

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

DIVERSIDAD GENÉTICA Y POTENCIAL DE POBLACIONES CRIOLLAS
DE MAÍZ DEL CENTRO-SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO

JOSÉ AGAPITO PECINA MARTÍNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2008

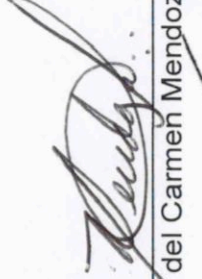
La presente tesis titulada **DIVERSIDAD GENÉTICA Y POTENCIAL DE POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ DEL CENTRO-SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO** realizada por el alumno **JOSÉ AGAPITO PECINA MARTÍNEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

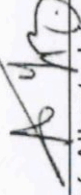
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo

ASESOR



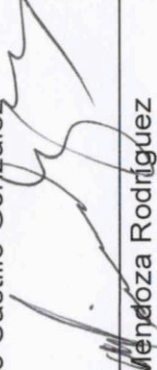
Dr. José Alberto López Santillán

ASESOR



Dr. Fernando Castillo González

ASESOR



Dr. Moisés Mendoza Rodríguez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2008

DIVERSIDAD GENÉTICA Y POTENCIAL DE POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ DEL CENTRO-SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO

José Agapito Pecina Martínez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Se ha demostrado el potencial que tienen las poblaciones criollas de maíz de Tamaulipas; sin embargo, éstas no se han aprovechado eficientemente, debido al escaso trabajo de investigación, especialmente en mejoramiento genético realizado en el Estado. Por lo tanto, es necesario preservar y explorar aún más la diversidad genética y seguir generando conocimiento que permita definir estrategias y acciones para evitar su erosión y su posible contaminación con maíces transgénicos que se introduzcan al país. Con base en lo anterior, desde el 2001, en la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas se implementó un programa de rescate, conservación y manejo de germoplasma criollo de maíz. De más de 250 poblaciones colectadas y evaluadas, se seleccionaron para este trabajo 29, representativas de cuatro zonas ecológicas del centro-sur del Estado. Se estudió su comportamiento fenológico y morfológico, así como su potencial productivo en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura: Trópico Seco (TS), Transición (TRN) y Valles Altos (VA). Entre estos grupos se encontró alta diversidad genética en todos los ambientes, lo que pone de manifiesto que en el Estado de Tamaulipas, México, actualmente se cuenta con germoplasma criollo en poder de los agricultores, que posee alto potencial para su aprovechamiento en programas de mejoramiento; todas las poblaciones de la zona montañosa (1860 msnm) presentaron rendimiento alto y una mejor adaptación a las condiciones de los ambientes de Transición y Valles Altos de México; las demás, provenientes de la parte baja del Estado, fueron más afectadas por los ambientes de TRN y VA, presentando menor precocidad, mayor asincronía de las floraciones, mayor altura y número de hojas por planta; también expresaron características favorables como olotos delgados, mazorcas largas y altos índices de proliferación (hasta 71 %); atributos que pueden ser aprovechados tanto regionalmente como en otros ambientes de México. Las variables como días a floración, altura de planta y número de hojas, mostraron ser buenos indicadores de los efectos del ambiente.

Palabras clave: maíz criollo de Tamaulipas, diversidad genética, aprovechamiento de la diversidad, mejoramiento de maíz, indicadores de respuesta ambiental.

GENETIC DIVERSITY AND POTENTIAL OF MAIZE LANDRACES FROM THE CENTER-SOUTH OF TAMAULIPAS, MEXICO

José Agapito Pecina Martínez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008

The breeding potential of landrace populations from Tamaulipas has been demonstrated in several studies; however these have not been efficiently used, due to the scarce research, mainly on genetic breeding of this species in the last 20 years carried out in the Tamaulipas state. Based on this, it is necessary to preserve, study and explore even more, the genetic diversity and continue generating knowledge that permits to define strategies and actions to prevent their erosion and potential contamination with foreign and transgenic germplasm. With base on what it was already mentioned, since 2001, a program for rescue, preservation and study of maize germplasm was established in the University of Tamaulipas at the Department of Agronomy. From more than 250 populations collected and evaluated, 29 of them were selected to carry out this study, these populations were representative of four ecological zones in the central-south part of the Tamaulipas state. The phenological and morphological behavior as well as the productive potential of these populations was study in three contrasting environments, which varying mainly in altitude, longitude, and temperature: dry tropic (TS), transition (TRN), and high plateaus (VA). Among the groups, it was found high genetic diversity in all the environments. This is an evidence that the native germplasm hold by farmers in the State of Tamaulipas, Mexico has a huge potential for breeding purposes. All populations from the mountainous zone (1860 masl) had high yield and a better adaptation at the transition and Mexican valley conditions; the rest of populations from the lower part of the state, were more affected by the TRN and VA environments, having less earliness, more flower asynchrony, more height and number of leaves per plant; also expressed favorable characters such as thin earcobs, long ears and high prolificacy indexes which reached 71 %. Traits like flowering period, plant high and leaves number per plant, were detected as good indicators of environmental effects.

Key words: landraces of maize from Tamaulipas, genetic diversity, use of the diversity, maize breeding, environmental response indicators.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA E HIJA:

BETSY Y DIAN

Que son los amores de mi vida, y el motivo de superación por el que luché día con día, por su apoyo moral y el amor que me brindan.

A MIS PADRES:

Juan José Pesina Jiménez

Rita Martínez Cerda (†)

Que son lo más importante y sagrado en mi vida, por haberme apoyado y dado su confianza, dedicación y cariño.

A MIS HERMANOS:

Juan Enrique Pesina Martínez

Jesús Alejandro Pecina Martínez

Laura Cecilia Pesina Martínez

Esperando que el cariño que hoy nos une, se multiplique diariamente y permanezca por siempre a todos con sincero cariño y agradecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para realizar mi programa de estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, por la formación que me dio en el IREGEP en especial el área de Genética.

A la Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, por sus valiosos consejos en la conducción de este trabajo, pero sobre todo por su confianza, dedicación y esfuerzo para sacar adelante esta investigación.

Al Dr. José Alberto López Santillán, por sus comentarios y aporte en el desarrollo de la investigación, así como por el manejo del experimento de Tamaulipas.

Al Dr. Fernando Castillo González por sus comentarios y apoyo estadístico que permitió darle relevancia a los datos obtenidos en esta investigación.

Al Dr. Moisés Mendoza Rodríguez, por sus comentarios y experiencia compartida en el campo. Por el apoyo brindado para llevar a cabo la investigación en el estado de Hidalgo.

Le agradezco al Dr. Joaquín Ortiz Cereceres, por el apoyo brindado, sus comentarios y sugerencias.

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron en mi formación profesional...

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN GENERAL	ii
GENERAL SUMMARY	iii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivo General	5
1.1.1. Objetivos específicos	6
1.2. Hipótesis	7
CAPÍTULO II. INDICADORES FENOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS DE RESPUESTA AL AMBIENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO DE TAMAULIPAS, MÉXICO	8
2.1. Resumen	8
2.2. Introducción	9
2.3. Materiales y Métodos	10
2.4. Resultados y Discusión	12
2.5. Conclusiones	21
2.6. Bibliografía	22
CAPITULO III. EFECTO DE TIPOS DE POLINIZACIÓN, LIBRE Y CONTROLADA, SOBRE LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN POBLACIONES CRIOLLAS Y MEJORADAS DE MAÍZ	25
3.1. Resumen	25
3.2. Introducción	26
3.3. Materiales y Métodos	27
3.4. Resultados y Discusión	28
3.5. Conclusiones	31
3.6. Bibliografía	32
CAPITULO IV. RENDIMIENTO DE GRANO Y SUS COMPONENTES EN POBLACIONES CRIOLLAS DE MAIZ DE TAMAULIPAS BAJO AMBIENTES CONTRASTANTES	33
4.1. Resumen	33
4.2. Introducción	34

4.3. Materiales y Métodos	35
4.4. Resultados y Discusión	37
4.5. Conclusiones	46
4.6. Bibliografía	47
CAPITULO V. AGRUPAMIENTO DE POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ DE TAMAULIPAS POR ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	49
5.1. Resumen	49
5.2. Introducción	50
5.3. Materiales y Métodos	50
5.4. Resultados y Discusión	52
5.5. Conclusiones	65
5.6. Bibliografía	65
CAPITULO VI. DISCUSIÓN GENERAL	67
CAPITULO VII. CONCLUSIONES GENERALES	71
CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFÍA DE INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
2.1	Características ecológicas del área de origen de poblaciones criollas de maíz de Tamaulipas, México evaluadas en ambientes contrastantes durante 2006.....	11
2.2	Cuadros medios del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de grupos de poblaciones de maíz evaluadas en tres ambientes durante 2006.....	13
2.3	Valores medios para grupos de poblaciones en cada ambiente en variables morfológicas y fenológicas durante 2006.....	14
2.4	Cuadros medios del análisis de varianza combinado para características de la mazorca en grupos de poblaciones de maíz evaluadas durante 2006.....	19
2.5	Valores medios de componentes del rendimiento de los seis grupos de poblaciones en los tres ambientes de estudio durante 2006.....	20
3.1	Características de mazorca en grupos de poblaciones de maíz, al evaluar su polinización controlada en los Valles Altos Centrales de México.....	29
4.1	Poblaciones criollas de Tamaulipas y mejoradas de maíz, evaluadas en tres ambientes contrastantes de altitud, latitud y temperatura durante 2006.....	36
4.2	Cuadros medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en ambientes contrastantes durante el 2006.....	38
4.3	Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en tres ambientes durante el 2006.....	39
4.4	Rendimiento de grano y sus componentes de grupos de poblaciones criollas y mejoradas de maíz evaluadas en tres ambientes contrastantes durante el 2006.....	40
4.5	Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones criollas y mejoradas de maíz, evaluadas en Montecillo, Edo. de México 2006.....	43

5.1	Poblaciones criollas de Tamaulipas y mejoradas de maíz, evaluadas en tres ambientes contrastantes, durante 2006.....	51
5.2	Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluadas en el ambiente del Trópico Seco.....	53
5.3	Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluadas en el ambiente de Transición.....	56
5.4	Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluadas en el ambiente de Valles Altos.....	59
5.5	Vectores y valores característicos del análisis de componentes principales para diferentes grupos de poblaciones criollas y mejoradas de maíz desarrolladas en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Pág.
2.1	Dinámica de crecimiento de nueve entrenudos de seis grupos de poblaciones de maíz con distinto origen ecológico (g ₁ , g ₂ , g ₃ , g ₄ , g ₅ y g ₆) cultivados en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura: TS (Trópico Seco), TRN (Transición) y VA (Valles Altos); la barra negra representa el entrenudo superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras mayúsculas indican diferencias entre ambientes y las minúsculas, diferencias entre grupos dentro del ambiente, prueba Tukey $\alpha \leq 0.05$	17
3.1	Número de granos potenciales (GPot) y de granos totales por mazorca (GMz) bajo tres tipos de polinización en grupos de poblaciones de maíz originarias de diferentes regiones ecológicas de Tamaulipas y Valles Altos.....	30
5.1	Dispersión de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales, en el ambiente del Trópico Seco.....	54
5.2	Dispersión de 16 variables medidas en el plano determinado por los dos primeros componentes principales ($C_1 = 37.2\%$ y $C_2 = 19.1$).....	55
5.3	Agrupamiento de las poblaciones en base a los dos primeros componentes principales en el ambiente de Transición (Mixquiahuala, Hgo.). El número corresponde al grupo por origen geográfico de la población.....	57
5.4	Dispersión de las variables originales sobre los ejes de los dos primeros componentes principales en el ambiente de transición.....	58
5.5	Dispersión de poblaciones de maíz con base en los dos primeros componentes principales en el ambiente de Valles Altos.....	60
5.6	Correlaciones de las variables evaluadas con los dos primeros componentes principales en Valles Altos.....	61
5.7	Dispersión de poblaciones originarias de Tamaulipas sobre el plano de los dos primeros componentes principales; promedio de los tres ambientes de evaluación, 2006.....	63

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es uno de los cultivos de mayor distribución en el mundo (Dowswell *et al.*, 1996; Fritcher, 1997), ocupa el tercer lugar en producción y es el cultivo que se siembra en más países. Se reconoce a México como el centro de origen y domesticación del maíz y como resultado de la expansión de la especie hacia la mayoría de los agroecosistemas, se ha diversificado en un gran número de razas (Vavilov, 1951). Otro móvil para la diversificación ha sido la amplitud de formas de utilización de esta gramínea, ya sea para el consumo humano, como forraje, en la industria, etc. El maíz ha sido el cereal básico en la alimentación del pueblo mexicano, siendo en nuestro país donde se presenta el mayor consumo *per capita* del mundo (Jugenheimer, 1981; Ortega *et al.*, 1991).

Aun cuando se cuenta con una amplia variabilidad genética en la diversidad del maíz mexicano (Ortega *et al.*, 1991; Sánchez *et al.*, 2000), su utilización en programas de mejoramiento se ha limitado a una pequeña proporción de las razas y dentro de ellas, a unas cuantas poblaciones en cada región agrícola (Molina, 1990). Se han derivado genotipos de la raza Tuxpeño en el trópico húmedo, de las razas Celaya, Bolita y Cónico Norteño en el Bajío, y de Chalqueño y Cónico en los Valles Altos, lo cual indica que el aprovechamiento de la variación genética para la obtención de variedades e híbridos de alta productividad ha ocurrido en mayor proporción con germoplasma de áreas ecológicas similares; sin embargo, para atributos especiales, bajo ambientes de estrés o para condiciones ecológicas específicas, en ocasiones no se satisfacen los requerimientos con estos materiales mejorados, de tal forma que rinden igual o son superados por las poblaciones criollas locales (Castillo, 1994).

Dada la dinámica de distribución de germoplasma de maíz en nuestro país, ya sea a través de instituciones de investigación o por los campesinos que mueven semilla a distancias considerables, es posible favorecer el aprovechamiento de la diversidad tanto en la propia región como en otras áreas ecológicas. Sin embargo, del

germoplasma de maíz existente en áreas tan distantes como la Península de Baja California, la región montañosa del estado de Tamaulipas, Tabasco y el Norte de Chiapas, su diversidad en varias de estas áreas está escasamente estudiada, y existen riesgos de pérdida o degradación de esas poblaciones criollas (Ortega *et al.*, 1991); un peligro adicional es la contaminación con materiales transgénicos, de los cuales se insiste en su ingreso a México, y en la búsqueda de su legalización se ha propuesto su siembra en los estados de Tamaulipas, Sinaloa y Sonora, bajo el argumento de que no existen maíces criollos en tales áreas, lo cual es totalmente falso. La introducción de los maíces transgénicos a México se pretende hacer bajo el respaldo de la Ley de Bioseguridad (DOF, 2005) y el Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (DOF, 2008). Por lo tanto, la exploración, colecta, estudio y aprovechamiento de las poblaciones criollas mexicanas permite conocer, mejorar y conservar la diversidad con la que se dispone en las comunidades rurales de México, detectar fuentes de germoplasma que sean base para el mejoramiento genético y realizar estudios biológicos que generen conocimiento básico del cultivo.

En el Noreste de México, y en particular en el Estado de Tamaulipas, se corre un grave riesgo de pérdida de la diversidad genética del maíz criollo, y la necesidad de preservarlo se hace más urgente en los últimos años, determinada principalmente por la promoción del uso de variedades genéticamente modificadas y por el desplazamiento del maíz por otros cultivos como el sorgo.

A partir de la variabilidad genética de dicha región se han generado variedades mejoradas desde mediados del siglo pasado, mismas que han sido reconocidas por su alto potencial de rendimiento y otras características agronómicas, entre ellas destacan las variedades Carmen, San Juan y Llera II (Ortega y Barajas, 1994) las cuales se dejaron de sembrar o se han obtenido otras versiones como es el caso del Llera III; la erosión de estos materiales se debe principalmente por la falta de atención de los campesinos al seleccionar su semilla; en algunos estudios se señalan poblaciones sobresalientes de colectas realizadas en el Estado, las cuales se encuentran en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas

y Pecuarias (INIFAP) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), algunas colectas son Tam 65 y Tam 129 (Ortega *et al.*, 1991); Salhuana y Sevilla (1995) utilizaron en evaluaciones en diferentes localidades y con diferentes probadores las colectas Tam 103, Tam 125, Tam 129, Tam 146 y Tam 30; Montenegro *et al.* (2002) utilizó esas mismas poblaciones con sustitución de la Tam 30 por la Tam 131 para evaluar su potencial genético y aptitud combinatoria, sobresaliendo Tam 131 por su alto rendimiento y buena aptitud combinatoria; sin embargo, a pesar de que se ha demostrado el potencial que tienen las poblaciones criollas de Tamaulipas, se ha dejado de aprovechar este tipo de germoplasma, por la falta de continuidad en el escaso trabajo de investigación y mejoramiento genético que se ha realizado en tal entidad, sobre todo en los últimos 20 años (Reyes y Cantú, 2006). Por lo cual, es importante aprovechar y conservar y aún explorar y colectar la variabilidad genética del Estado, para generar tecnología para México, mediante el estudio de posible adaptación a nuevos ambientes para un mejor entendimiento y proyección del aprovechamiento de esa riqueza existente en el área de Tamaulipas.

Basado en lo anterior y acorde a la necesidad de conocer y aprovechar al máximo los recursos fitogenéticos del estado de Tamaulipas y contribuir al conocimiento de la diversidad del maíz en México, en 2001, se implementó un programa de rescate, conservación y manejo de germoplasma de maíz por parte de la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, el cual inició con la exploración, colecta y evaluación, para aprovechar en lo posible, los atributos de las poblaciones que mantienen los campesinos del Estado, con énfasis en la región centro-suroeste, incluyendo a la Sierra Madre Oriental (con altitudes hasta de 1860 msnm). Se han colectado más de 250 poblaciones, de las cuales, para realizar este trabajo se seleccionaron 29 representativas de cuatro zonas ecológicas del Estado, éstas fueron sobresalientes en: rendimiento de grano, longitud de mazorca, granos por hilera y peso individual de grano, además de mostrar un ciclo intermedio, en evaluaciones realizadas en ambientes de Tamaulipas y de los Valles Altos Centrales de México.

Se reconoce que la siembra de una variedad de maíz en una área ecológica diferente a la de su origen por lo general provoca cambios fenológicos y morfológicos que pudieran ser agronómicamente indeseables. Esta dificultad en la utilización del germoplasma exótico se da por la falta de adaptación a condiciones ecológicas diferentes a las de su origen, pero también se aumenta la diversidad genética existente del cultivo en áreas específicas (Goodman, 1985), por lo que se intenta mediante mejoramiento genético, modificar las poblaciones, por ejemplo a las que se les hayan incorporado los caracteres deseables de otras fuentes (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000).

1.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento fenológico y morfológico, así como el potencial productivo (rendimiento de grano y sus componentes), de poblaciones criollas colectadas en diferentes zonas ecológicas del Estado de Tamaulipas, cuando son desarrolladas en ambientes contrastantes de altitud, latitud y temperatura.

1.1.1 Objetivos Específicos

Determinar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en grupos de poblaciones criollas de maíz provenientes de cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas y en dos grupos de poblaciones mejoradas, uno del mismo Estado y el otro de los Valles Altos Centrales de México, al crecer en ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura.

Evaluar el efecto de la polinización libre y controlada, sobre los componentes del rendimiento de grano en poblaciones criollas de maíz de cuatro regiones ecológicas de Tamaulipas, bajo las condiciones de los Valles Altos Centrales de México.

Cuantificar los cambios en el rendimiento y sus componentes, en grupos de poblaciones criollas de maíz originarias de Tamaulipas, al ser evaluadas en ambientes contrastantes.

Detectar poblaciones que pudieran ser utilizadas como fuentes de genes para aumentar la diversidad genética y mejorar algunas características agronómicas para las regiones agrícolas del estado de Tamaulipas así como para las de los Valles Altos Centrales de México.

1.2 Hipótesis General

El germoplasma de maíz criollo recientemente colectado en la zona centro-sur de Tamaulipas, al ser desarrollado en condiciones ambientales de altitud, latitud y temperatura diferentes a las de su origen ecológico, presentan cambios en su comportamiento fenológico, morfológico y de rendimiento, lo que permitirá detectar variabilidad genética y de ella, identificar poblaciones sobresalientes que sirvan de material genético básico para apoyar programas de mejoramiento genético tanto en el Estado de Tamaulipas como en otras regiones maiceras de México.

