22.11	15.33	6.24	42.67	18.9
61	90	1.50	2.53	23.05	19.16	16.01	5.88	39.67	19.2
62	111	1.44	2.56	15.64	17.57	15.88	5.61	43.42	16.8
63	107	1.57	2.76	24.80	18.68	15.87	5.78	43.50	18.3
64	108	1.56	2.69	17.63	19.49	15.98	5.70	38.83	18.1
65	102	1.51	2.56	21.33	18.80	16.10	5.76	44.17	17.4
66	98	1.55	2.51	40.92	17.93	15.31	5.68	41.00	18.0
67	87	1.46	2.57	13.92	18.99	15.97	5.39	41.42	16.8
68	113	1.49	2.62	16.04	19.19	16.31	5.75	50.00	16.3
69	111	1.39	2.48	30.44	18.87	16.14	5.72	43.33	17.6
70	81	1.55	2.60	34.43	20.32	14.53	5.35	52.17	14.1
71	92	1.46	2.56	17.13	20.76	15.24	5.40	45.00	15.2
72	94	1.50	2.65	31.72	19.94	15.67	5.31	43.67	16.5
73	109	1.55	2.68	23.37	20.48	15.48	5.37	43.83	15.7
74	114	1.36	2.41	13.31	18.33	16.00	5.32	44.83	15.2
75	115	1.51	2.51	33.44	19.73	15.98	5.65	41.25	17.2
76	87	1.51	2.61	34.32	21.18	15.68	5.71	45.42	15.6

MATERIALES GENÉTICOS	PSGPPL (g ⁻¹)	ALMZ (m)	ALPL (m)	PACRZ (%)	PHD (%)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	PCGR (g)	NH
77	84	1.75	2.76	40.92	21.26	16.52	5.58	51.17	14.9
78	96	1.74	2.76	33.02	21.06	16.58	5.63	46.08	16.0
79	110	1.59	2.59	53.23	21.33	16.90	5.69	48.33	15.4
80	105	1.59	2.62	33.60	20.12	15.51	5.69	46.33	16.7
81	104	1.43	2.55	27.13	19.16	14.98	5.48	44.83	16.7
82	110	1.56	2.64	37.62	21.33	15.77	6.02	46.25	18.1
83	105	1.52	2.59	31.78	20.17	15.58	5.80	43.83	17.8
84	106	1.46	2.45	30.98	17.95	14.85	5.40	41.25	16.4
85	115	1.58	2.72	34.34	20.58	16.19	6.15	45.58	19.0
86	90	1.56	2.63	39.64	22.17	15.49	6.10	46.92	17.8
87	93	1.60	2.69	23.22	21.02	16.41	6.00	43.67	19.0
88	111	1.60	2.69	27.20	19.52	16.85	5.20	46.25	14.0
89	103	1.53	2.59	25.66	20.43	15.69	5.17	46.50	13.7
90	86	1.48	2.54	35.37	19.49	15.81	5.10	44.92	13.9
91	84	1.58	2.53	46.66	19.76	14.94	5.40	44.33	15.3
92	93	1.61	2.60	47.81	20.13	15.42	5.52	47.42	16.0
93	94	1.52	2.58	43.63	20.20	15.22	5.45	44.25	15.9
94	93	1.43	2.50	28.85	19.41	15.50	5.35	45.42	16.4
95	76	1.68	2.67	51.70	18.10	16.01	5.41	41.08	16.7
96	96	1.58	2.62	42.68	18.28	15.74	5.46	41.85	16.5
97	125	1.59	2.59	30.02	19.33	17.11	5.39	39.25	16.4
98	76	1.12	2.16	14.43	16.79	15.36	5.11	37.08	14.4
99	102	1.70	2.76	36.54	21.23	16.68	5.60	43.92	17.3
100	71	1.78	2.73	53.15	20.45	15.21	5.39	43.25	16.0
101	65	1.65	2.55	49.74	22.92	14.34	5.49	52.17	14.9
102	95	1.27	2.34	7.42	18.52	15.53	5.15	36.67	17.2
103	72	0.96	2.02	16.88	18.93	13.27	5.09	30.17	17.2
104	88	1.42	2.45	17.75	18.43	14.59	5.04	35.50	16.8
105	133	1.44	2.56	22.82	18.53	15.89	5.17	39.50	16.6
106	109	1.14	2.16	8.99	17.85	15.69	5.39	38.58	16.3
107	127	1.37	2.50	5.74	18.22	18.29	5.26	38.25	16.0
108	98	1.54	2.63	31.30	19.92	16.10	5.80	43.92	17.5
109	90	1.15	2.19	7.90	17.10	16.54	4.83	34.00	15.5
110	58	1.11	2.08	3.04	19.90	15.19	4.43	25.08	14.0

Peso seco de grano por planta:PSG/PP, Altura de planta:ALPL, Altura de mazorca:ALMZ, Porcentaje de acame de raíz:PACRZ, Porcentaje de humedad:PHD, Longitud de mazorca:LMZ, Diámetro de mazorca:DMZ, peso de cien granos: PCGR y Numero de hileras:NH.