



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

**POTENCIAL DEL GERMOPLASMA DERIVADO  
DE MAÍCES NATIVOS DE TAMAULIPAS EN LOS  
VALLES ALTOS, TRANSICIÓN Y SUBTRÓPICO**

**JOSÉ AGAPITO PECINA MARTÍNEZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2012

La presente tesis titulada: **Potencial del germoplasma derivado de maíces nativos de Tamaulipas en los Valles Altos, Transición y Subtrópico**; 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:

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

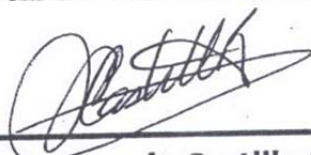
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



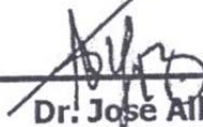
**Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo**

ASESOR



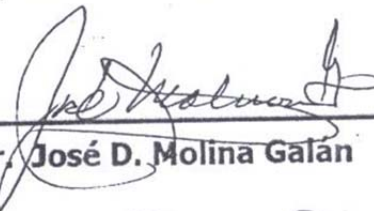
**Dr. Fernando Castillo González**

ASESOR



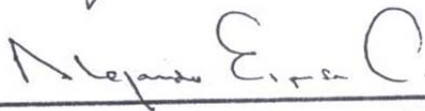
**Dr. José Alberto López Santillán**

ASESOR



**Dr. José D. Molina Galán**

ASESOR



**Dr. Alejandro Espinosa Calderón**

Montecillo, Texcoco, Estado de México Diciembre de 2012

# POTENCIAL DEL GERMOPLASMA DERIVADO DE MAÍCES NATIVOS DE TAMAULIPAS EN LOS VALLES ALTOS, TRANSICIÓN Y SUBTRÓPICO

José Agapito Pecina Martínez, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

El objetivo de esta investigación fue estudiar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en progenies derivadas, por autofecundación, de poblaciones nativas de Tamaulipas, así como, determinar si dichos cambios favorecen la adaptación a diversas condiciones ambientales y pueden mostrar mayor potencial de rendimiento al evaluar las cruzas de las líneas avanzadas e identificar las que puedan en un futuro utilizarse en programas de fitomejoramiento para ambientes diversos. Se partió de 35 poblaciones: 29 nativas de diferentes zonas ecológicas de Tamaulipas, y otras seis materiales mejorados de Tamaulipas o de Valles Altos. En Valles Altos se comenzó con la derivación de líneas  $S_1$  de todas las poblaciones mencionadas anteriormente; se realizó una evaluación de mestizos y se encontró variabilidad y potencial para ser utilizadas las líneas tanto en ambientes de Tamaulipas, como en Valles Altos. Se continuó con la derivación de líneas hasta obtener progenies  $S_3$ . Con la evaluación de las poblaciones originales y sus progenies hasta  $S_3$ , permitió determinar los cambios fenológicos, morfológicos y de componentes del rendimiento de grano en poblaciones estudiadas, teniendo en las progenies  $S_3$ , líneas uniformes y con buen potencial para ser usadas en programas de fitomejoramiento. Con 12 líneas  $S_3$  derivadas de las poblaciones de diferentes orígenes, tropical (T), montaña (M) y valles altos (VA) se realizaron cruzas entre ellas y se evaluaron en ambientes contrastantes de México. En el Norte y Centro de Tamaulipas las mejores cruzas fueron entre líneas tropicales, destacando para el centro T1xT2 y T5xT6, y para el norte T2xT5 y T1xT2. Para los ambientes de Transición y Valles Altos destacaron cruzas entre líneas tropicales, tropicales por montaña de Tamaulipas y tropicales por Valles Altos. Para Tamaulipas las líneas que mejores resultados dieron fueron la T1, T2 y T5, ya que participaron en las mejores combinaciones; para transición y Valles Altos destacaron las líneas T4, T5, M4 y VA5 con las mejores combinaciones, se tendría que seguir trabajando con estas líneas para en un futuro cercano tener nuevas generaciones de híbridos que apoyen a la producción de grano en las diferentes zonas productoras del país.