CAPITULO II
INDICADORES FENOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS DE RESPUESTA AL
AMBIENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ CRIOLLO DE TAMAULIPAS, MÉXICO

2.1. RESUMEN

Introducir germoplasma de maíz a un ambiente particular permite aumentar la diversidad genética existente; aunque estas poblaciones pueden presentar atributos fenológicos y morfológicos indeseables, como consecuencia de su desadaptación, lo cual puede ser agrónomicamente desfavorable. El objetivo del presente trabajo fue determinar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en grupos de poblaciones de maíz, al crecer en ambientes contrastantes de altitud, latitud y temperatura. En tres ambientes: Trópico Seco (TS), Transición (TRN) y Valles Altos (VA), se evaluaron cuatro grupos de poblaciones criollas de Tamaulipas y dos grupos de materiales mejorados. Se determinaron las variables fenológicas días a floración masculina y femenina, asincronía floral y longitud de entrenudos y las morfológicas, altura de planta, número de hojas, granos potenciales, hileras por mazorca, granos por hilera, granos totales y peso individual de grano. Al cambiar de ambiente, los grupos de poblaciones de Tamaulipas mostraron una alta variabilidad e interacción con los ambientes en las variables estudiadas. En los ambientes TRN y VA se tuvo la mejor expresión para la mayoría de las variables; en TS todos los grupos se comportaron desfavorablemente. El grupo 4 (de la Zona Montañosa del Suroeste de Tamaulipas) en TRN y VA igualó a las poblaciones provenientes de los Valles Altos Centrales de México; los grupos de la parte baja de Tamaulipas fueron los más afectados al cambiar de ambiente, ya que fueron más tardíos y asincrónicos, tuvieron plantas de mayor altura y con mayor número de hojas. Los días a floración masculina y femenina, longitud de entrenudos, granos totales por mazorca, número de hojas totales y altura de planta mostraron cambios importantes en los ambientes de evaluación, por lo que estas variables podrían ser consideradas indicadores de respuesta de efectos ambientales sobre las poblaciones introducidas.

Palabras clave: *Zea mays L.*, poblaciones criollas de Tamaulipas, indicadores de respuesta de efectos ambientales.

2.2. INTRODUCCIÓN

El maíz se originó y domesticó en México; su diversificación en numerosas razas es testimonio de su amplia distribución (Vavilov, 1951); presenta una amplia variabilidad genética expresada en una gran cantidad de poblaciones (Sánchez *et al.*, 2000), las cuales 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.

En el país existen bancos de germoplasma de maíz con una amplia representación de la diversidad existente; sin embargo, regiones como Baja California, Tabasco, el norte de Chiapas y la zona montañosa de Tamaulipas, han sido escasamente exploradas, y que pueden estar sujetas a riesgos de erosión e incluso pérdida de diversidad (Ortega *et al.*, 1991). La contaminación con material transgénico pudiera representar otro riesgo (Quist y Chapela, 2001). En el caso particular de Tamaulipas, el germoplasma nativo conservado por los agricultores ha sido reconocido por su alto potencial de rendimiento y otras características agronómicas sobresalientes; sin embargo, es poco el trabajo de investigación y mejoramiento genético que se ha realizado con este germoplasma en los últimos 20 años (Reyes y Cantú, 2006).

La introducción de germoplasma de maíz exótico a un ambiente particular permite incrementar la diversidad genética del cultivo (Goodman, 1985); sin embargo, esto por lo general provoca cambios fenológicos y morfológicos, algunos de los cuales pueden ser agronómicamente indeseables, pero mediante el mejoramiento genético es posible obtener nuevas poblaciones a las que se les haya modificado los caracteres a niveles deseables en los maíces introducidos (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en grupos de poblaciones de maíz provenientes de cuatro regiones ecológicas de Tamaulipas y en dos grupos de poblaciones mejoradas,

uno del mismo Estado y el otro de los Valles Altos Centrales de México, al crecer en ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

En 2001, en la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), se implementó un programa de conservación y manejo de germoplasma de maíz criollo del Estado, iniciando con la exploración, colección y evaluación, con énfasis en la región centro-sur que incluye la zona montañosa del Suroeste del Estado, con altitudes hasta de 1860 msnm. Se han colectado más de 250 poblaciones, de las cuales se seleccionaron para este trabajo 29 poblaciones criollas clasificadas por su origen ecológico en cuatro grupos: grupo 1 = Zona Centro, clima cálido subhúmedo; grupo 2 = Zona del ex IV Distrito, clima semicálido seco; grupo 3 = Zona de la Huasteca, clima cálido húmedo y grupo 4 = Zona Montañosa del Suroeste del Estado, clima templado seco (Cuadro 2.1) (Vargas *et al.* 2007); además, se incorporaron otros dos grupos integrados por variedades mejoradas: el grupo 5, por dos variedades del estado de Tamaulipas y el grupo 6, por cuatro variedades de los Valles Altos Centrales de México, formados en la Universidad Autónoma Chapingo.

Durante 2006, en el ciclo de siembra primavera-verano, se establecieron tres ensayos, en ambientes contrastantes por altitud, latitud y temperatura, identificados y manejados de la siguiente manera: I) Trópico Seco (TS): se sembró el 9 de marzo, en la Posta Zootécnica “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en el municipio de Güémez, Tam., ubicado geográficamente a los 23° 56’ latitud norte y 99° 06’ longitud oeste, con altitud de 200 msnm y clima (A) Ca (wo) (e) w’’ (García, 1987), con temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación media anual de 800 mm; II) Transición (TRN): con fecha de siembra el 27 de marzo, en terrenos del Consejo de Desarrollo “Cinta Larga” del municipio de Mixquiahuala, Hgo., localizado en las coordenadas geográficas 20° 14’ de latitud norte y 99° 12’ de longitud oeste, con temperatura media anual de 17 °C y precipitación media anual de 509 mm, por su altitud de 2050 msnm se considera zona de transición, posee un clima B Sl kw (i’) gw’’

Cuadro 2.1. Características ecológicas del área de origen de poblaciones criollas de maíz de Tamaulipas, México evaluadas en ambientes contrastantes durante 2006.

No. de Grupo	No. de poblaciones	Municipios	Temperatura media anual (°C)	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)
1	4	Padilla	24.2	658	150
		Hidalgo	23.0	940	330
2	7	Tula	20.0	396	1040
3	8	Llera	23.1	952	300
		Gómez Farías	23.4	1845	920
		Ocampo	23.2	1515	350
4	10	Bustamante	17.1	474	1540
		Miquihuana	18.2	399	1860

(García, 1987); y III) Valles Altos (VA): se sembró el 11 de mayo, en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, Edo. de México, ubicado a los 19° 29' latitud norte y 98°53' longitud oeste, con una altitud de 2250 msnm y un clima Cb (wo) (w) (i') g (García, 1987), con temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente.

En los tres ambientes la siembra fue manual, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió de dos surcos, de 0.80 m. de ancho. Se sembraron dos semillas por mata, a una distancia de 0.25 m, para dejar una planta y establecer una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹. En Güémez, Tam., y Mixquiahuala, Hgo., se aplicó un riego de presiembra, y en Montecillo, Méx., se sembró en suelo seco y se dio el riego inmediatamente después de sembrar. El cultivo se mantuvo sin restricción de humedad mediante la aplicación de riegos de auxilio. Se realizaron dos aporques y se fertilizó con una dosis de 80-60-00; el control de maleza e insectos se hizo siguiendo las recomendaciones para maíz en cada ambiente.

Las variables registradas en todos los ambientes se clasificaron en dos tipos: a) fenológicas: días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), contados desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la parcela iniciaban la liberación del polen, y exposición de estigmas, respectivamente; asincronía floral (AsF) como la diferencia entre DFM y DFF; longitud de entrenudos, a través de muestreos desde la iniciación de la inflorescencia femenina (en VA), durante el desarrollo de la misma (VA y TRN), y floración-llenado de grano (en los tres ambientes); se midió la longitud de nueve entrenudos consecutivos del tallo, en sentido acrópeto, asignándose en todos los grupos el número siete al nudo inmediato superior a la inserción de la mazorca principal, y b) morfológicas: altura de planta (AP), en cm, en cinco plantas por repetición, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera; número de hojas totales (HJT) en tres plantas por repetición; número de granos potenciales (GPt), se contó el número de florecillas formadas en tres inflorescencias femeninas por repetición; número de hileras por mazorca (HMz) determinadas en cinco mazorcas en cada repetición; número de granos por hilera (GH) determinados en las mazorcas usadas para HMz; número de granos totales por mazorca (GTt) se obtuvo multiplicando HMz x GH; y peso individual de grano (PIG) se tomó como el promedio del peso de 100 granos por repetición.

El análisis de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS versión 6 (SAS, 1995), realizando análisis de varianza por ambiente y combinado a través de ambientes para los grupos de poblaciones; para determinar la diferencia se uso la prueba de medias de Tukey ($\alpha_{0.05}$), y análisis gráficos.

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron diferencias estadísticas altamente significativas entre ambientes y entre grupos de poblaciones para AP, HJT, DFM y DFF, pero no para AsF, que sólo presentó diferencias entre grupos. La interacción ambientes x grupos de poblaciones también mostró diferencias significativas para todas las variables (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de grupos de poblaciones de maíz evaluadas en tres ambientes durante 2006.

FV	GL	AP	HJT	DFM	DFE	AsF
Ambientes	2	254852**	538**	19865**	18829**	18ns
rep(amb)	6	612	1	8	25	7
Grupos	5	6891**	112**	2111**	2410**	7**
Pobs(gpos)	29	2611**	4*	76**	100**	3ns
Ambxgpos	10	541**	23**	344**	573**	19**
Ambxpobs(gpos)	58	277**	4*	9**	13**	2ns
Error	204	157	1	2	3	2

***, * significativo con $\alpha \leq 0.01$ y ≤ 0.05 , respectivamente, ns = no significativo; FV = factor de variación, GL = grados de libertad; AP = altura de planta; HJT = número de hojas totales; DFM = días a floración, masculina; DFE = días a floración femenina; AsF = asincronía floral.

En promedio, se presentó menor AP en el ambiente TS, mientras que en TRN y VA fueron semejantes. Considerando la AP en todos los grupos de poblaciones, en los tres ambientes, el grupo 3 fue estadísticamente superior, y mostró un incremento de 88 cm de altura en VA con respecto a lo expresado en TS (Cuadro 2.3). Los grupos de poblaciones originarias de Tamaulipas incrementaron significativamente la AP al ir cambiando de ambiente de menor a mayor altitud, pero menor temperatura; al respecto, se ha reconocido que los materiales tropicales al ser evaluados en los Valles Altos Centrales de México, ya sea *per se* o en cruza con materiales locales, muestran mayor altura de planta y de mazorca (Carrera y Cervantes, 2002; Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000), lo cual agrónomicamente puede ser indeseable debido a la alta correlación entre esta variable y el acame de las plantas, problema generalizado en las poblaciones nativas, pero en poblaciones donde no presentan esa problemática pueden utilizarse para la producción de forraje.

La variable HJT varió entre ambientes; en TS se expresó el menor número y fue en TRN en donde la mayoría de los grupos tuvieron más hojas, excepto los grupos 3 y 5 que presentaron valores similares en TRN y VA. Los grupos de poblaciones tropicales (1, 2, 3 y 5) presentaron mayor HJT que el de los Valles Altos Centrales de México

Cuadro 2.3. Valores medios para grupos de poblaciones en cada ambiente en variables morfológicas y fenológicas durante 2006.

Ambiente	Grupo	AP (cm)	HJT	DFM	DFF	AsF
TS	1	140.3 b	17.3 ab	67.5 d	69.9 c	2.4 a
TS	2	139.2 b	17.1 ab	69.7 c	72.3 b	2.6 a
TS	3	156.6 a	17.8 a	73.7 a	77.3 a	3.6 ab
TS	4	143.6 ab	16.4 b	67.2 d	71.7 b	4.6 b
TS	5	140.8 b	16.2 b	68.7 c	71.5 bc	2.8 a
TS	6	130.8 b	17.8 a	71.6 b	78.3 a	6.7 c
	DSH	15.6	1.1	1.0	1.8	1.5
	Media	143.7 B	17.1 C	69.8 C	73.6 C	3.8 C
TRN	1	231.9 ab	23.0 a	93.1 b	96.8 b	3.6 ab
TRN	2	220.8 bc	22.4 a	92.0 b	96.2 b	2.8 ab
TRN	3	244.7 a	23.0 a	98.5 a	103.4 a	3.6 ab
TRN	4	217.9 bc	19.5 c	81.1 c	83.6 c	2.4 a
TRN	5	209.1 c	21.5 b	92.2 b	96.8 b	4.2 b
TRN	6	221.0 c	20.1 c	82.2 c	84.3 c	2.7 a
	DSH	14.4	0.7	2.0	2.4	1.5
	Media	226.1 A	21.5 A	89.4 B	93.0 B	3.0 A
VA	1	235.7 b	22.0 b	102.8 b	106.7 b	3.9 a
VA	2	220.7 c	21.1 b	100.5 c	103.7 c	3.5 a
VA	3	255.1 a	23.1 a	106.6 a	110.9 a	4.2 a
VA	4	224.0 cb	18.2 c	86.4 d	88.2 d	3.4 a
VA	5	234.2 b	21.8 b	101.3 bc	105.2 bc	3.7 a
VA	6	218.1 c	17.0 d	84.1 e	86.2 e	2.8 a
	DSH	1.0	1.3	1.5	1.7	1.8
	Media	231.7 A	20.4 B	96.3 A	99.3 A	3.6 A

En la misma columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas, diferencias dentro del ambiente (Tukey $\alpha_{0.05}$). AP = altura de planta; HJT = número de hojas totales; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AsF = asincronía floral.

en TRN de 1 a 3 hojas más y en VA de 4 a 6 hojas; sobresaliendo el grupo 3 que en los tres ambientes mostró la mayor cantidad; se considera que la presencia de mayor HJT

en las poblaciones de Tamaulipas en los ambientes de TRN y VA, se debió a la influencia de factores ambientales tales como temperatura y fotoperíodo (Andrade *et al.*, 1996); por lo que en esos ambientes, estas poblaciones podrían ser utilizadas en forma inmediata en programas de fitomejoramiento, para la producción de forraje, ya que no presentaron problemas de acame (Cuadro 2.3).

En DFM y DFF, los grupos de poblaciones tuvieron una marcada interacción con el ambiente, ya que al pasar de menor a mayor altitud, de mayor a menor temperatura y diferente latitud, el alargamiento del ciclo se hizo más evidente; los grupos 1, 2, 3 y 5 al cambiar del TS a TRN, aumentaron entre 22 a 26 días sus DFM, y de TS a VA, entre 31 a 35 días; en general, los DFF mostraron incrementos muy similares a los DFM. Según Wallace (1985), las variaciones en el desarrollo de las plantas son el resultado de la interacción entre su respuesta genotípica y su respuesta ambiental; en este sentido, los días a floración son determinados por factores genéticos como la tasa de desarrollo foliar, cambio en el número de nudos y número de hojas, y ambientales como el fotoperíodo y temperatura. Transición y Valles Altos son ambientes que contrastan con el origen ecológico de los grupos de poblaciones de maíz de la parte baja de Tamaulipas (grupos 1 y 3), mismos que en estos ambientes fueron los más tardíos; no así el grupo 4 que al parecer tuvo condiciones ambientales parecidas a las de su origen ecológico, como mayor altitud y menor temperatura, ya que en los ambientes TRN y VA en la mayoría de las variables evaluadas fue estadísticamente igual al grupo de Valles Altos Centrales de México. Tollenaar (1991) menciona que los días a floración están altamente correlacionados con el número de hojas y, de acuerdo con esto, se entendería porqué los grupos más tardíos también tuvieron mayores HJT (Cuadro 2.3).

La AsF no mostró significancia entre ambientes, pero cabe resaltar que en TS los grupos 4 y 6 fueron los más asincrónicos, lo que pudo deberse a la temperatura alta incidente, misma que pudo afectar la producción y calidad del polen y la receptividad de los estigmas (Reyes, 1990), lo cual puede causar efectos negativos en la producción de grano (Cuadro 2.3).

Para TS (Figura 2.1, TS), se hizo un solo muestreo y se midieron únicamente tres entrenudos por planta a la madurez, se aprecia que en general en este ambiente los seis grupos de poblaciones presentaron la menor longitud (10.4 cm), comparados con la longitud final alcanzada por los entrenudos en TRN (15.7 cm) y VA (17.9 cm), existiendo diferencias estadísticas entre los grupos de poblaciones en estos dos ambientes, aunque no en TS, demostrándose que condiciones óptimas de ambiente permiten una expresión mayor de la variabilidad de los genotipos (Tollenaar *et al.*, 1994). En los ambientes TRN y VA se puede observar que existió una longitud diferencial de los entrenudos entre los grupos de poblaciones dentro de cada muestreo. En la etapa de iniciación floral (VA, Figura 2.1, VA) los grupos 4 y 6 presentaron la mayor longitud, principalmente en los entrenudos basales, en comparación con los grupos originarios de las partes bajas de Tamaulipas (1, 2, 3 y 5), los cuales apenas iniciaban su alargamiento, lo que indica que estas poblaciones, de origen tropical, al crecer en ambientes templados modifican sus tasas de crecimiento de manera considerable. La misma tendencia se observó en la medición hecha en la etapa de desarrollo de inflorescencias en los ambientes de TRN (Figura 2.1, TRN, 67 y 77 dds) y VA (Figura 2.1, VA, 77 dds), en donde los grupos 4 y 6 también mostraron los entrenudos más largos y este alargamiento se dio primero en los inferiores al entrenudo siete y después en los superiores a él. En el último muestreo (inicio de llenado de grano de los grupos 4 y 6, y floración femenina de los demás grupos) en VA, los entrenudos en las poblaciones de los grupos 1 y 3 igualaron el tamaño de los grupos 4 y 6; sólo los grupos 2 y 5 presentaron longitudes menores.

Al inicio del alargamiento de los entrenudos (iniciación floral y desarrollo de inflorescencias), en la planta se estableció un marcado gradiente acrópeto de mayor a menor longitud, pero al terminar de crecer (floración-inicio de llenado de grano) los entrenudos inferiores inmediatos al de la mazorca fueron los que alcanzaron la mayor longitud, con diferencias que van desde 2 hasta 4.5 cm en relación al entrenudo de la mazorca (Figuras 2.1, TRN y 2.1, VA).

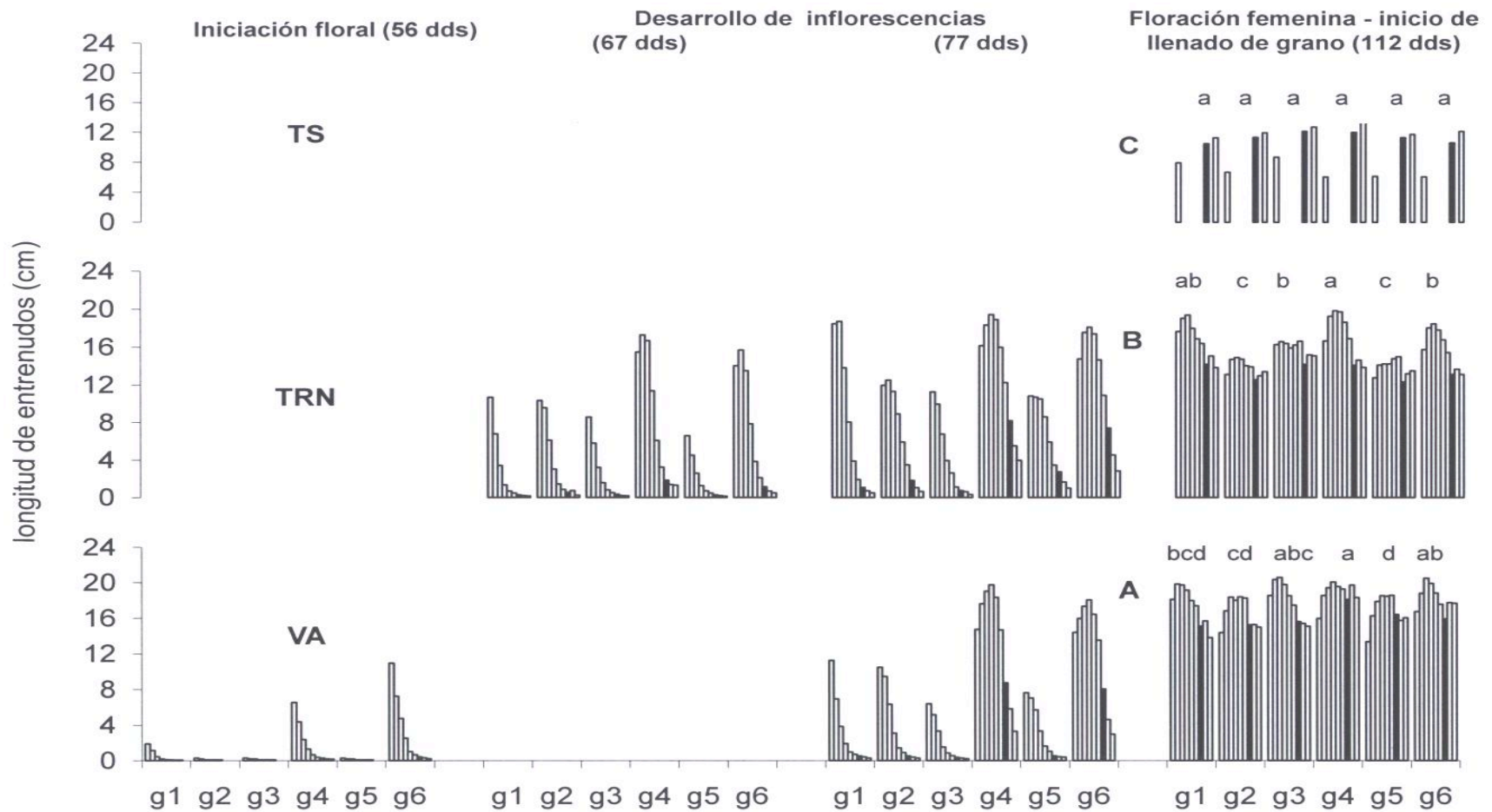


Figura 2.1. Dinámica de crecimiento de nueve entrenudos de seis grupos de poblaciones de maíz con distinto origen ecológico (g₁, g₂, g₃, g₄, g₅ y g₆) cultivados en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura: TS (Trópico Seco), TRN (Transición) y VA (Valles Altos); la barra negra representa el entrenudo superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras mayúsculas indican diferencias entre ambientes y las minúsculas, diferencias entre grupos dentro del ambiente, prueba Tukey $\alpha \leq 0.05$.

Este comportamiento ya había sido señalado por Aitken (1977), con relación a que en las gramíneas, durante la etapa reproductiva inicial se presenta un rápido alargamiento de los entrenudos del tallo próximos a los nudos reproductivos, lo que repercute en la expresión final de la altura de la planta.

El alargamiento de los entrenudos se manifestó de manera diferencial entre los grupos de poblaciones, siendo en los grupos 4 y 6, en los ambientes TRN y VA los que primero iniciaron su alargamiento, lo que puede ser un indicador de la planta al efecto del ambiente, ya que, bajo las mismas condiciones ambientales principalmente de temperatura y fotoperíodo habrá poblaciones que crecen más rápido que otras, dependiendo del origen ecológico que éstas tengan. En general, el crecimiento de los entrenudos en todos los grupos de poblaciones siguió la tendencia de una curva sigmoide a la cual hace referencia Morrison *et al.* (1994).

En la evaluación de características de mazorca existieron diferencias estadísticas significativas entre ambientes y entre grupos de poblaciones en las variables GPt, GTt, HMz, GH y PiG, así como entre poblaciones dentro de grupos para la interacción ambientes x grupos de poblaciones (Cuadro 2.4), demostrándose que existe variabilidad y especificidad entre y dentro de los diferentes grupos de poblaciones.

Para el GPt, el ambiente de VA se diferenció significativamente del resto de los ambientes, con promedio superior de al menos 7.7%, lo que permite señalar que las condiciones de este ambiente, en comparación con TRN y TS, permiten expresar mejor el número de granos potenciales y con ello el potencial de producción del cultivo del maíz. No obstante, la expresión de ese potencial señalado como GTt, TS se diferenció estadísticamente de los otros dos ambientes con valores inferiores (Cuadro 2.5), demostrando ser el ambiente más estresante para el desarrollo del grano de maíz.

Entre grupos de poblaciones, considerando a cada ambiente por separado, sólo en TS existieron diferencias significativas para GPt, donde el grupo 6 presentó el promedio más alto, demostrando tener un mayor potencial de producción; sin embargo, en este

mismo ambiente presentó el menor GTt pues solamente 27 % de sus GPt llegaron a formarse como granos cosechados, a diferencia de las poblaciones de Tamaulipas que del GPt formaron del 45 al 60% de grano.

Cuadro 2.4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para características de la mazorca en grupos de poblaciones de maíz evaluadas en tres ambientes durante 2006.

FV	GL	GPT	GTt	HMz	GH	PIG
Amb	2	75938**	969647**	60.5**	4220**	280194**
Rep(amb)	6	1875	6082	0.8	40.3	5144
Gpos	5	36465**	16911**	85.1**	235.7**	6651.7**
pobs(gpos)	29	19825**	9551**	6.9**	39.5**	4405.9**
Ambxgpos	10	17226**	35262**	5.6**	102.4**	19833**
Ambxpobs(gpos)	58	12591**	5457*	2.1ns	26.5**	26484**
Error	204	5062	3689	1.7	16.4	1375.9

**, * significativo con $\alpha \leq 0.01$ y 0.05 , respectivamente, ns = no significativo; FV = fuente de variación, GL = grados de libertad; GPT = número de granos potenciales; GTt = número de granos totales por mazorca; HMz = número de hileras por mazorca; GH = número de granos por hilera; PIG = peso individual de grano.

Los resultados obtenidos permiten inferir que el grupo de variedades mejoradas de los Valles Altos Centrales de México fue el más susceptible a las condiciones ambientales imperantes, principalmente de temperaturas que fluctuaron entre 35 y 39 °C, en las etapas de floración y llenado de grano. En el ambiente de TRN, para GTt sobresalieron con los mayores promedios los grupos 4 y 6; mientras que en VA el mayor promedio para GTt lo presentó el grupo 6 (Cuadro 2.5), demostrándose así el mayor potencial de producción de este grupo, por estar formado por variedades mejoradas.

El HMz y el GH son componentes importantes del rendimiento de grano, y para ambas variables se presentaron los valores más bajos en TS, diferenciándose estadísticamente de TRN y de VA, que fueron equivalentes entre sí. En el caso de HMz,

en TS, todos los grupos fueron iguales, no así en los otros ambientes, donde el grupo 6 presentó el valor mayor de HMz, seguido por el grupo 5 (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Valores medios de componentes del rendimiento de los seis grupos de poblaciones en los tres ambientes de estudio durante 2006.

Amb	Grupo	GpT	GTt	HMz	GH	PIG (mg)
TS	1	523.8 bc	272.2 ab	10.6 a	25.4 a	248 a
TS	2	514.3 bc	308.1 a	11.6 a	27.1 a	238 a
TS	3	597.2 ab	269 ab	10.8 a	24.7 a	240 a
TS	4	524.0 bc	242 ab	11.6 a	20.3 a	174 bc
TS	5	501.3 c	260.8 ab	11.6 a	22.4 a	231 ab
TS	6	653.5 a	173.5 b	12.8 a	12.7 b	165 c
	DSH	86.3	108.3	2.3	7.3	63
	Media	552.3 B	258.9 B	11.45 B	22.6 B	213 B
TRN	1	542.1 a	422.4 bc	11.9 cd	35.7 a	296 b
TRN	2	545.8 a	407.4 bc	11.9 cd	34.2 a	296 b
TRN	3	548.2 a	388.9 c	11.2 d	35.0 a	298 b
TRN	4	573.8 a	443.6 ab	12.9 bc	34.5 a	307 b
TRN	5	543.2 a	407.5 bc	13.3 b	31.2 b	282 b
TRN	6	592.3 a	488.6 a	16.2 a	30.2 b	363 a
	DSH	78.9	47.1	1.2	2.5	30
	Media	559.1 B	424.5 A	12.58 A	34.0 A	306 A
VA	1	629.7 a	405.5 cd	11.8 d	34.4 a	283 c
VA	2	571.7 a	423.2 cb	12.6 c	33.5 a	289 bc
VA	3	582.3 a	377.0 d	11.5 d	33.0 a	287 bc
VA	4	601.2 a	453.1 b	13.2 c	34.4 a	315 b
VA	5	642.5 a	462.7 b	14.1 b	32.9 a	253 d
VA	6	647.4 a	520.5 a	16.3 a	31.9 a	359 a
	DSH	78.6	40.7	0.8	3.1	29
	Media	601.9 A	432.5 A	12.9 A	33.5 A	301 A

En la misma columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas, diferencias entre grupos dentro del ambiente (Tukey α , 0.05). GpT = número de granos potenciales; GTt = número de granos totales por mazorca; HMz = número de hileras por mazorca; GH = número de granos por hilera; PIG = peso individual de grano.

En TRN, los grupos 5 y 6 presentaron los valores de GH inferiores a los de las poblaciones criollas de Tamaulipas; en VA el comportamiento fue homogéneo entre grupos, donde todos presentaron valores altos, fluctuando entre 31.9 a 34.4; en TS el grupo 6 se diferenció estadísticamente de los demás, y presentó el valor más bajo de GH, ya que sólo formó 12.7 granos por hilera, mientras que los grupos de Tamaulipas fluctuaron entre 20 y 27. Se observó una relación entre HMz y GH; en los grupos de poblaciones mejoradas (5 y 6), a mayor HMz menor GH, en tanto que en las poblaciones criollas de Tamaulipas esta relación fue inversa.

El PIG en TS fue significativamente inferior al de los otros dos ambientes; los grupos 4 y 6 tuvieron los valores más bajos, siendo los más afectados por este ambiente con respecto a los otros grupos; pero en TRN y VA fueron los de PIG más alto, superiores a 300 mg en cada caso (Cuadro 2.5). En TS, en los grupos 1, 2, 3 y 5, se observó un PIG cercano al mostrado por López *et al.* (2004) en cultivares prolíficos de maíz; estos mismos grupos presentaron valores dentro del intervalo mostrado por López *et al.* (2000) con líneas endogámicas de maíz de los Valles Altos, consideradas de grano grande. El grupo 5 mostró valores bajos en los tres ambientes. En general, TRN fue el ambiente más benigno para el desarrollo de las poblaciones, presentándose mayor homogeneidad entre poblaciones y la mejor expresión de algunas variables.

2.5. CONCLUSIONES

Los grupos de poblaciones criollas de Tamaulipas, México, mostraron alta variabilidad e interacción con los ambientes de evaluación en las variables fenológicas y morfológicas que se estudiaron.

Las características de mazorca se modificaron cuando los grupos de poblaciones crecieron en los diferentes ambientes; mostraron su mejor expresión en los ambientes de TRN y de VA, en comparación con el Trópico Seco, atribuible a la temperatura más alta de este ambiente.

El grupo 4, de poblaciones criollas de la zona montañosa del Suroeste de Tamaulipas, tuvo un alto potencial de adaptación a los ambientes de Transición y de Valles Altos, ya que fue estadísticamente igual al comportamiento de las poblaciones de Valles Altos Centrales de México, en la mayoría de las variables evaluadas.

Los grupos de la parte baja de Tamaulipas fueron los más afectados al desarrollarse en los ambientes de TRN y VA, ya que tuvieron menor precocidad, más asincronía, altura de planta y número de hojas, con relación al comportamiento mostrado en su área de origen.

Los días a floración masculina y femenina, longitud de entrenudos, granos totales por mazorca, hojas totales por planta y altura de planta, mostraron cambios importantes en los ambientes de evaluación, por lo que estas variables podrían ser consideradas como indicadores importantes de efectos ambientales sobre poblaciones introducidas.

2.6. BIBLIOGRAFÍA

- Aitken, Y. 1977. Conceptos agronómicos y producción foliar. *Agrociencia* 28: 115-143.
- Andrade, F. H., A. G. Cirilo, S. Uhart, y M. E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y DekalbPress. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Carrera V., J. A., y T. Cervantes S. 2002. Comportamiento *per se* y en cruizas de poblaciones tropicales de maíz seleccionadas en Valles Altos. *Agrociencia* 36: 693-701.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. *Iowa State Journal Research* 59: 497-527.
- López S., J. A., J. Ortíz C., y M. C. Mendoza C. 2000. Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 141-152.

- López S., J. A., C. A. Reyes M., S. Castro N., y F. Briones E. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana* 27 (No. Especial 1): 23-26.
- Morales R., M. M., J. Ron P., J. J. Sánchez G., J. L. Ramírez D., L. Cruz L., S. Mena M., y S. Hurtado P. 2007. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30: 285-294.
- Morrison, T. A., J. R. Kessler, and D. R. Buxton. 1994. Maize internode elongation patterns. *Crop Science* 34: 1055-1060.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., y M. Livera M. (eds). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Pérez-Colmenarez, A., J. D. Molina-Galán, y A. Martínez-Garza. 2000. Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Quist, D., and I. H. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414: 541–543.
- Reyes C., P. 1990. *El Maíz y su Cultivo*. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Reyes M., C. A., y M. A. Cantú A. 2006. Maíz. En: L. A. Rodríguez B. (ed). *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, logros y retos*. Libro técnico No. 1. INIFAP. México. pp: 55-74.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- SAS Institute Inc. 1995. *SAS Language and Procedure: Usage, Versión 6*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Tollenaar, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science* 31: 119-124.

- Tollenaar, M., D.E. McCullough and L.W.M. Dwyer. 1994. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In Slafer G.A. (Ed) Genetic improvement of field crops. Marcel Dekker. USA. pp. 183-236.
- Vargas T., V., M. E. Hernández R., J. Gutiérrez L., C. J. Plácido D. y A. Jiménez C. 2007. Clasificación climática del Estado de Tamaulipas, México. Ciencia UAT 6:15-19.
- Vavilov, N. I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Press Co. New York. 94 p.
- Wallace, D. H. 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. Plant Breeding Reviews 3: 21-168.

CAPÍTULO III

EFFECTO DE TIPOS DE POLINIZACIÓN, LIBRE Y CONTROLADA, SOBRE LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE GRANO EN POBLACIONES CRIOLLAS Y MEJORADAS DE MAÍZ

3.1. RESUMEN

En maíz es escasa la información que permita conocer el efecto de la polinización controlada sobre los componentes del rendimiento; con el fin de contribuir en tal aspecto, se utilizaron 28 poblaciones criollas de Tamaulipas, México, clasificadas por su origen ecológico en cuatro grupos, y otros dos grupos integrados por variedades mejoradas de Tamaulipas y de los Valles Altos Centrales de México. El estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de 2006, en Montecillo, Texcoco, Estado de México. En plantas con competencia completa, se hicieron en forma manual polinizaciones fraternales y autofecundaciones, y además se mantuvieron plantas en polinización libre. Las variables medidas fueron: número de granos potenciales y totales por mazorca, longitud de mazorca, número de granos por hilera, peso individual de grano, peso de grano por mazorca, y se calculó el porcentaje de granos formados con base en los granos potenciales. Se encontró relación entre el origen ecológico de las poblaciones y el porcentaje de granos formados bajo polinización controlada: las poblaciones de la parte baja de Tamaulipas (grupos 1, 2 y 3) produjeron en promedio 53 % de grano en relación a su potencial, en tanto las de la montaña (grupo 4) mostraron porcentajes más altos de grano (62 %), cercanos al del grupo de los Valles Altos Centrales de México (68 %). En polinización libre, la producción de grano de las poblaciones de la parte baja de Tamaulipas fluctuó entre 64 y 71 %, en tanto, en las poblaciones de la montaña fue de 80 %, similar al grupo de los Valles Altos. Las polinizaciones controladas produjeron granos de mayor peso individual, lo que contribuye a tener semilla de mejor calidad física. Las mazorcas producidas por autofecundación, en la mayoría de los grupos y variables, presentaron los valores más bajos, lo que puede deberse al manejo de la polinización.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones criollas de Tamaulipas, polinización controlada, introducción de germoplasma, componentes del rendimiento.

3.2. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie monoica y alógama con aproximadamente 95 % de polinización cruzada y 5 % de autofecundación. El control manual de la polinización en esta especie es una práctica común para la aplicación de los distintos métodos de mejoramiento genético, para algunos trabajos de investigación básica, así como para asegurar la pureza genética de los progenitores de las variedades liberadas (Galicia y Celis, 1986).

Dependiendo del grado de parentesco de las poblaciones y del tipo de polinización practicado se puede generar endogamia, la cual es máxima cuando ocurre la autofecundación, lo que puede traer consigo la aparición de caracteres letales o subletales al aumentar la homocigosis de los caracteres recesivos que los determinan (Reyes, 1990).

La formación de grano es afectada por la eficiencia de la polinización, la cual depende de que los estigmas estén receptivos cuando el polen está disponible. Una asincronía entre la liberación del polen y la receptividad de los estigmas puede ocasionar la formación de mazorcas con hileras de granos incompletas o con secciones sin grano, principalmente en la sección apical (Ramírez y Andrade, 1974). A pesar de su importancia, la polinización ha sido escasamente abordada en los estudios y tratados de plantas cultivadas, de modo que los agricultores y técnicos encargados de la producción de semillas a menudo desconocen la importancia de este proceso; además, las obras de consulta específicas en este tema son escasas y en general poco actualizadas (Muñoz *et al.*, 2005).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos tipos de polinización, libre y controlada, sobre los componentes del rendimiento de grano en poblaciones

criollas de maíz de distinto origen ecológico bajo las condiciones de los Valles Altos Centrales de México.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 28 poblaciones criollas del estado de Tamaulipas clasificadas por su origen ecológico en: Grupo 1= zona centro, clima cálido subhúmedo; Grupo 2= zona del ex IV Distrito, clima semicálido seco; Grupo 3= zona huasteca, clima cálido húmedo; Grupo 4= zona montañosa del Suroeste del Estado, clima templado seco (Vargas *et al.*, 2007). Además, se evaluaron otros dos grupos integrados por variedades mejoradas: el grupo 5 por dos variedades del estado de Tamaulipas y el grupo 6 por cuatro variedades de los Valles Altos Centrales de México.

El estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de 2006, con fecha de siembra del 11 de mayo, en el campo agrícola experimental Montecillo, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, ubicado a los 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con una altitud de 2250 msnm y un clima Cb (w) (i') g (García, 1987), con temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente.

La unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 0.80 m. Se sembraron manualmente dos semillas por golpe, a una distancia de 0.25 m, para dejar una planta por mata y establecer una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹. El cultivo se desarrolló en condiciones favorables de humedad y fertilización.

Entre los 5 a 7 días después de la aparición de los estigmas o cuando la mayoría de éstos estaban expuestos, de forma manual en cada población se polinizaron fraternalmente 10 plantas (con mezcla de polen de al menos diez plantas de la población) y otras 10 plantas se autofecundaron, mientras que otro grupo de 10 plantas en cada población, se mantuvieron en polinización libre (PL). Para la toma de datos sólo se utilizaron cinco mazorcas de cada tipo de polinización en cada población. Las variables medidas fueron: longitud de mazorca (LMz), número de granos por hilera

(GHil), número de granos totales por mazorca (GMz) obtenidos de multiplicar los GHil y el número de hileras de la mazorca, peso de grano por mazorca (PGMz), peso individual de grano (PIG) calculado con los pesos de grano por mazorca entre el número de granos totales por mazorca; y el porcentaje de granos formados en relación a los potenciales (%GF), calculado con $[(GMz/GPot)*100]$. El número de granos potenciales (GPot) se obtuvo contando el número de florecillas femeninas formadas en el jilote principal.

El análisis de varianza y prueba de medias Tukey ($\alpha, 0.05$) se hizo con el paquete estadístico SAS versión 6 (SAS, 1995); además se practicaron análisis gráficos.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis de varianza, dentro de los grupos de poblaciones se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre los tipos de polinización para las variables longitud de mazorca (LMz), número de granos por hilera (GHil), peso individual de grano (PIG), peso de grano por mazorca (PGMz) y número de granos totales por mazorca (GMz).

En el Cuadro 3.1 se muestran los valores promedio por grupo, en cada tipo de polinización para las diferentes variables evaluadas; la longitud de mazorca no presentó diferencias significativas para los tres tipos de polinización en los grupos 1 y 5; sin embargo, en los otros cuatro, las mazorcas con mayor longitud fueron las de PL, seguidas por las fraternales y con menor longitud las autofecundaciones.

El peso de grano por mazorca fue mayor en las de PL con respecto a las de polinización controlada, ya que por el manejo de la polinización, en las fraternales y autofecundaciones se tuvieron efectos negativos sobre el número de granos totales por mazorca (Cuadro 3.1). El peso del grano por mazorca es función del número de granos totales por mazorca y del peso individual del grano (Ramírez y Andrade, 1974). El que las mazorcas producidas bajo polinización controlada tuvieran un menor número de granos totales favoreció que esos granos presentaran un mayor peso individual, sobre

Cuadro 3.1. Características de mazorca en grupos de poblaciones de maíz, al evaluar su polinización controlada en los Valles Altos Centrales de México.

Grupo	Polinización	LMz (cm)	Ghil (num)	PIG (mg)	PGMz (g)	GMz (gra/mza)
1= Zona Centro	Polinización Libre	14.6 a	31.4 a	272.8 a	109.6 a	401.8 a
clima cálido	Fraternal	14.1 a	26.6 b	300.3 a	99.8 ab	332.5 b
subhúmedo	Autofecundación	13.8 a	26.4 b	287.1 a	90.8 b	316.1 b
	DSH	1.2	2.9	42.8	7.2	52.9
2 = Zona	Polinización Libre	15.4 a	32.1 a	286.7 a	114.6 a	399.7 a
del ex IV Distrito,	Fraternal	14.6 ab	25.6 b	312.2 a	95.4 b	305.6 b
clima semicálido	Autofecundación	14.3 b	24.3 b	316.5 a	95.4 b	301.6 b
seco	DSH	0.9	2.2	32.4	13.0	40.0
3= Zona	Polinización Libre	15.0 a	32.7 a	279.8 a	108.7 a	388.3 a
Huasteca	Fraternal	14.3 ab	28.3 b	273.0 a	87.2 b	319.4 b
clima cálido	Autofecundación	14.0 b	25.2 c	281.8 a	82.0 b	290.9 b
húmedo	DSH	0.9	2.2	32.4	13.0	40.0
4= zona	Polinización Libre	16.5 a	34.5 a	326.1 a	152.9 a	468.9 a
montañosa,	Fraternal	14.5 b	28.0 b	332.7 a	127.6 b	383.4 b
clima templado	Autofecundación	14.0 b	26.2 b	330.5 a	115.3 c	349.0 c
seco	DSH	0.8	1.8	27.1	10.9	33.5
5= variedades	Polinización Libre	15.7 a	33.0 a	285.0 a	131.1 a	459.8 a
mejoradas de	Fraternal	14.1 a	23.3 b	293.8 a	103.1 b	351.0 b
Tamaulipas	Autofecundación	14.4 a	24.5 b	294.7 a	106.3 b	360.6 b
	DSH	1.8	4.1	60.6	24.3	74.8
6= variedades	Polinización Libre	15.6 a	31.5 a	356.3 ab	185.3 a	520.2 a
mejoradas de	Fraternal	14.9 ab	26.3 b	390.6 a	166.5 b	426.3 b
VA Centrales	Autofecundación	14.0 b	26.4 b	338.1 b	153.4 b	453.7 b
	DSH	1.2	2.9	42.8	17.2	52.9

LMz= longitud de mazorca; GHil= número de granos por hilera; PIG= peso individual de grano; PGMz= peso del grano por mazorca; GMz= número de granos totales por mazorca. cm= centímetros; n°= número; gra/mza= número de granos por mazorca. Medias con la misma letra en columnas dentro de cada grupo son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha, 0.05$).

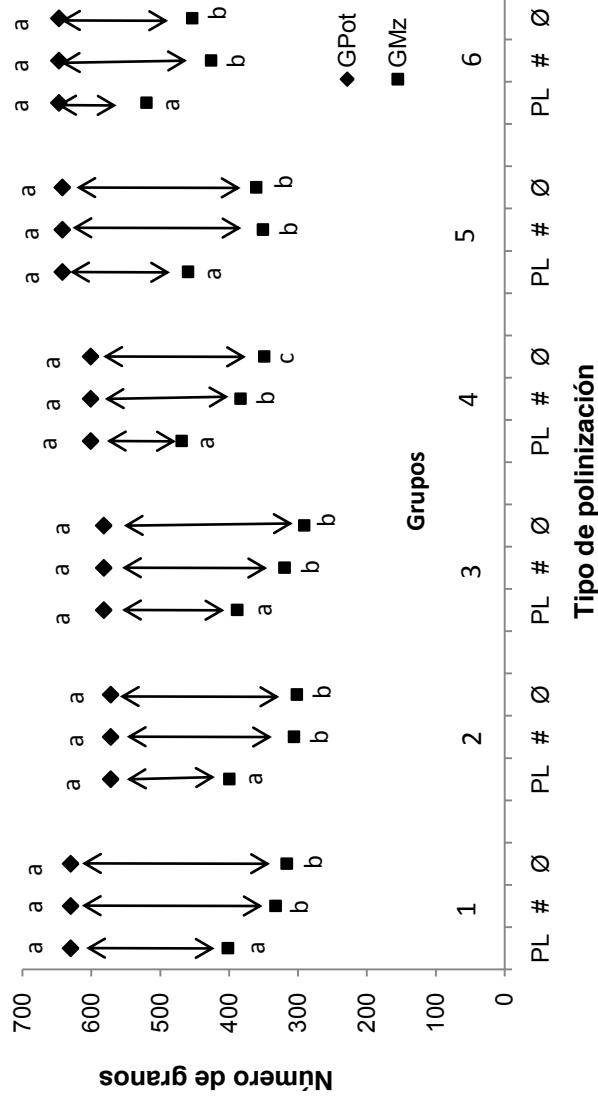
todo en las polinizaciones fraternales; esto se explica por la reducción en competencia por asimilados entre los granos de la mazorca (Cuadro 3.1).

El número de granos totales por mazorca (GMz), varió entre poblaciones para las mazorcas de polinización libre, lo cual pudo ser determinado por su distinto origen ecológico. Los grupos 1, 2 y 3 (poblaciones tropicales de las partes bajas de Tamaulipas) presentaron los valores más bajos, 397 granos por mazorca en promedio; el grupo 4 (poblaciones de la montaña de Tamaulipas) y los grupos 5 y 6 (mejorados de Tamaulipas y Valles Altos), presentaron los valores más altos, 483 en promedio (Cuadro 3.1).

Para los granos potenciales por mazorca no hubo diferencias significativas entre grupos (Figura 3.1). Por origen ecológico de los grupos cabe mencionar su potencial: el grupo uno tuvo 630, el dos 572, el tres 582, el cuatro 601, el cinco 642 y el seis 647. Los grupos 1, 2, 3 y 5 en PL sólo presentaron de 64 a 71 % del potencial de producción de grano (GPot); en contraste, el grupo 4 (poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas) presentó valores cercanos a los del grupo 6 (variedades de Valles Altos), 80 y 81 %, respectivamente.

En los dos tipos de polinizaciones controladas los porcentajes de granos formados en relación a los granos potenciales fueron iguales estadísticamente en todos los grupos. En el caso de los grupos 1, 2, y 3, sólo lograron formar entre 50 a 56 % de los granos potenciales en las polinizaciones controladas; en el grupo 4 se logró 65 y 59 %, valores cercanos a los presentados por el grupo 6 que tuvo 66 y 70 % en fraternales y autofecundaciones, respectivamente (Figura 3.1).

Cuantificar el grano que se puede formar con polinizaciones manuales puede ser de utilidad en los programas de fitomejoramiento o de producción de semillas, ya que con ello se puede prever los gastos de mano de obra y de materiales en relación con la cantidad de semilla que se pretende obtener.



PL= polinización libre , #= fraternal y Ø= autofecundación ; la comparación de medias por grupos entre los tipos de polinización es en sentido horizontal. Tukey 0.05

Figura 3.1. Número de granos potenciales (GPot) y de granos totales por mazorca (GMz) bajo tres tipos de polinización en grupos de poblaciones de maíz originarias de diferentes regiones ecológicas de Tamaulipas y Valles Altos.

Vidal-Martínez *et al.* (2001) señalan que algunos componentes del rendimiento de grano como número de granos por hilera, número de granos por mazorca y peso de la mazorca, están correlacionados positivamente con la producción de polen. En este sentido, habría que estudiar la calidad del polen que se aplicó en las polinizaciones controladas para explicar con mayor exactitud las diferencias encontradas entre las polinizaciones controladas manualmente y las de polinización libre, sobre todo de las poblaciones tropicales que, a excepción del grupo 4, fueron las que presentaron valores más bajos que las locales.

3.5. CONCLUSIONES

Las mazorcas de maíz de los grupos de poblaciones 1, 2 y 3, con la polinización controlada manualmente produjeron grano sólo entre 50 y 56 % de su potencial, y de 64

a 71 % en polinización libre; el grupo 4, de la montaña de Tamaulipas, presentó en promedio 62 % de su potencial de grano en las polinizaciones controladas y en polinización libre, 80 %.

En las polinizaciones controladas se observó la tendencia a producir granos de mayor peso individual, lo que podría favorecer la producción de semilla de mejor calidad física.

Las mazorcas producidas por autofecundación, en la mayoría de los grupos y variables, presentaron valores más bajos que las fraternales y las de polinización libre, lo cual pudiera deberse a problemas en el manejo de su polinización.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

- Galicia O., J., y H. Celis A. 1986. El control manual de la polinización en maíz. Tema Didáctico No. 1. SARH-INIFAP. México. 24 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- Muñoz R., A. F., M. C. Ayuso Y., y J. Labrador M. 2005. Polinización de cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. España. 232 p.
- Ramírez, R., y L. Andrade. 1974. Influencia de la polinización sobre el llenado de la punta de la mazorca del maíz y otros caracteres. *Agronomía Tropical* 24(1): 43-54.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- SAS Institute Inc. 1995. SAS Language and Procedure: Usage, Versión 6. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Vargas T., V., M.E. Hernández R., J. Gutiérrez L., C. J. Plácido D. y A. Jiménez C. 2007. Clasificación climática del Estado de Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* 6:15-19.
- Vidal-Martínez, V. A., M. Clegg, B. Johnson, and R. Valdivia-Bernal. 2001. Phenotypic and genotypic relationships between pollen and grain yield components in maize. *Agrociencia* 35: 503-511.

CAPÍTULO IV

RENDIMIENTO DE GRANO Y SUS COMPONENTES EN POBLACIONES CRIOLLAS DE MAIZ DE TAMAULIPAS BAJO AMBIENTES CONTRASTANTES

4.1. RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos evaluar los cambios en el rendimiento y sus componentes en 29 poblaciones criollas de Tamaulipas y seis variedades mejoradas al desarrollarlas en tres ambientes contrastantes e identificar algunas poblaciones que pudieran ser utilizadas en fitomejoramiento para los Valles Altos Centrales de México y el estado de Tamaulipas. Los ambientes fueron, Trópico Seco (TS), Transición (TRN) y Valles Altos (VA), las poblaciones criollas se clasificaron por su origen ecológico en cuatro grupos y en dos grupos las variedades mejoradas. En los tres ambientes se determinó el rendimiento de grano por hectárea y sus componentes. Entre ambientes, hubo diferencias en rendimiento de grano, observándose una tendencia de ser superior al cambiar a ambientes de mayor altura y de menor temperatura. TRN y VA fueron estadísticamente iguales para los componentes del rendimiento, en VA se tuvieron los mayores rendimientos de grano pero en TS todas las poblaciones presentaron valores bajos, atribuibles a las altas temperaturas que se presentaron durante el experimento. De las poblaciones criollas de Tamaulipas, las de la zona montañosa de Tamaulipas (grupo 4), fueron las de mayor rendimiento en TRN y VA, se destacó la C-4031 con el rendimiento de grano más alto (8.3 ton ha⁻¹) y cercano al presentado por las variedades mejoradas de los Valles Altos Centrales de México. Las poblaciones tropicales (grupos 1, 2 y 3) sobresalieron por su alta prolificación (hasta de 71%), que es considerada una característica deseable como criterio de selección en los programas de mejoramiento. En general, las poblaciones criollas de Tamaulipas en los Valles Altos presentaron alta diversidad genética, misma que pone de manifiesto que actualmente en Tamaulipas existen poblaciones criollas con caracteres agronómicos de interés para ser aprovechadas en la mejora de la producción.

Palabras clave: *Zea mays* L., rendimiento de grano y sus componentes, poblaciones criollas de Tamaulipas, prolificación.

4.2. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es el cereal básico en la alimentación en México, en donde se presenta el mayor consumo *per capita* del mundo (Ortega *et al.*, 1991). En los últimos decenios se ha registrado importante erosión genética *in situ* de la diversidad nativa mexicana del maíz en algunas regiones y que ésta no es sólo significativa en cantidad sino en calidad, ya que se han dejado de sembrar poblaciones de razas muy productivas como lo son Celaya, Chalqueño y Tuxpeño, que mundialmente están consideradas entre el germoplasma más importante para el mejoramiento por su capacidad productiva (Goodman y Brown, 1988).

En el cultivo del maíz, el rendimiento de grano puede expresarse como el producto de sus componentes numéricos, por ejemplo el número de granos por unidad de superficie y el peso de los granos; de éstos, el número de granos es el principal componente del rendimiento y el peso de los granos ha sido usualmente considerado como un componente poco afectado por las fuentes de variación experimentales (Andrade *et al.*, 1996; Borras y Otegui, 2001).

El concepto de rendimiento de grano ha cambiado a través del tiempo; en un principio sólo importaba disponer del alimento vegetal, luego se consideró la cantidad cosechada por unidad de área de suelo; posteriormente se evaluó el rendimiento en términos de la cantidad de energía usada para su producción, y en la actualidad, además de lo anterior, es de interés hacer que los cultivos mantengan su capacidad para rendir bajo diferentes tipos de estrés ambiental (Evans, 1993). Bajo estas consideraciones el objetivo actual del mejoramiento genético, no es sólo la obtención de variedades o genotipos más rendidores, sino genotipos que ayuden a aumentar la productividad por unidad de área bajo diversas o específicas condiciones ambientales, que no siempre serán las óptimas (Tollenaar *et al.*, 1994).

En este sentido la interacción genotipo-ambiente es la respuesta diferencial de los genotipos sometidos a condiciones ambientales diversas; es de gran significancia para los fitomejoradores porque las interacciones grandes pueden influir negativamente en el

progreso de la selección y dificultan la recomendación de genotipos (Eberhart y Russell, 1966; Kang y Magary, 1996).

El presente trabajo tuvo como objetivos evaluar los cambios en el rendimiento y sus componentes de poblaciones criollas de Tamaulipas al evaluarlas en ambientes contrastantes y hacer una comparación con los atributos que poseen algunas variedades mejoradas, y detectar aquellas poblaciones que pudieran ser utilizadas como fuentes de genes para aumentar la diversidad genética tanto en los Valles Altos Centrales de México como en el Estado de Tamaulipas.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 29 poblaciones criollas del estado de Tamaulipas clasificadas por su origen ecológico en cuatro grupos, además de seis variedades mejoradas divididas en dos grupos: dos variedades de Tamaulipas y cuatro de los Valles Altos Centrales de México (Cuadro 4.1).

Durante el ciclo primavera-verano 2006, bajo condiciones de riego, se establecieron tres ensayos en ambientes contrastantes: I) Trópico Seco (TS): se sembró el 9 de marzo, en la Posta Zootécnica “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en el municipio de Güemez, Tamaulipas, ubicado geográficamente a 23° 56´ latitud norte y 99° 06´ longitud oeste, con altitud de 200 msnm, temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación media anual de 800 mm; II) Transición (TRN): el 27 de marzo, en terrenos del Consejo de Desarrollo “Cinta Larga” del municipio de Mixquiahuala, Hidalgo, localizado en los 20° 14´ de latitud norte y 99° 12´ de longitud oeste, con temperatura media anual de 17 °C y precipitación media anual de 509 mm; por su altitud (2050 msnm) se considera zona de transición, y III) Valles Altos (VA): el 11 de mayo, en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, Edo. de México, ubicado a los 19° 29´ latitud norte y 98° 53´ longitud oeste, con una altitud de 2250 msnm, y temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente.

La siembra se realizó de manera manual en los tres ensayos, a una densidad de siembra de 100,000 semillas por hectárea, para posteriormente establecer una densidad de población de 50,000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 4.1. Poblaciones criollas de Tamaulipas y mejoradas de maíz, evaluadas en tres ambientes contrastantes de altitud, latitud y temperatura durante 2006.

Grupo	Población	Origen	Grupo	Población	Origen
1	C-3001	Padilla	4	C-4021	Bustamante
1	C-3003	Padilla	4	C-4022	Miquihuana
1	C-3004	Padilla	4	C-4026	Miquihuana
1	C-3024	Hidalgo	4	C-4028	Miquihuana
2	C-3006	Tula	4	C-4030	Miquihuana
2	C-3007	Tula	4	C-4031	Miquihuana
2	C-3011	Tula	4	C-4032	Miquihuana
2	C-3012	Tula	4	C-4034	Miquihuana
2	C-3016	Tula	4	C-4035	Miquihuana
2	C-3022	Tula	4	C-4037	Miquihuana
2	C-3023	Tula	5	UAT-Comp II	Güemez
3	C-3033	Llera	5	H-437- INIFAP	Río Bravo
3	C-3038	Llera	6	VS-Chapingo-3	UACH
3	C-3039	Llera	6	VS-San Bernardino	UACH
3	C-3040	Llera	6	H-San Juan	UACH
3	C-3041	Llera	6	H-San Isidro	UACH
3	C-3043	Llera			
3	C-3051	Gómez Farías			
3	C-Ocampo	Ocampo			

Grupo I = zona centro, clima cálido subhúmedo; grupo II = zona del ex IV Distrito, clima semicálido seco; grupo III = zona Huasteca, clima cálido húmedo; grupo IV = Zona Montañosa del Suroeste del Estado, clima templado seco; grupo V = variedades mejoradas de Tamaulipas; grupo VI = variedades mejoradas de los Valles Altos Centrales de México. INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; UACH = Universidad Autónoma Chapingo.

En TS y TRN se sembró en húmedo, con riego de presiembra, en VA en suelo seco y se dio el riego inmediatamente después de sembrar. Se aplicó una dosis de fertilización de 80-60-00, todo el fósforo al momento de la siembra y sólo la mitad del nitrógeno, la otra mitad se aplicó al realizar el primero de dos aporques, el control de maleza e insectos se hizo siguiendo las recomendaciones para maíz en cada ambiente.

Las variables registradas en los tres ambientes fueron: en una muestra de cinco mazorcas por unidad experimental se registró la longitud de mazorca (LMz); diámetro de mazorca (DMz), tomado en la parte media de la misma; diámetro de olote (DO), tomado en cm de la parte media de cinco olotes por repetición; índice de desgrane (IDg), porcentaje representativo del peso de grano de una mazorca; número de hileras por mazorca (NHM); número de granos por hilera (NGH), promedio de los granos contados por hilera; número de granos por mazorca (NGM), se obtuvo como el producto de NHM por NGH; peso individual de grano (PIG), promedio de 100 granos tomados al azar de la muestra de las cinco mazorcas. El rendimiento de grano por hectárea (RG), se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental, ajustando el contenido de humedad a 12 %, y por el índice de desgrane, lo cual transformó a rendimiento por hectárea.

Los tres ensayos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar; con tres repeticiones y la unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m de ancho. El análisis de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS versión 6 (SAS, 1995), realizando análisis de varianza por ambiente y combinado a través de ambientes para los seis grupos de poblaciones y las poblaciones en forma individual; pruebas de medias Tukey $\alpha, 0.05$.

4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza combinados (Cuadro 4.2) permitieron observar que hubo diferencias significativas entre ambientes, entre grupos de poblaciones y entre poblaciones dentro de grupos, para todas las variables. Las interacciones ambientes x grupos de poblaciones y ambientes x poblaciones anidadas por grupos, también fueron

significativas para la mayoría de las variables, excepto para el diámetro de mazorca y el número de hileras por mazorca.

El rendimiento de grano mostró diferencias entre los ambientes de evaluación, en VA fue estadísticamente mayor, seguido por TRN, y en TS fue el más bajo; los componentes del rendimiento en los ambientes TRN y VA fueron estadísticamente equivalentes, quedando TS con el menor promedio en todas las variables (Cuadro 4.3); en TRN y VA se tuvo una temperatura ambiental cercana a la óptima para el desarrollo del cultivo del maíz, oscilando entre 19 a 29 °C, lo cual favoreció que los grupos de poblaciones presentaran su mejor expresión en todas las variables; de manera contraria la temperatura alta, prevaleciente en el ambiente de TS osciló entre los 35 a 39 °C, en las etapas de floración y llenado de grano, tuvieron una influencia negativa sobre el rendimiento de grano y sus componentes, y en el resto de las variables evaluadas de todas las poblaciones, observándose los promedios más bajos en este ambiente (Reyes, 1990).

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en ambientes contrastantes durante el 2006.

FV	GL	RG	LMz	DMz	DO	IDg	NHM	NGH	NGM	PIG
Amb	2	728199.8**	677.7**	5.6**	48.5**	5950**	60.5**	4220**	969647**	280194**
Rep(amb)	6	3676.1	5.4	0.1	0.04	279	0.8	40	6082	5144
Gpos	5	50558.7**	18.5**	3.1**	0.65**	122**	85.1**	236**	16911**	6652**
Pobs(gpos)	29	3518.5**	4.6**	0.4**	0.31**	127**	6.9**	39**	9551**	4406**
Ambs*gpos	10	18232.6**	31.8**	0.2ns	0.2**	176**	5.6**	102**	35262**	19833**
Ambs*pobs(gpos)	58	750.3*	4.9**	0.2*	0.06**	54**	2.1ns	26**	5457*	2648**
Error	198	483	2.5	0.1	0.027	12	1.7	16	3689	1376

**, * significativo con $\alpha \leq 0.01$ y 0.05, respectivamente, ns = no significativo; FV = fuente de variación, GL = grados de libertad; RG = rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); DO = diámetro de olote (cm); NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGM = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane.

Cuadro 4.3. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones de maíz evaluadas en tres ambientes durante el 2006.

Amb	RG		LMz		DMz		DO		IDg		NHM		NGH		NGM		PIG	
	t	ha ⁻¹	Cm	Cm	Cm	Cm	cm	cm	%	%	%	%	%	%	%	%	Mg	Mg
TS	0.40c	10.9b	4.1b	4.1b	1.3b	1.3b	72.2b	11.5b	22.6b	258.9b	212.8b							
TRN	4.32b	15.3a	4.5 ^a	4.5 ^a	2.6a	2.6a	85.6a	12.6a	34.0a	424.5a	306.4 ^a							
VA	5.53a	15.5a	4.4 ^a	4.4 ^a	2.5a	2.5a	85.5a	12.9a	33.5a	432.5a	301.4 ^a							
DHS	0.82	1.0	0.29	0.1	0.1	0.1	7.1	0.4	2.7	33.4	30.7							

Amb = ambiente; TS = Trópico Seco, TRN = Transición; VA = Valles Altos; RG = rendimiento de grano por hectárea; LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olate; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGM = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; IDg = índice de desgrane. En la misma columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey α , 0.05).

El rendimiento de grano mostró una interacción muy marcada con el ambiente, ya que al cambiar de uno de menor altitud y de temperatura alta (TS) a otros de mayor altitud y menor temperatura (TRN y VA), el RG aumentó gradualmente, mostrándose un rendimiento intermedio en el ambiente de TRN. En los tres ambientes se observó una clara separación de los grupos de poblaciones, dependiendo de su origen ecológico; el grupo 6 en TRN y VA presentó el rendimiento de grano más alto (acorde con el ambiente en el cual se formaron las poblaciones), seguido por el grupo 4 provenientes de lugares ecológicamente similares, no así en TS donde mostraron los rendimientos más bajos como muestra de su desadaptación; el grupo 3 mostró el menor rendimiento en TRN y VA (Cuadro 4.4). El que los grupos de poblaciones tropicales no mostraran altos rendimientos en VA, principalmente el grupo 3, no es motivo para descartarlos de los programas de mejoramiento, ya que mediante metodologías específicas en los VA se podría aumentar el rendimiento, como lo menciona Pérez *et al.* (2002).

Al comparar las características de las mazorcas de las poblaciones criollas de Tamaulipas con las variedades mejoradas se observó que tuvieron longitudes similares en el ambiente de TRN, y en TS y VA fueron estadísticamente diferentes; el diámetro de la mazorca del grupo 6 se diferenció estadísticamente de los demás grupos por presentar los valores más altos en los tres ambientes; este grupo, junto con el grupo 5,

Cuadro 4.4. Rendimiento de grano y sus componentes de grupos de poblaciones criollas y mejoradas de maíz evaluadas en tres ambientes contrastantes durante el 2006.

Amb	Gpo	RG	LMz	DMz	DO	IDg	NHM	NGH	NGM	PIG
		t ha ⁻¹	cm	Cm	cm	%				Mg
TS	1	0.65a	12.6a	3.9b	1.48a	79.6a	10.6a	25.4a	272ab	248 ^a
TS	2	0.58ab	13.2a	4.1ab	1.38ab	71.1b	11.6a	27.1a	308a	238 ^a
TS	3	0.49ab	11.8ab	4.0ab	1.26b	74.2ab	10.8a	24.7a	269ab	240 ^a
TS	4	0.21c	9.3bc	4.1ab	1.33ab	72.6b	11.7a	20.3a	242ab	174bc
TS	5	0.46b	11.3ab	4.1ab	1.38ab	71.7b	11.6a	22.4a	261ab	231ab
TS	6	0.09c	7.1c	4.5a	1.25b	62.7c	12.8a	12.7b	174b	165c
		DHS 0.16	3.0	0.5	0.18	6.0	2.3	7.3	108	63
TRN	1	4.3bc	15.4a	4.6b	2.64bc	85.1bc	11.9cd	35.7a	422bc	296b
TRN	2	3.7cd	15.2a	4.5bc	2.65bc	83.7cd	11.9cd	34.2a	407bc	296b
TRN	3	2.9d	15.6a	4.2c	2.37d	85.6bc	11.2d	35.0a	389c	298b
TRN	4	5.3ab	15.2a	4.5bc	2.45cd	87.2ab	12.9bc	34.5a	444ab	307b
TRN	5	3.9cd	15.0a	4.5bc	2.80ab	81.8d	13.3b	31.2b	408bc	282b
TRN	6	6.0a	15.4a	5.2 ^a	2.88a	87.9a	16.2a	30.2b	489a	363 ^a
		DHS 1080	1.0	0.3	0.22	2.3	1.2	2.5	47	30
VA	1	4.8c	15.4abc	4.3c	2.47bc	85.3abc	11.8d	34.4a	406cd	283c
VA	2	4.7c	15.3abc	4.4bc	2.56b	85.0bc	12.6c	33.5a	423bc	289bc
VA	3	3.3d	15.2bc	4.1d	2.37c	83.6cd	11.5d	33.0a	377d	287bc
VA	4	7.0b	15.9a	4.5b	2.47bc	87.0ab	13.2c	34.4a	453b	315b
VA	5	5.5c	15.1c	4.4bc	2.80a	81.5d	14.1b	32.9a	463b	253d
VA	6	8.4a	15.7ab	5.1 ^a	2.73a	88.3a	16.3a	31.9a	521a	359 ^a
		DHS 0.8	0.6	0.16	0.15	3.1	0.8	3.1	41	29

En columna, letras iguales, indican no diferencias dentro del ambiente (Tukey $\alpha_{0.05}$). TS = Trópico Seco; TRN = Transición; VA = Valles Altos. RG = rendimiento de grano por hectárea; LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olate; IDg = índice de desgrane; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGM = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano.

presentaron el mayor diámetro de olote en TRN y VA; en contraste, las poblaciones criollas de Tamaulipas presentaron olotes más delgados (Cuadro 4.4), lo cual es una característica de la raza Tuxpeño a la que pertenecen estas poblaciones, y además, es una práctica común del agricultor al seleccionar su semilla para mantener en su población características como mayor tamaño de grano y olotes delgados. El diámetro de mazorca de los grupos de poblaciones criollas de Tamaulipas fue similar al reportado por Carrera y Cervantes (2006) en líneas tropicales adaptadas a los Valles Altos.

En el caso de TRN y VA los grupos 4 y 6 presentaron los valores más altos de IDg (88 y 87 % respectivamente) y tuvieron granos de mayor tamaño; el grupo 5 presentó el IDg más bajo en estos ambientes (81 %), así como granos pequeños y cristalinos. En TS todos los grupos disminuyeron en su expresión, con valores inferiores al 80 %. Un IDg superior al 85 % es lo ideal en las poblaciones, por ser un componente importante del rendimiento mismo, que puede ser aprovechado en nuevas combinaciones de germoplasma.

El número de hileras por mazorca y de granos por hilera tuvieron su mejor expresión en TRN y VA, a diferencia del TS donde todos los grupos presentaron valores inferiores. En TRN y VA las variedades mejoradas (grupos 5 y 6) presentaron el mayor número de hileras por mazorca, comparados con los grupos de poblaciones criollas de Tamaulipas, pero también un menor número de granos por hilera; esa diferencia estuvo dada por el tipo de raza a la que pertenecen. En los grupos de poblaciones criollas de Tamaulipas predomina la raza Tuxpeño, que se caracteriza por ser de mazorcas largas, cilíndricas, con pocas hileras (de 12 a 14) pero con un alto número de granos por hilera; sin embargo, el grupo 6, el cual pertenece a la raza Chalqueño tiene mazorcas con mayor número de hileras que las tropicales, aunque de mazorcas más cortas (Wellhausen *et al.*, 1951). El grupo 5 (variedades mejoradas de Tamaulipas, de la raza Tuxpeño) son una muestra de que mediante mejoramiento genético se pueden modificar características como el número de hileras, dependiendo de los criterios de

selección utilizados, aunque pueden no expresarse o reprimirse la expresión de otras (Cuadro 4.4).

Para PIG en el ambiente TS los grupos de poblaciones 1, 2 y 3 presentaron los valores más altos, en contraste con los grupos 4 y 6 que tuvieron los valores más bajos con mayor susceptibilidad al estrés causado por la temperatura alta; sin embargo, al cambiar a TRN y VA estos mismos grupos mostraron expresiones superiores al 100 % de lo obtenido en TS (Cuadro 4.4). En los demás grupos, al cambiar de ambiente, el incremento fue de sólo 20 %. El grupo 5 presentó valores bajos en los tres ambientes; es decir, el mejoramiento practicado le ha reducido el tamaño y el peso del grano (Cuadro 4.4).

Con la finalidad de realizar una caracterización del potencial de rendimiento, en el Cuadro 4.5 se presenta el comportamiento individual de las poblaciones con relación al rendimiento de grano y sus componentes, bajo el ambiente de VA; considerando que fue éste el que presentó las condiciones ambientales más cercanas a las óptimas para el cultivo de maíz y en consecuencia la mejor expresión de las poblaciones evaluadas. Dentro de las poblaciones criollas de Tamaulipas; 12 tuvieron LMz ≥ 15.5 cm; 20 fueron de DO ≤ 2.5 cm; 11 presentaron IDg ≥ 87 %; sólo 3 poblaciones tuvieron NHM ≥ 14 ; 9 fueron las de NGH ≥ 35 ; 9 resultaron con el NGM ≥ 450 ; 11 mostraron el RG ≥ 5.6 t ha¹; y 7 la prolificación ≥ 50 %. Ninguna de las 29 poblaciones presentó mazorcas con diámetro ≥ 5.0 cm, ni peso individual de grano ≥ 350 mg. En el grupo de la zona montañosa (grupo 4) hubo poblaciones con el mayor número de características sobresalientes, desde 3 hasta 7 de diez, consideradas en el presente estudio (LMZ, DO, NHM, NGH, NGM, IDg y RG), aunque ninguna expresó porcentajes de prolificación mayores que 39 %.

Del grupo 1, de la zona centro del Estado, sobresalieron por su alta prolificación las poblaciones C-3001, C-3004 y C-3024. La población C-3001, dentro de su grupo, tuvo alto rendimiento de grano, explicado por la aportación de las segundas mazorcas que formaron las plantas prolíficas que se presentaron en alta frecuencia en la población; la

Cuadro 4.5. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones criollas y mejoradas de maíz, evaluadas en Montecillo, Edo. de México 2006.

Población	Gpo	LMz cm	DMz cm	DO cm	IDg %	NHM	NGH	NGM	PIG mg	RG t ha ⁻¹	Profl %
C-3001	1	15.4	4.5	2.7	83	12.5	34.1	428	283	5.6	55.0
C-3003	1	15.2	4.5	2.7	84	12.7	32.8	415	297	5.4	47.8
C-3004	1	15.3	4.1	2.3	87	11.5	36.7	421	268	5.3	71.0
C-3024	1	15.6	4.1	2.2	87	10.7	33.8	359	285	2.8	68.5
C-3006	2	15.3	4.4	2.6	86	14.1	34.0	482	267	4.5	41.8
C-3007	2	14.5	4.6	2.5	86	13.1	33.2	434	286	5.5	38.3
C-3011	2	15.1	4.5	2.7	82	12.0	31.8	381	309	4.6	46.9
C-3012	2	15.5	4.3	2.3	86	11.6	34.0	394	318	5.3	50.5
C-3016	2	14.2	4.3	2.4	87	12.0	33.4	400	286	5.4	52.1
C-3022	2	15.1	4.0	2.1	88	11.3	36.5	413	268	5.5	49.8
C-3023	2	17.3	4.8	3.2	79	14.4	31.9	458	291	2.3	34.3
C-3033	3	14.6	4.3	2.3	87	11.9	31.5	373	334	3.4	33.8
C-3038	3	15.2	4.1	2.4	85	11.3	33.3	378	259	2.7	63.5
C-3039	3	15.3	4.5	2.8	77	12.3	31.3	383	292	1.8	34.4
C-3040	3	15.4	4.1	2.4	86	11.5	36.7	420	258	3.8	48.6
C-3041	3	15.3	4.3	2.6	84	12.1	33.0	401	319	5.0	46.5
C-3043	3	15.4	4.1	2.4	86	12.1	35.7	433	247	4.0	58.6
C-3051	3	15.1	3.8	2.3	74	10.6	26.5	276	322	1.1	16.7
C-Ocampo	3	15.0	3.7	1.9	89	9.9	35.7	353	263	4.4	49.1
C-4021	4	16.3	4.4	2.5	86	13.1	35.0	456	295	7.4	38.9
C-4022	4	16.1	4.6	2.6	86	13.2	34.4	454	316	7.0	25.2
C-4026	4	16.0	4.8	2.6	88	13.1	34.6	453	342	7.2	7.9
C-4028	4	15.5	4.8	2.5	86	13.3	32.8	437	345	6.4	18.7
C-4030	4	15.8	4.1	2.3	89	12.8	35.5	455	273	6.0	26.9
C-4031	4	16.8	4.6	2.5	86	12.7	33.7	427	348	8.3	20.6
C-4032	4	15.5	4.4	2.3	87	14.0	35.3	494	292	6.9	22.5
C-4034	4	15.3	4.4	2.5	88	12.8	34.0	436	309	6.3	23.6
C-4035	4	15.9	4.7	2.5	86	12.9	35.1	454	319	7.5	19.6
C-4037	4	15.9	4.5	2.3	88	13.7	33.8	464	313	7.2	14.2
UAT-Comp II	5	14.7	4.2	2.5	85	11.7	33.6	395	279	5.9	57.6
H-437	5	15.4	4.6	3.1	78	16.5	32.1	530	226	5.2	42.9
VS-Chapingo 3	6	15.9	5.1	2.8	88	16.3	32.9	535	374	9.3	25.4
VS-San Bernardino	6	15.7	4.9	2.6	89	15.7	32.2	506	325	7.2	24.2
H-San Juan	6	15.7	5.2	2.8	88	16.4	31.2	510	374	8.9	22.5
H-San Isidro	6	15.5	5.1	2.7	88	16.9	31.3	530	365	8.3	11.5
DSH		1.8	0.5	0.4	9	2.3	8.8	116	84	2.3	39.6
CV		3.5	32	5.4	3.1	5.3	8.1	8.2	8.5	12.7	32.5

LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olote; IDg = índice de desgrane; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGM = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; RG = rendimiento de grano por hectárea; Profl = porcentaje de proliferación.

C-3004 fue sobresaliente porque tuvo el mayor porcentaje de proliferación de todas las poblaciones (71 %), por el mayor número de granos por hilera, por sus olotes delgados y un valor alto de índice de desgrane; la C-3024, además de sobresalir en las características ya señaladas, presentó mazorcas largas; sin embargo, esta población mostró bajo rendimiento de grano por la influencia de mazorcas delgadas y con pocas hileras, baja cantidad de granos por mazorca y de PIG bajo (Cuadro 4.5). Las poblaciones de este grupo, por su alto valor de proliferación, pueden aprovecharse como donadoras de genes para este carácter en los programas de mejoramiento, ya que para el campesino es atractiva una población prolífica o “cuatera”, como las llaman, porque se cosechan más mazorcas por unidad de superficie.

En el grupo 2, de la zona del ex IV Distrito, ninguna población presentó rendimiento de grano mayor a 5.5 t ha^{-1} , aunque algunas sobresalieron para algunos componentes de rendimiento. Así, la población C-3023 presentó la mayor longitud de mazorca y el mayor número de hileras por mazorca, de todas las poblaciones criollas de Tamaulipas, pero tuvo bajo rendimiento, debido al bajo establecimiento de plantas, ya que algunas poblaciones tropicales tuvieron problemas de germinación, no lográndose la densidad deseada. También las poblaciones C-3012 y C-3016 presentaron más de 50 % de proliferación y olotes delgados (Cuadro 4.5).

Las poblaciones del grupo 3, provenientes de la zona de la Huasteca Tamaulipeca, presentaron rendimientos menores a 5.5 t ha^{-1} , existiendo en este grupo las poblaciones con los rendimientos más bajos de todas las evaluadas. Las C-3038 y C-3043 tuvieron olotes delgados, mayor número de granos por hilera y alta proliferación. Cabe mencionar a la población C-Ocampo que presentó olotes delgados (1.9 cm de diámetro) y el mejor índice de desgrane (89 %) de todas las poblaciones criollas, además del alto número de granos por hilera (Cuadro 4.5), también fue sobresaliente en la producción de biomasa, con plantas altas, tallos fuertes y sin problemas de acame (datos no presentados), lo que la hace atractiva como productora de forraje.

Con base en los resultados obtenidos, el uso inmediato que podría darse a las poblaciones criollas sobresalientes de los grupos 1, 2 y 3, sería aprovechar su alto potencial de proliferación, incorporando el carácter en material genético de los Valles Altos Centrales de México o de cualquier otro lugar donde se realice mejoramiento con este cultivo, ya que como lo señalan Montenegro *et al.* (2002) es una característica deseable como criterio de selección en maíz.

Por su parte, las diez poblaciones criollas que conforman el grupo 4, de la zona montañosa, sobresalieron por tener mazorcas largas, olote delgado, mayor número de granos por mazorca e índice de desgrane de 86 a 89 %, además de un alto rendimiento de grano por hectárea. Entre ellas, la población C-4031 presentó el rendimiento de grano más alto (Cuadro 4.5), debido principalmente al mayor tamaño de mazorca y al olote delgado, con lo cual igualó estadísticamente a las poblaciones de los Valles Altos; las poblaciones C-4030 y C-4032 fueron las que sobresalieron en la mayoría de las variables.

Con respecto a las variedades mejoradas de Tamaulipas, sólo el compuesto UAT-Comp II presentó rendimiento de grano de 5.9 t ha⁻¹, olotes delgados y alta proliferación; las variedades mejoradas de Valles los Altos, por haber crecido en el ambiente en donde fueron formadas, tuvieron los mayores valores en la mayoría de las variables; VS Chapingo-3 y los híbridos H-San Juan y H-San Isidro presentaron siete de las diez variables sobresalientes: LMz, DMz, NHM, NGH, NGM, IDg, PIG y RG; sin embargo, presentan olotes gruesos, tienen menor número de granos por hilera y proliferación baja; en este sentido, la incorporación de genes de algunas poblaciones sobresalientes de las criollas de Tamaulipas a través de cruzamientos podrían contribuir en incrementar el rendimiento de grano de las mismas.

El aprovechamiento de las poblaciones criollas de Tamaulipas que fueron sobresalientes en los Valles Altos puede ser *per se*; por su diversidad genética dentro de la población se podrían mejorar algunas características como tolerancia a royas, etc. Por su procedencia, seguramente existe una gran divergencia entre estas

poblaciones y el germoplasma de los Valles Altos, por lo que la formación de líneas endogámicas y la hibridación entre ellas podría ser una buena opción. Se ha reconocido que líneas endogámicas con germoplasma tropical no sólo son una fuente útil para aumentar la diversidad genética, sino que también son competitivas al cruzarse con materiales de áreas templadas ya que producen híbridos con alto rendimiento (Montenegro *et al.*, 2002; Carrera y Cervantes, 2006).

4.5. CONCLUSIONES

La mejor expresión del rendimiento de grano de todas las poblaciones evaluadas se observó en el ambiente de VA como resultado de las condiciones ambientales más cercanas a las óptimas, de forma contraria el ambiente de TS que presentó temperatura alta durante el desarrollo reproductivo que provocó la expresión más baja del rendimiento de grano.

De las poblaciones criollas de Tamaulipas, las poblaciones del grupo 4 fueron las más sobresalientes en VA, con mazorca larga, olote delgado, mayor número de granos por mazorca, alto rendimiento e índice de desgrane; individualmente destacó la C-4031 con el mayor rendimiento de grano igualando estadísticamente a las variedades mejoradas de Valles Altos.

Las poblaciones tropicales de los grupos 1, 2 y 3 sobresalieron en el ambiente de VA con promedios altos de prolificación y olotes delgados, características deseables para ser aprovechadas en programas de mejoramiento bajo este ambiente.

En general, las poblaciones criollas de Tamaulipas en los Valles Altos presentaron alta diversidad genética, misma que pone de manifiesto que en el Estado de Tamaulipas, México, actualmente existen poblaciones con alto potencial agronómico para ser aprovechadas, tanto localmente como en otros ambientes, como los estudiados en el presente trabajo.

4.6. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F., A. Cirilo, S. Uhart y M. E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y Dekalb Press, Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Borras, L., and M. E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science* 49: 1816-1822.
- Carrera V., J. A., y T. Cervantes S. 2006. Respuesta a densidad de población de cruza de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (4): 331-338.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.
- Evans, L. T. 1993. *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge Univ. Press. 500 p.
- Goodman M., M. and W. L. Brown. 1988. Races of corn. In: G. F. Sprague (ed.). *Corn and Corn Improvement*. ASA. *Agronomy Monograph* N° 18. 3rd edition. pp 33-79.
- Kang, M. S. and R. Magary. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: M. S. Kang and H. G. Jr. Gauch (eds). *Genotype-by-Environment Interaction*. CRC. Boca Raton, FL. pp. 1-14.
- Montenegro T., H., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., H. de León C., y G. Castañón N. 2002. Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25 (2): 135-142.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., y M. Livera M. (eds). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Pérez C., A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. *Rendimiento, altura de planta y precocidad*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25: 435-441.
- Reyes C., P. 1990. *El Maíz y su Cultivo*. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- SAS Institute Inc. 1995. *SAS Language and Procedure: Usage, Versión 6*. SAS Institute, Cary, NC, USA.

Tollenaar, M., D. E. McCullough, and L. M. Dwyer. 1994. Physiological basis of genetic improvement of corn. In: G. A. Slafer, (ed). Genetic Improvement of Field Crops. Marcel Dekker, Inc. N. Y. pp. 183–236.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz de México. Su Origen, Características y Distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería–Oficina de Estudios Especiales. México, D. F. Folleto Técnico No. 5. 236 p.

CAPÍTULO V

AGRUPAMIENTO DE POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ DE TAMAULIPAS POR ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

5.1. RESUMEN

El análisis de componentes principales ha sido una herramienta útil para la clasificación y agrupamiento de poblaciones con características afines. El objetivo de este trabajo fue agrupar por medio de análisis de componentes principales, a poblaciones de maíz de Tamaulipas y de Valles Altos Centrales de México por características similares. Se consideraron tres ambientes contrastantes: Trópico Seco, Transición y Valles Altos; se analizaron variables fenológicas y morfológicas, además del rendimiento y sus componentes. La dispersión de las poblaciones cuando se analizó su comportamiento de los tres ambientes, fue similar a la agrupación que presentaron en los ambientes de Transición y Valles Altos, sólo el ambiente de Trópico Seco mostró un agrupamiento diferente; las poblaciones de los grupos 4 y 6 se agruparon entre sí y tuvieron características muy similares; se observó que aun cuando provienen de diferentes zonas ecológicas del Estado, las demás poblaciones criollas de Tamaulipas, compartieron entre ellas características semejantes y que al aplicar análisis de este tipo se localizaron muy cerca unas de otras, sólo aquellas que presentaron contrastes fuertes, quedaron fuera del agrupamiento dado; como las dos poblaciones del grupo 3 (C-3051 y C-Ocampo) que fueron las más tardías, las más altas y con un mayor número de hojas por planta; las otras dos poblaciones que contrastaron fueron C-3023 (grupo 2) y H-437 (grupo 5) que presentaron peso y diámetro de olote alto, además de índice de desgrane bajo y plantas con longitud de entrenudos cortos. El análisis de componentes principales indicó que las variables fenológicas (días a floración masculina y femenina, y longitud de entrenudos) y morfológicas (altura de planta y número de hojas) fueron las variables más importantes para definir la distribución de la variación entre las poblaciones.

Palabras clave: poblaciones criollas de maíz, análisis de componentes principales, agrupamiento de poblaciones.

5.2. INTRODUCCIÓN

El análisis de componentes principales (ACP) consiste en transformar la serie de variables originales en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, llamadas componentes principales. Estas nuevas variables son combinaciones lineales de las variables originales y se derivan en orden decreciente de importancia (varianza), de manera que el primer componente principal describe la mayor proporción de la variación, con respecto a los datos originales (Sánchez, 1995).

Esta técnica se utiliza para encontrar combinaciones lineales que expliquen una alta proporción de la varianza global. En muchos estudios exploratorios, el número inicial de variables es demasiado grande, por lo que su utilidad consiste en reducir el número de tales variables al descartar las combinaciones lineales con varianzas pequeñas y considerar únicamente las que tienen varianzas grandes (Anderson, 1984).

El ACP ha sido útil en la clasificación de variedades de trigo desde un punto de vista multivariado (Plana *et al.*, 2001); también se ha aplicado para el estudio a nivel racial de la diversidad del maíz en México (Sanchez *et al.*, 2000), así como la diversidad en áreas geográficas específicas (Herrera-Cabrera *et al.*, 2004) y se han agrupado poblaciones con base en su coloración de grano (Espinosa-Trujillo *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo fue agrupar por medio del análisis de componentes principales a poblaciones de Tamaulipas y de Valles Altos Centrales de México por sus características similares, aun cuando no son originarias de la misma zona ecológica y al evaluarlas en ambientes contrastantes. También, conocer cuáles variables son las que tienen la mayor influencia sobre el agrupamiento de las poblaciones.

5.3. MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 29 poblaciones criollas de maíz del estado de Tamaulipas, clasificadas por su origen ecológico en cuatro grupos; además de seis variedades mejoradas divididas en dos grupos: dos variedades de Tamaulipas y cuatro de los Valles Altos Centrales de México (Cuadro 5.1) en tres ambientes contrastantes: I) Trópico Seco

(TS), localizado en la Posta Zootécnica “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en el municipio de Güemez, Tamaulipas, en donde prevalece un clima (A) Ca (wo) (e) w” (García, 1987), con temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación media anual de 800 mm; II) Transición (TRN): ubicado en terrenos del Consejo de Desarrollo “Cinta Larga” del municipio de Mixquiahuala, Hidalgo, con temperatura media anual de 17 °C y precipitación media anual de 509 mm, por su altitud se considera zona de transición (2050 msnm); y III) Valles Altos (VA): en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, Edo. de México, con una altitud de 2250 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente.

La siembra en los ambientes de TRN y VA fue en el ciclo primavera-verano de 2006 y en TS en otoño-invierno del mismo año, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en parcelas de dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m de separación entre surcos, estableciendo una densidad de siembra de 50 000 plantas por hectárea.

Las variables medidas fueron: fenológicas como días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) y asincronía floral (AF), y morfológicas como longitud de entrenudos (LE), altura de planta (AP) y número de hojas totales (NHJT); rendimiento de grano (RG), y sus componentes, longitud de mazorca (LMz), diámetro de mazorca (DMz) y de olote (DO), número de hileras por mazorca (NHMz) y de granos por hilera (NGH), número de granos por mazorca (NGMz), peso individual de grano (PIG), peso de olote (PO) e índice de desgrane (ID).

Se realizó un análisis estadístico de componentes principales en cada ambiente y uno general que considera el comportamiento de las variables en los tres ambientes; se usó el paquete estadístico SAS versión 6 (SAS, 1995).

Cuadro 5.1. Poblaciones criollas de Tamaulipas y mejoradas de maíz, evaluadas en tres ambientes contrastantes durante 2006.

Grupo	Población	Origen	Grupo	Población	Origen
1	C-3001	Padilla	4	C-4021	Bustamante
1	C-3003	Padilla	4	C-4022	Miquihuana
1	C-3004	Padilla	4	C-4026	Miquihuana
1	C-3024	Hidalgo	4	C-4028	Miquihuana
2	C-3006	Tula	4	C-4030	Miquihuana
2	C-3007	Tula	4	C-4031	Miquihuana
2	C-3011	Tula	4	C-4032	Miquihuana
2	C-3012	Tula	4	C-4034	Miquihuana
2	C-3016	Tula	4	C-4035	Miquihuana
2	C-3022	Tula	4	C-4037	Miquihuana
2	C-3023	Tula	5	UAT-Comp II	Güemez
3	C-3033	Llera	5	H-437- INIFAP	Río Bravo
3	C-3038	Llera	6	VS-Chapingo-3	UACH
3	C-3039	Llera	6	VS-San Bernardino	UACH
3	C-3040	Llera	6	H-San Juan	UACH
3	C-3041	Llera	6	H-San Isidro	UACH
3	C-3043	Llera			
3	C-3051	Gómez Farías			
3	C-Ocampo	Ocampo			

Grupo 1, zona centro, con clima cálido subhúmedo; grupo 2, zona del ex IV Distrito, con clima semicálido seco; grupo 3, de la zona Huasteca, con clima cálido húmedo; grupo 4, zona montañosa, con clima templado seco; grupo 5, variedades mejoradas de Tamaulipas; grupo 6, variedades mejoradas de los Valles Altos Centrales de México. INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; UACH = Universidad Autónoma Chapingo.

5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambiente del Trópico Seco

El análisis de componentes principales para el ambiente TS indicó que el 69.1 % de la variación fue explicada por los primeros tres componentes; el componente 1 explicó el 37.2 % de la variación global y las variables que más contribuyeron a determinar el componente 1 (C_1) fue la longitud de mazorca, los granos por hilera, el número de granos por mazorca y el rendimiento de grano. Es importante señalar que para este ambiente las variables señaladas tuvieron una variación colineal; es decir, las poblaciones de mazorca larga tuvieron un mayor número de granos por hilera y en consecuencia, mayor rendimiento; en cambio, el componente 2 (C_2) explicó el 19.1 % de la variación global y estuvo determinada en mayor grado por la longitud de

entrenados, la altura de planta y el número de hileras. El componente 3 (C₃) explicó el 12.8 % de la variación global y estuvo determinada por los días a floración masculina y femenina (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluados en el ambiente del Trópico Seco.

Variables	C ₁	C ₂	C ₃
LMz	0.386	-0.036	0.081
DMz	-0.216	-0.344	0.137
DO	0.121	-0.156	0.100
NHMz	-0.102	-0.451	0.048
NGH	0.387	-0.036	0.045
NGMz	0.339	-0.210	0.046
PIG	0.277	0.180	0.184
PO	0.257	-0.296	0.283
ID	0.254	0.290	-0.218
RG	0.350	0.022	0.209
DFM	-0.140	0.121	0.610
DFF	-0.238	0.112	0.505
AF	0.322	-0.016	0.082
NHJT	-0.053	0.021	0.247
AP	0.033	0.377	0.239
LE	-0.041	0.483	-0.036

Varianza explicada 0.372 0.191 0.128
 Valores propios 5.95 3.06 2.05

LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olote; NHMz = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGMz = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; PO = peso de olote; ID = índice de desgrane; RG = rendimiento de grano; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AF = asincronía floral; NHJT = número de hojas totales; AP = altura de planta; LE = longitud de entrenudos.

En la Figura 5.1 se observa la dispersión de las poblaciones originarias de diferentes ambientes ecológicos que previamente se habían clasificado por grupos, lo que hace suponer que respondieron diferencialmente al ambiente del TS por tener atributos genéticos que se expresan de acuerdo a las condiciones ambientales que se presentaron durante la conducción del experimento; los grupos 4 y 6 se vieron más afectados por el ambiente con valores bajos en las variables evaluadas, lo que se reflejó en la distribución que mostraron sus poblaciones, separándose de las poblaciones de los grupos 1, 2 y 3 que tuvieron mejor comportamiento.

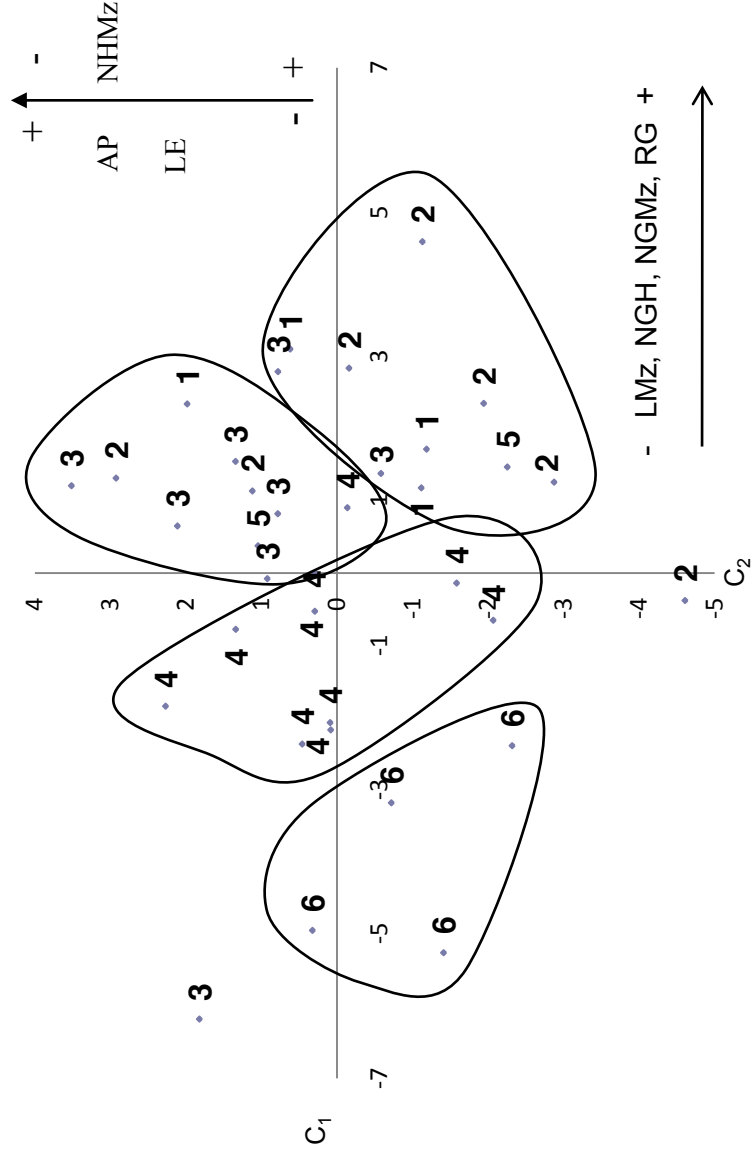


Figura 5.1. Dispersión de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales en el ambiente del Trópico Seco.

De acuerdo con la posición que tomaron las poblaciones en el plano cartesiano comprendido por ambos ejes, los grupos 1, 2, 3 y 5 presentaron los valores más altos en este ambiente del componente 1, por su mayor longitud de mazorca, más granos por hilera, mayor número de granos por mazorca y rendimiento, quedándose el grupo 6 y 4 con los valores bajos; se observa que una población del grupo 3 (C-3051) fue la más alejada de las demás poblaciones, ésta proviene de una área de mayor altura que las demás de su grupo y al evaluarla en condiciones de alta temperatura tuvo efectos negativos en su comportamiento. Con base en estos resultados se puede decir que las poblaciones de los grupos 1, 2, 3 y 5 en este ambiente, mostraron características muy similares, pero no son favorables pues no expresaron su mejor comportamiento. Las poblaciones ubicadas en la parte superior del eje C_2 , presentaron entrenudos más largos y de mayor altura de planta (Figura 5.1).

Se encontró una alta correlación entre el rendimiento de grano y algunos de sus componentes (granos por hilera, longitud de mazorca y número de granos por mazorca). La longitud de entrenudos estuvo altamente correlacionada, junto con la altura de la planta (Figura 5.2). Para este ambiente y estas poblaciones las variables fenológicas y morfológicas presentaron poca variación.

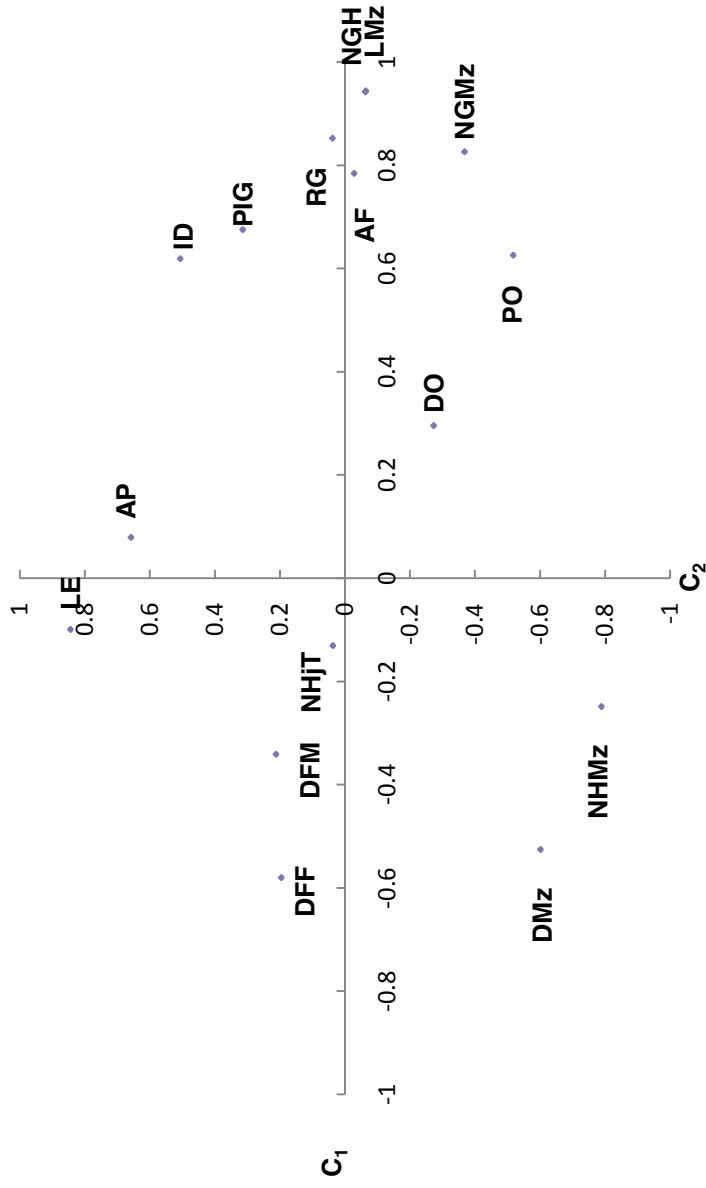


Figura 5.2. Dispersión de 16 variables medidas, en el plano determinado por los dos primeros componentes principales ($C_1 = 37.2\%$ y $C_2 = 19.1\%$) en el Trópico Seco.

Ambiente de Transición

El análisis de componentes principales en el ambiente de TRN mostró cambios con relación al ambiente de TS. Los tres primeros componentes explicaron el 77.6 % de la variación total (8.5 % más que TS). Las variables originales que determinaron en mayor grado al primer componente (C_1) fueron los días a floración masculina y femenina, en

forma negativa, y positivamente la asincronía entre ambos, el diámetro de mazorca y el número de hileras; el segundo componente (C_2) estuvo determinado positivamente por el diámetro de olate, el peso de olate y en forma negativa, el índice de desgrane y la longitud de entrenudos; el tercer componente (C_3) se explicó por el peso individual de grano, la altura de planta y la longitud de mazorca (Cuadro 5.3). A diferencia del ambiente de TS, en TRN tuvieron más relevancia las variables fenológicas y morfológicas.

Cuadro 5.3. Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluados en el ambiente de Transición.

Variables	C_1	C_2	C_3
LMz	-0.029	0.093	0.358
DMz	0.317	0.177	0.243
DO	0.216	0.403	0.082
NHMz	0.327	0.111	0.097
NGH	-0.211	-0.257	-0.007
NGMz	0.301	-0.024	0.115
PIG	0.179	0.010	0.569
PO	0.157	0.420	0.067
ID	0.072	-0.435	0.209
RG	0.310	-0.174	0.131
DFM	-0.331	0.193	0.164
DFF	-0.333	0.192	0.165
AF	0.318	-0.171	-0.151
NHJT	-0.280	0.208	0.217
AP	-0.229	-0.163	0.453
LE	0.008	-0.387	0.256

Varianza explicada 0.431 0.239 0.106
Valores propios 6.890 3.830 1.694

LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olate; NHMz = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGMz = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; PO = peso de olate; ID = índice de desgrane; RG = rendimiento de grano; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AF = asincronía floral; NHJT = número de hojas totales; AP = altura de planta; LE = longitud de entrenudos.

En este ambiente se observó una clara separación de las poblaciones de los grupos 4 y 6; la separación se dio por ser poblaciones más precoces; se aprecia también que los grupos 1, 2 y 5 presentaron DFM y DFF similares entre sí y sólo el grupo 3 fue el más tardío; además, el grupo 6 presentó un mayor diámetro de mazorca y mayor

número de hileras por mazorca, características propias de materiales de los Valles Altos Centrales de México y el tipo de raza a la cual pertenecen (Figura 5.3).

Con referencia al eje vertical (C_2), se separaron claramente dos poblaciones, una del grupo 2 (C-3023, originaria de Tula, Tam.) y otra del grupo 5 (H-437, población mejorada de Tamaulipas), esa separación se dio por tener olotes de mayor diámetro y mayor peso, resultando en índices de desgane bajos, además de presentar plantas con entrenudos cortos (Figura 5.3).

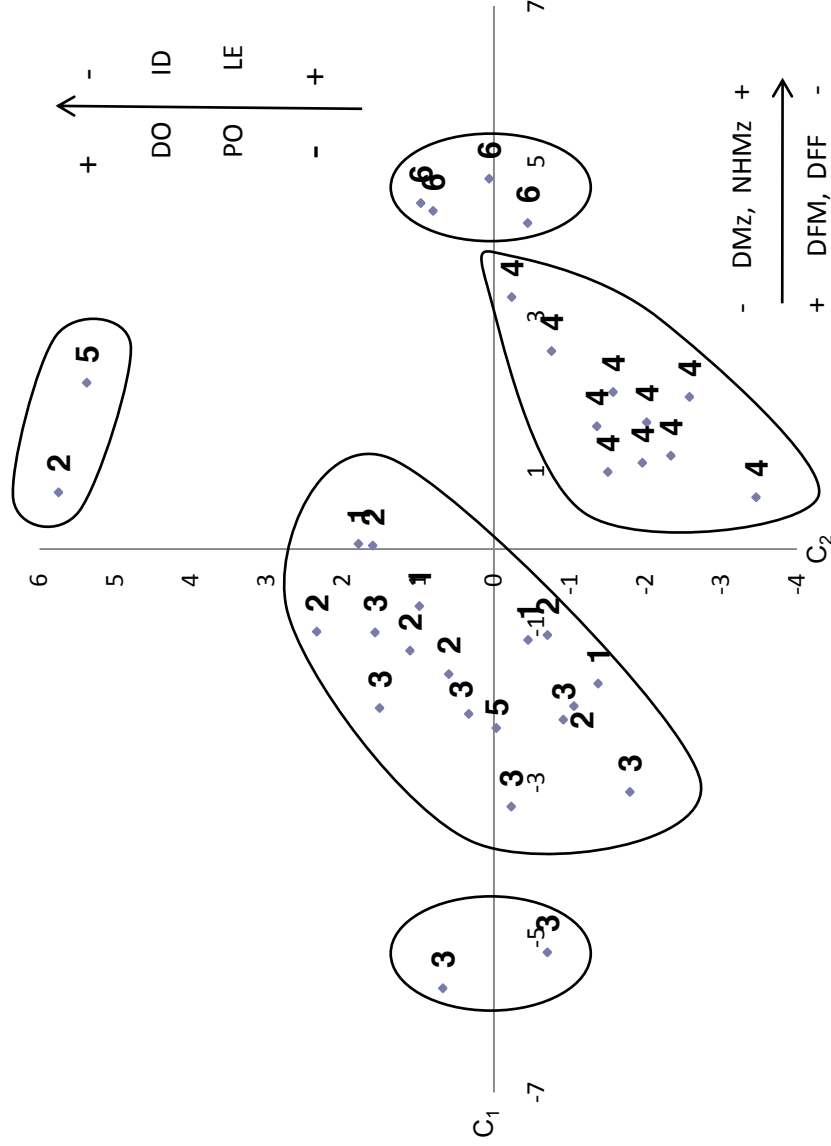


Figura 5.3. Agrupamiento de las poblaciones en base a los dos primeros componentes principales en el ambiente de Transición (Mixquiahuala, Hgo.). El número corresponde al grupo por origen geográfico de la población.

Por la dispersión mostrada en la Figura 5.3 (TRN) queda de manifiesto que existe variabilidad genética entre las poblaciones originarias de Tamaulipas y que el grupo de poblaciones de la zona montañosa del Estado (grupo 4) presentó características similares entre sí, distinguiéndose de las demás poblaciones del Estado por atributos como mayor precocidad. Este grupo presentó similitud con las poblaciones mejoradas de los Valles Altos. De acuerdo a la distribución de las poblaciones sobre los ejes de los componentes principales, existió divergencia genética entre poblaciones, tanto entre grupos, como dentro de los mismos grupos, lo cual debe aprovecharse para identificar poblaciones con características contrastantes para su posterior uso en programas de fitomejoramiento.

Existieron correlaciones altas entre las variables; haciendo notoria la separación entre el rendimiento y sus componentes y las variables fenológicas y morfológicas, observándose también en la Figura 5.4 que la longitud de mazorca fue independiente al comportamiento de las demás variables, esto pudiera ser explicado porque las poblaciones mostraron valores de esta variable muy similares entre sí.

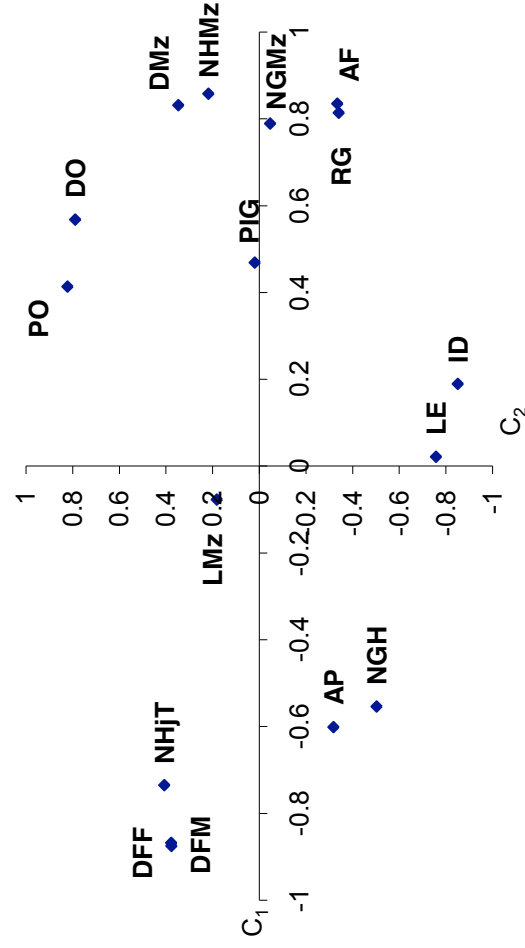


Figura 5.4. Dispersión de las variables originales sobre los ejes de los dos primeros componentes principales en el ambiente de transición.

Ambiente de los Valles Altos

En el ambiente de los Valles Altos se tuvo un comportamiento similar al de TRN. En éste el componente C₁ explicó el 50.1 % de la varianza global y estuvo determinado por los días a floración masculina y femenina, y el número de hojas, en forma negativa y positivamente, el diámetro de mazorca y el número de granos por mazorca. El componente C₂, explicó el 21.4 % de la variación global y estuvo determinado por el índice de desgrane, seguido por el diámetro y el peso de oloje. En el componente C₃ las variables determinantes fueron NGH, PIG y LE, y fueron las que explicaron la variación existente en este componente (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Vectores característicos para grupos de poblaciones evaluadas en el ambiente de Valles Altos.

Variables	C ₁	C ₂	C ₃
LMz	0.200	0.078	-0.164
DMz	0.317	0.149	0.149
DO	0.196	0.420	-0.034
NHMz	0.301	0.150	0.038
NGH	0.000	-0.345	-0.516
NGMz	0.308	0.002	-0.181
PIG	0.202	-0.039	0.504
PO	0.207	0.400	0.032
ID	0.110	-0.446	-0.142
RG	0.275	-0.237	0.120
DFM	-0.320	0.182	-0.030
DFF	-0.322	0.176	-0.004
AF	0.304	-0.116	-0.191
NHJT	-0.319	0.146	-0.100
AP	-0.253	-0.177	0.294
LE	0.0003	-0.328	0.475
Varianza explicada	0.501	0.214	0.112
Valores propios	8.014	3.426	1.790

LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de oloje; NHMz = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGMz = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; PO = peso de oloje; ID = índice de desgrane; RG = rendimiento de grano; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AF = asincronía floral; NHJT = número de hojas totales; AP = altura de planta; LE = longitud de entrenudos.

Las poblaciones de los grupos 4 y 6 se separaron claramente; las poblaciones restantes (grupos 1, 2, 3 y 5) no presentaron una definición clara de agrupamiento,

inclusive, dos pares de poblaciones se alejaron significativamente de los conjuntos, las poblaciones que se separaron fueron la C-3051 y la C-Ocampo del grupo 3, las cuales fueron las más tardías y presentaron el mayor número de hojas; las otras poblaciones fueron la C-3023 del grupo 2 y el H-437 del grupo 5 que presentaron índices de desgrane bajos, además del diámetro y peso de olote alto.

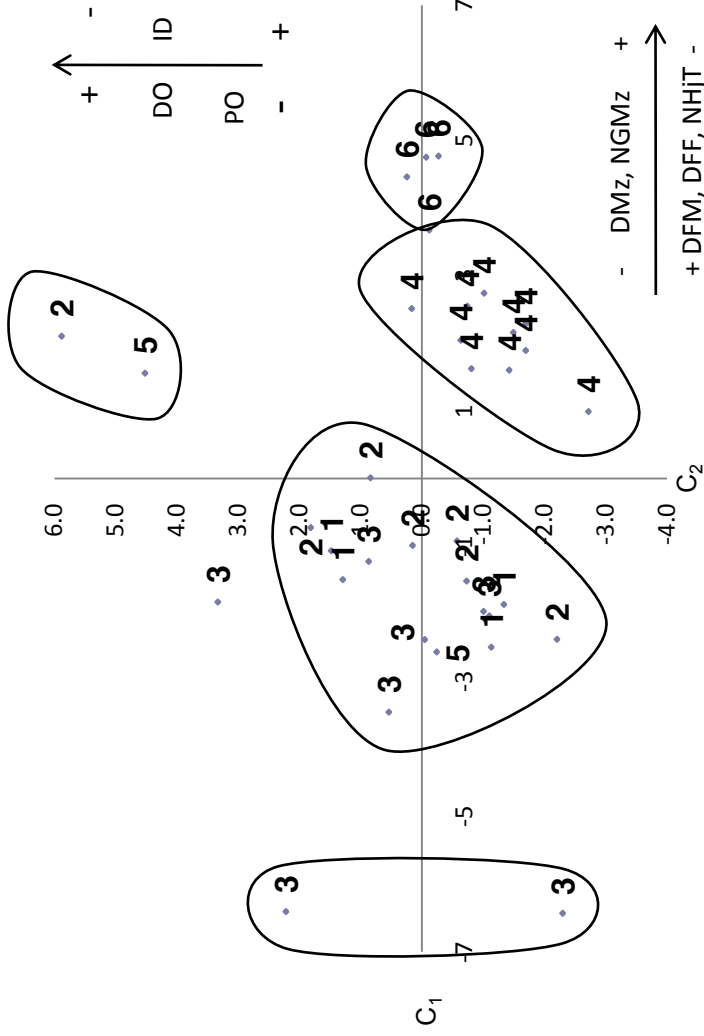


Figura 5.5. Dispersión de poblaciones de maíz con base en los dos primeros componentes principales en el ambiente de Valles Altos.

Las poblaciones sobre el eje del componente C₁, ubicadas más a la derecha, fueron las que presentaron floraciones tempranas, y en sentido opuesto, se observaron sobre ese mismo eje las poblaciones del grupo 3, las más tardías. Así como en el ambiente de transición hubo dos poblaciones de diferente grupo que se ubicaron en la parte superior del eje del componente C₂, estas poblaciones corresponden a C-3023 (del grupo 2) y H-437 (del grupo 5) que tuvieron los valores más altos de diámetro y peso de

olote, reflejándose en índices de desgrane bajos (que fue también un constituyente del componente 2), lo que tuvo influencia negativa en la producción de grano (Figura 5.5).

Las correlaciones de las variables con los componentes principales permitieron definir la separación de las variables fenológicas y morfológicas con las del rendimiento y sus componentes (Figura 5.6); este tipo de comportamiento en las poblaciones que se evaluaron mostró una consistencia a través de los ambientes.

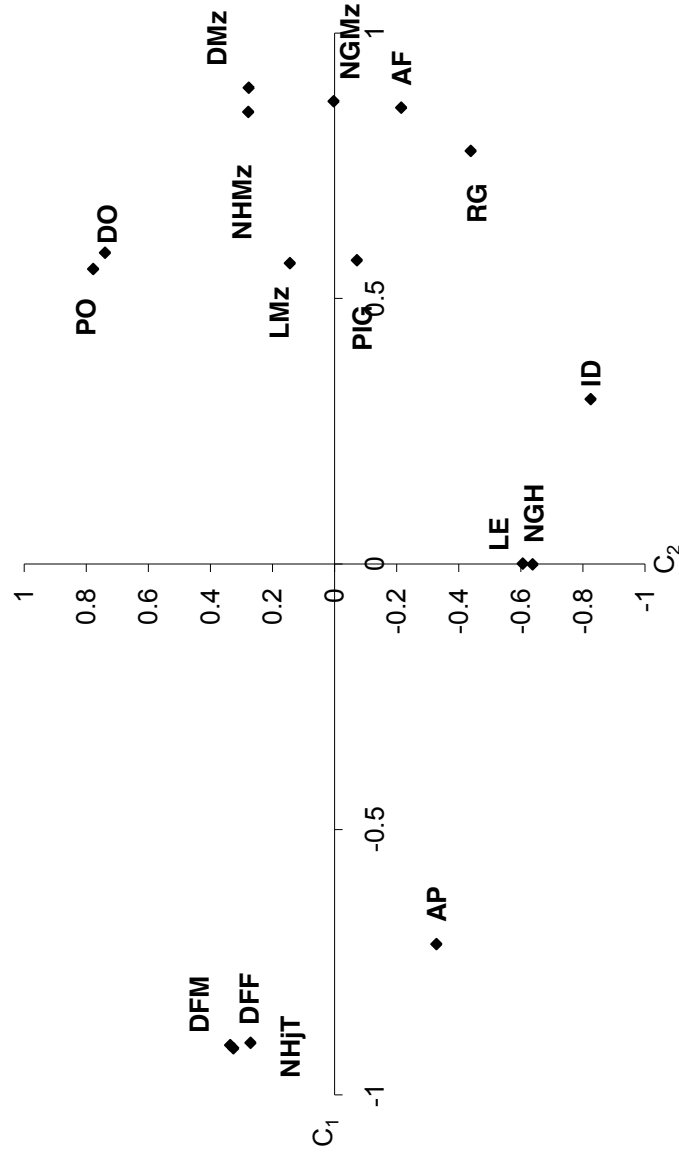


Figura 5.6. Correlaciones de las variables evaluadas con los dos primeros componentes principales en los Valles Altos.

Combinación de Ambientes

El análisis combinado del comportamiento de las poblaciones en los tres ambientes mostró la influencia positiva del diámetro de mazorca y el número de hileras, y negativa de los días a floración masculina y femenina, el número de hojas y la altura de las plantas en la determinación del componente C_1 , el cual explicó el 40 % de la variación

global; el componente C₂ explicó el 23.2 % de la variación global y estuvo determinado por las variables PO, LE, ID y DO; el NGH y la LMz fueron la variables de mayor influencia sobre el componente C₃, que explicó 16.7 % de la variación (Cuadro 5.5).

Cuadro 5.5. Vectores y valores característicos del análisis de componentes principales para diferentes grupos de poblaciones criollas y mejoradas de maíz desarrolladas en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura

Variables	C ₁	C ₂	C ₃
LMz	-0.109	0.186	0.493
DMz	0.328	0.135	-0.222
DO	0.244	0.346	-0.057
NHMz	0.344	0.094	-0.160
NGH	-0.161	-0.023	0.535
NGMz	0.284	0.065	0.305
PIG	0.035	0.010	-0.237
PO	0.146	0.439	0.133
ID	-0.089	-0.392	0.209
RG	0.284	-0.254	-0.030
DFM	-0.326	0.260	-0.085
DFF	-0.327	0.251	-0.114
AF	0.250	-0.112	0.350
NHJT	-0.321	0.231	0.001
AP	-0.313	-0.132	-0.156
LE	-0.087	-0.435	-0.120

Varianza explicada 0.400 0.232 0.167
Valores propios 6.399 3.717 2.669

LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olate; NHMz = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGMz = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano; PO = peso de olate; ID = índice de desgrane; RG = rendimiento de grano; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AF = asincronía floral; NHJT = número de hojas totales; AP = altura de planta; LE = longitud de entrenudos.

La Figura 5.7, muestra la dispersión de las poblaciones cuando se analizó su comportamiento promedio de los tres ambientes; las poblaciones se distribuyeron en forma similar a la agrupación que presentaron en los ambientes de Transición y Valles Altos; las poblaciones de los grupos 4 y 6 fueron las que se agruparon de manera consistente; de las demás poblaciones criollas de Tamaulipas, se observó que aun cuando provienen de diferentes zonas ecológicas del Estado, compartieron entre ellas

características semejantes que con la aplicación de este tipo de análisis, hizo que se distribuyeran muy cerca unas de otras, mostrando tendencias de agrupamiento entre poblaciones de orígenes ecológicos diferentes, sólo aquellas que realmente presentaron contrastes fuertes, quedaron fuera de un agrupamiento dado; en esta caso, se trató de dos poblaciones del grupo 3 (C-3051 y C-Ocampo) ubicadas al lado izquierdo del eje C_1 , fueron las más tardías, las más altas y con un mayor número de hojas por planta; otras dos poblaciones que contrastaron fueron las localizadas en la parte superior derecha de la Figura 7, C-3023 (del grupo 2) y H-437 (del grupo 5) que presentaron peso y diámetro de oloote altos, además del índice de desgane bajo y plantas con longitud de entrenudos cortos.

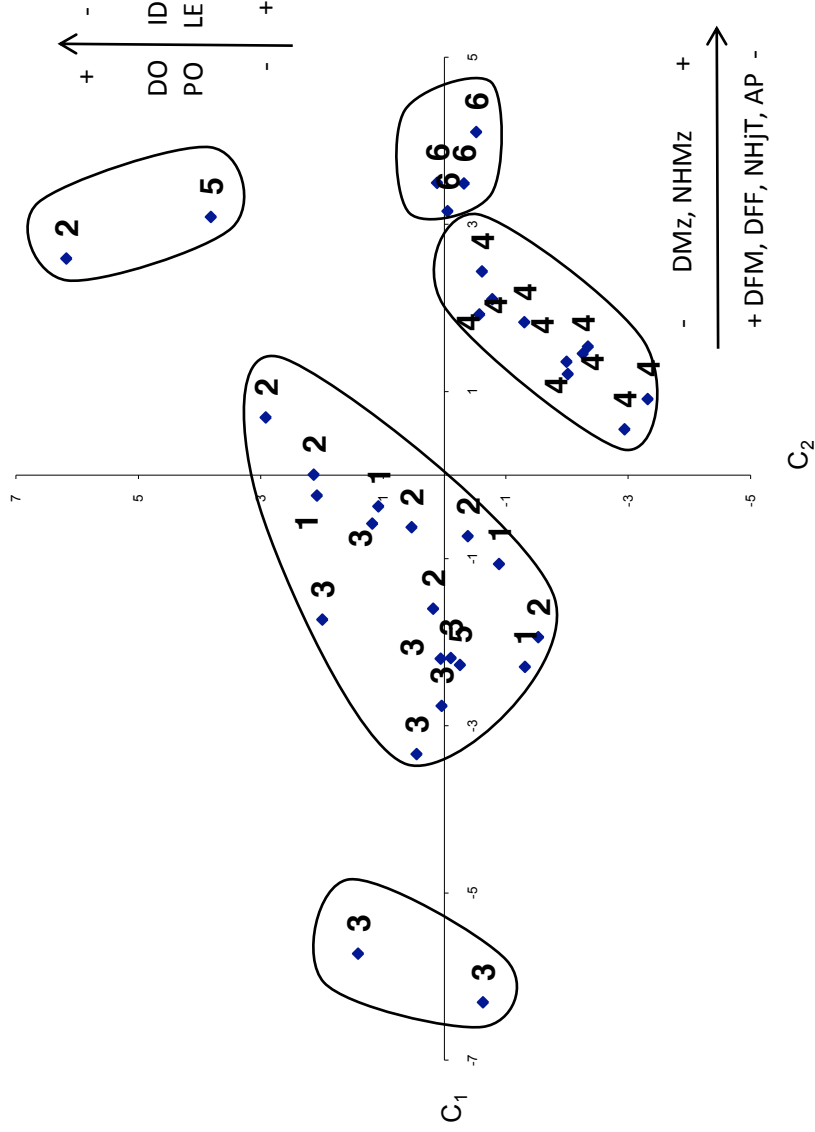


Figura 5.7. Dispersión de poblaciones originarias de Tamaulipas sobre el plano de los dos primeros componentes principales; promedio de los tres ambientes de evaluación, 2006.

Con el análisis de estos resultados se puede señalar que existe una diversidad genética relevante entre las poblaciones criollas de Tamaulipas; en la evaluación en el ambiente de TS la dispersión de dicha diversidad no fue muy clara, debido a que las poblaciones no mostraron su mejor expresión, por efecto de estrés por temperatura alta que prevaleció durante el desarrollo reproductivo, la siembra en ese ambiente se puede considerar atípica ya que a pesar de que se sembró en una fecha recomendada, los cambios en el clima ocurridos en los últimos años, hace que se presenten condiciones ambientales como las observadas en este ambiente, disminuyendo la expresión del potencial de las poblaciones; la evaluación de dichas poblaciones en ambientes de VA y TRN, con menor temperatura, logró detectar la variabilidad de mejor manera, la dispersión que mostraron las poblaciones hace suponer la presencia de divergencia genética, la cual es importante y se debe tomar en consideración para explorar la posible heterosis que pudiera existir entre estas poblaciones, o para pensar que algunas poblaciones específicas pudieran ser utilizadas como fuentes de genes a introducir en germoplasma de los programas de fitomejoramiento que existen tanto en Tamaulipas como en los Valles Altos, con el propósito de incrementar el rendimiento o de mejorar algunas características de planta y de mazorca asociadas a una mayor calidad de grano (González et al., 2008).

De esta forma se confirma que la caracterización y aprovechamiento de nuevas poblaciones, no está dada sólo por su alto rendimiento, sino por la posibilidad de aprovechar otras características relacionadas con su fenología y morfología, contrario a lo que menciona Morales *et al.* (2007) que consideran al rendimiento como el criterio más importante para la caracterización de materiales genéticos.

Con base en lo aportado de estos análisis, las poblaciones ideales deben ser aquellas que presenten precocidad, baja altura, pocas hojas y alto rendimiento; estas condiciones las cumplen las poblaciones criollas del grupo 4, que bien podrían ser manejadas en forma *per se*, por poseer características que las hacen diferentes del resto de la poblaciones de Tamaulipas y muy similares a las de los Valles Altos. Por la forma en cómo se distribuyeron las poblaciones de los grupos 1, 2 y 3; estos grupos de

poblaciones comparten características en común, aun cuando son originarios de diferentes zonas ecológicas del Estado; una forma de aprovechar esta diversidad sería formando compuestos de amplia base genética, a partir de las poblaciones que tuvieron características comunes entre sí, como de olores delgados, precocidad intermedia y alta producción de biomasa, entre otras, ya que constituyen una fuente de germoplasma superior, y que con el uso de esta metodología se previene la erosión genética y la vulnerabilidad a enfermedades, que son un problema serio en los programas con una base genética reducida (Paliwal y Sprague, 1982).

5.5. CONCLUSIONES

El análisis de componentes principales permitió valorar que las variables fenológicas días a floración masculina y femenina, y longitud de entrenudos y las morfológicas altura de planta y número de hojas fueron las más importantes para definir la distribución de la variación entre las poblaciones, identificándose gran diversidad entre ellas, misma que puede ser de utilidad en los diferentes programas de fitomejoramiento.

Los ambientes de TRN y VA presentaron condiciones ambientales similares, lo cual permitió un mejor desarrollo del cultivo de maíz y una mayor expresión del potencial del germoplasma, a diferencia del ambiente de TS el cual debido a las condiciones de tensión ambiental provocó una menor expresión de la diversidad y una fuerte selección, incrementando la acumulación de genes para resistencia a estos factores.

5.6. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, T. W. 1984. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. Second edition. Jhon Wiley and Sons. United States of America. 675 p.
- Espinosa-Trujillo, E., M. C. Mendoza-Castillo, y F. Castillo-González. 2006. Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 19-23.
- González H., A., L. M. Vázquez G., J. Sahagún C., y J. E. Rodríguez P. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el valle Toluca-Atzaculco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 67-76.

- Herrera-Cabrera, B. E., F. Castillo-González, J. J. Sánchez-González, J. M. Hernández-Casillas, R. A. Ortega-Pazkca y M. Major-Goodman. 2004. Diversidad del maíz chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- Morales R., M. M., J. Ron P., J. J. Sánchez G., J. L. Ramírez D., L. Cruz L., S. Mena M., y S. Hurtado P. 2007. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30: 285-294.
- Paliwal, R. L., y E. W. Sprague. 1982. Mejoramiento de la adaptación y de la confiabilidad de los rendimientos de maíz en el mundo en desarrollo. Folleto 965. CIMMYT. México. 21 p.
- Plana, R., M. Álvarez., I. Moreno., A. Ramírez y A. Caballero. 2001. Evaluación de una colección de variedades de trigo (*Triticum aestivum*) resistentes a *Helminthosporium sativum* en el occidente de Cuba. *Cultivos Tropicales* 22 (2): 29-31.
- Sánchez G., J. J. 1995. El análisis Biplot en clasificación. *Revista Fitotecnica Mexicana* 18: 188-203.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- SAS Institute Inc. 1995. SAS Language and Procedure: Usage, Versión 6. SAS Institute, Cary, NC, USA.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN GENERAL

Las 29 poblaciones criollas de Tamaulipas, México, provenientes de cuatro áreas ecológicas diferentes mostraron una alta variabilidad genética, así como interacción con los ambientes de evaluación, ya que presentaron cambios significativos en las variables fenológicas y morfológicas que se evaluaron; los días a floración reflejaron la respuesta al cambio de ambiente, ya que al pasar de uno de menor altitud y temperatura alta, a otros de mayor altitud y menor temperatura, los grupos de poblaciones de las partes bajas de Tamaulipas (desde 150 hasta 1000 msnm) sufrieron cambios mayores que el grupo 4 de Tamaulipas (de la zona montañosa, 1840 msnm), manifestándose un incremento en los días a floración masculina y femenina, en algunas poblaciones hasta de más de 30 % (Cuadro 2.3); esta expresión es normal en las poblaciones tropicales que se introducen a los Valles Altos Centrales de México, como lo señala Pérez *et al.* (2002), que por medio de la aplicación de metodologías de mejoramiento, en ciclos avanzados, se logra reducir la duración de su ciclo biológico.

VARIABLES COMO EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, SON CARACTERÍSTICAS QUE SE VIERON MODIFICADAS CUANDO LOS GRUPOS DE POBLACIONES CRECIERON EN LOS DIFERENTES AMBIENTES; EN ESTE SENTIDO, LAS DIFERENCIAS ENTRE AMBIENTES SE ATRIBUYERON EN EL TRÓPICO SECO A LA PRESENCIA DE UNA MAYOR TEMPERATURA, DURANTE LAS ETAPAS DE FLORACIÓN Y LLENADO DE GRANO, LO CUAL DISMINUYÓ LA EXPRESIÓN DEL NÚMERO DE GRANOS POR HILERA, EL PESO INDIVIDUAL DEL GRANO Y LA LONGITUD DE MAZORCA EN TODAS LAS POBLACIONES (REYES, 1990); MIENTRAS QUE EN LAS POBLACIONES DEL GRUPO 4 DE TAMAULIPAS Y DEL GRUPO 6 DE LOS VALLES ALTOS, ADEMÁS DE ESO, SE TUVO UN MENOR NÚMERO DE HILERAS POR MAZORCA; CONSIDERANDO LO ANTERIOR PARA LA INTRODUCCIÓN DE ESTE TIPO DE GERMOPLASMA A CONDICIONES DE TS SERÍA NECESARIO MEJORAR LA TOLERANCIA A CONDICIONES DE TENSIÓN AMBIENTAL, PRINCIPALMENTE A TEMPERATURAS ALTAS Y RESTRICCIONES DE HUMEDAD, EN UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO, COMO LO MENCIONA RINCÓN *et al.* (2008). EN GENERAL, TODOS LOS GRUPOS DE POBLACIONES MOSTRAN SU MEJOR EXPRESIÓN EN LOS AMBIENTES DE TRANSICIÓN Y DE VALLES ALTOS, EXPRESÁNDOSE CARACTERÍSTICAS QUE EN AMBIENTES DE TS NO SE LOGRAN EXPRESAR,

como es la presencia de la alta proliferación que se observó en algunas poblaciones de Tamaulipas (Cuadro 4.5), sobre todo del grupo 1 (zona centro de Tamaulipas) con proliferación superior al 50 %, característica deseable para ser incorporada al maíz de Valles Altos en algunos programas de fitomejoramiento, ya que una mayor proliferación o “cuateo” influirá en un mayor rendimiento por planta e índice de cosecha, como lo señalan Montenegro *et al.* (2002).

Las poblaciones del grupo 4 (zona montañosa de Tamaulipas) presentaron buena adaptación a los ambientes de Transición y de Valles Altos, ya que fueron estadísticamente similares a las poblaciones de Valles Altos Centrales de México en muchas de las variables estudiadas (mazorca larga, oloote delgado, mayor número de granos por mazorca, alto rendimiento e índice de desgrane, sin incidencia de enfermedades) y presentaron el rendimiento de grano más alto del germoplasma criollo de Tamaulipas. Este hecho las hace potenciales candidatas para formar parte de programas de fitomejoramiento para condiciones de VA, entre ellas destacó la C-4031 del municipio de Miquihuana, Tam., con un rendimiento de grano estadísticamente similar al de las poblaciones mejoradas de Valles Altos Centrales de México (Cuadro 4.5). Este grupo proviene de una zona que Ortega *et al.* (1991) señalan como no explorada y si estas poblaciones representativas de esa zona muestran dicho potencial es un indicador de que se deben conservar y aprovechar, considerando que la diversidad en esa área es amplia para varios atributos (Pecina *et al.*, 2004).

Introducir germoplasma a un ambiente ecológicamente contrastante al de su origen, provocó cambios importantes en variables como días a floración masculina y femenina, longitud de entrenudos, granos totales por mazorca, hojas totales por planta y altura de planta, por lo que éstas podrían ser variables consideradas como indicadores de respuesta de las plantas a efectos ambientales sobre poblaciones introducidas, junto al rendimiento de grano que ha sido el criterio de selección más utilizado.

El conocer el comportamiento de estas poblaciones hace posible identificar nuevas fuentes de germoplasma, con alta variabilidad y divergencia genética, con atributos de

precocidad, tolerancia al acame, granos semiharinosos, mayor producción de biomasa, resistencia a plagas, sequía y a la baja fertilidad de los suelos, permitiendo desarrollar estrategias de mejoramiento genético para afrontar el cambio climático global; además de contribuir con esos genes al mejoramiento de germoplasma de maíz de otras áreas. Igualmente, permitirá integrar criterios de selección y de conformación de poblaciones divergentes pero compatibles, y desarrollar patrones heteróticos para la formación de nuevas variedades mejoradas o híbridos de alto potencial que se adapten a diferentes condiciones ambientales.

El análisis de componentes principales aplicado a variables fenológicas, morfológicas y de producción de grano, mostró expresiones diferentes de las poblaciones entre el ambiente del Trópico Seco con el de Transición y el de Valles Altos. En el Trópico Seco el rendimiento, la longitud de mazorca y los granos por hilera fueron los que más explicaron la variación global; mientras que en los otros dos ambientes las variables fenológicas: días a floración masculina y femenina y la longitud de entrenudos, y las morfológicas: altura de planta y el número de hojas fueron las más importantes para definir la distribución de la variación entre las poblaciones, identificando con ello, divergencia entre las poblaciones.

La derivación de líneas por autofecundación es una práctica que se ha iniciado en las poblaciones sobresalientes en este estudio en los Valles Altos, contándose hasta el momento con líneas S2 prometedoras. Estas autofecundaciones se han realizado con los criterios de mazorcas largas y grano grande, cuidando aspectos importantes como la sanidad, tanto en planta como en mazorca y grano. La derivación de estas líneas permitirá en un futuro contar con nuevas fuentes de material endogámico para la formación de material mejorado, buscando que esas líneas muestren buena actitud combinatoria.

Con lo anteriormente indicado y la problemática que presentan las poblaciones criollas del país, es necesario tomar en cuenta las situaciones bajo las cuales se produce el maíz, al planificar los programas de investigación y producción de este

grano, se debe también considerar el trabajo directo con los agricultores de México para así conocer más de cerca sus necesidades y preferencias. También es necesario obtener más conocimiento sobre los factores genéticos, bióticos, abióticos, económicos y sociales que limitan la producción de maíz, que bajo el objetivo de este trabajo serían aquellos que restringen la adaptación de las poblaciones a condiciones ambientales distintas a las de su origen.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES GENERALES

Las poblaciones criollas estudiadas presentaron alta diversidad genética, misma que pone de manifiesto que en el Estado de Tamaulipas, México, existen actualmente poblaciones criollas (recientemente colectadas) con alto potencial para ser aprovechadas, tanto localmente como en otros ambientes, como los estudiados en el presente trabajo.

Por el potencial que han expresado estas poblaciones, se debe procurar la preservación y uso racional de la diversidad genética encontrada en este región de México y evitar la introducción de material transgénico, como se ha pretendido legalizar, ya que por el intercambio dinámico de material genético que se da por los agricultores sería muy fácil y rápido contaminar las poblaciones criollas existentes.

De las poblaciones criollas de Tamaulipas fueron sobresalientes las 10 originarias de la zona montañosa, con características muy particulares, que con el análisis de componentes principales formaron un grupo independiente de las del resto del Estado, con un buen comportamiento en los Valles Altos Centrales de México, similar al de las poblaciones mejoradas de este ambiente.

Los grupos 1, 2 y 3 de poblaciones de Tamaulipas sobresalieron en los Valles Altos por presentar características como olotes delgados, mayor número de granos por hilera, mayor número de hojas por planta, lo que las hace producir más biomasa, además de alta prolificación; características deseables que pueden ser aprovechadas en programas de mejoramiento.

Se debe seleccionar germoplasma no sólo con el enfoque del rendimiento, sino utilizando criterios como el ciclo de cultivo, altura de planta, calidad de grano, la rusticidad de la población, tamaño de grano, peso específico, longitud de mazorca, la producción de biomasa y la resistencia al acame de planta, entre otras; ya que

características como estas permitirán desarrollar poblaciones que se adapten a las nuevas condiciones ambientales que se están presentando en el planeta, debido a la incidencia del cambio climático global; muchas de estas características las poseen algunas de las poblaciones criollas de Tamaulipas consideradas en el presente estudio.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA DE INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL

- Castillo G., F. 1994. Aprovechamiento de la diversidad genética de maíz en México. In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Asociación Latinoamericana de Genética. SOMEFI. Monterrey, N. L. México. pp. 78-92.
- DOF. 2005. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 2005. México D. F. 44 p.
- DOF. 2008. Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Diario Oficial de la Federación 19 de marzo. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. D. F. 23 p.
- Dowswell, C. R., R. L. Paliwal, and R. P. Cantrell. 1996. Maize in the third world. CIMMYT Westview Press. 268 p.
- Fischer, K. S., y A. F. E. Palmer. 1980. Eficiencia del rendimiento en maíces tropicales. Trabajo presentado en el Simposio Productividad potencial de los cultivos bajo diversos ambientales. IIRI. Filipinas. 40 pp.
- Fritcher M., M. 1997. El maíz en el contexto internacional. En: Torres S., G. y Morales I., M. Maíz tortilla. Políticas y alternativas (Eds). PUAL. UNAM. 240.
- Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. Iowa State Journal Research 59: 497-527.
- Jugenheimer R., W. 1981. Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Limusa. México. pp. 39-42.
- Molina G., J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. En: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez Chihuahua, México. pp. 344
- Montenegro T., H., F. Rincón S., N. A. Ruiz T., H. de León C., y G. Castañón N. 2002. Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. Revista Fitotecnia Mexicana 25 (2): 135-142.

- Ortega P., R. A. y J. Barajas V. 1994. Variedades locales de maíz en el centro de Tamaulipas: Pasado y Presente. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., N. E. Treviño H., E. Cárdenas C. y M. Martínez R. (comp.). Memorias del 11º congreso Latinoamericano de Genética (Área Vegetal) y XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. México. pp. 343.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: R. A. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Pecina M., J. A., J. Maldonado D., J. A. López S., F. Briones E., y S. Castro N. 2004. Morfología de mazorca de colectas de maíz de las sierras del suroeste tamaulipeco. En: M. C. Mendoza C., L. Córdova T., S. Cruz I., y C. G. Mendoza M. (compiladores). Memoria del XX Congreso Nacional de Fitogenética: Resúmenes. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo México. p: 332.
- Pérez C., A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. Revista Fitotecnia Mexicana. 25: 435-441.
- Pérez-Colmenarez, A., J. D. Molina-Galán, y A. Martínez-Garza. 2000. Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Reyes M., C. A., y M. A. Cantú A. 2006. Maíz. En: L. A. Rodríguez B. (ed) Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, historia, logros y retos. Libro Técnico No. 1. INIFAP. México. pp: 55-74.
- Rincón T., J. A., S. Castro N., J. A. López S., F. Briones E., J. Ortiz C. Y A. J. Huerta. 2008. Modificación de características agronómicas en maíz tropical por efecto de selección bajo estrés hídrico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31 (1): 81 –84.

- Salhuana, W., y R. Sevilla. 1995. Latin American Maize Project (LAMP). Stage 4 Results From Homologous Areas 1 and 5. National Seed Storage Laboratory. USA. 530 p.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43-59.
- Vavilov, N. I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Prees Co. New York. 94 p.