**Palabras clave:** poblaciones nativas de maíz, mejoramiento, aprovechamiento de germoplasma.

## POTENTIAL OF GERMPLASM DERIVED FROM TAMAULIPAS NATIVE MAIZE IN THE CENTRAL PLATEAU, TRANSITION AND SUBTROPICS

José Agapito Pecina Martínez, D. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

The objective of this research was to study the phenological and morphological changes occurred in progenies derived by selfing from Tamaulipas native maize populations and to determine whether these changes favor adaptation to diverse environmental conditions and may show higher yield potential when evaluating crosses with advanced lines and identify those that may in the future be used in breeding programs for different environments. Starting point was with 35 populations: 29 native from different ecological zones of Tamaulipas, and other six improved materials for Tamaulipas or central highlands. Under highlands conditions,  $S_1$  lines were derived from all stocks mentioned above, and evaluation of testcrosses was carried out; variability for grain yield was found, as well as inbred lines with potential utilization for both environmental conditions: Tamaulipas and Highlands. Further inbreeding was practiced until  $S_3$  progenies. The original populations and their respective  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  progenies were field evaluated; phenologic, morphological as well as for grain yield components changes through generations were studied within populations; some  $S_3$  progenies were homogeneous and showed good potential for use in breeding programs. With 12  $S_3$  lines derived from populations of different ecological origin: tropical (T), Mountain (M) and highlands (VA), a diallel set of crosses was obtained, which was evaluated in contrasting environments of Mexico. In the northern and central Tamaulipas, the better yielding crosses were those combining tropical lines, T1xT2 and T5xT6 were outstanding for central Tam., and T1xT2 and T2xT5 for northern Tam. For Transition and Highlands environments, outstanding crosses involved a wider range of combinations: TxT, MxT and TxVA. T1, T2 and T5 were inbreds that participated in the better crosses for the Tamaulipas environments; meanwhile, T4, T5, M4 and VA5 did so for Transition and Highlands environments in the Central Plateau. Would be convenient continue working with these inbred lines in order to have in the near future hybrids which may support the production of grain in the different areas of the country.

**Key words:** native maize populations, breeding, germplasm utilization.

## **DEDICATORIA**

**A MI ESPOSA, HIJA E HIJO:**

**BETSY, DIAN Y BENIAM**

Que son los amores de mi vida, y el motivo de superación por el que lucho 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  
Jesús Alejandro  
Laura Cecilia

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 Doctorado 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. Por su apoyo incondicional durante mis posgrados.

Al Dr. Fernando Castillo González por sus comentarios y apoyo estadístico que permitió darle relevancia a los datos obtenidos en 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. José Domingo Molina Galán por sus comentarios.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por sus comentarios.

### ***In memoriam:***

Al Dr. Moisés Mendoza Rodríguez (†), por sus comentarios y experiencia compartida en el campo. Por su visión de mejorar el campo Mexicano.

Al Dr. Joaquín Ortiz Cereceres (†), por el apoyo brindado, sus comentarios y sugerencias.

A la Familia Mendoza Mendoza por todo el apoyo brindado durante todo este tiempo que hemos compartido, por su confianza y sobre todo porque me llegaron a considerar como parte de su grandiosa familia.

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

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN GENERAL</b>	ii
<b>GENERAL SUMMARY</b>	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	viii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	x
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
1.1 <b>Objetivo General</b> .....	20
1.1.1 <b>Objetivos específicos</b> .....	20
1.2 <b>Hipótesis</b> .....	21
<b>CAPITULO II. CAMBIOS OCURRIDOS EN PROGENIES DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS, AL SELECCIONARLAS EN LOS VALLES ALTOS CENTRALES DE MEXICO</b> .....	22
2.1 <b>Resumen</b> .....	22
2.2 <b>Introducción</b> .....	23
2.3 <b>Materiales y Métodos</b> .....	24
2.4 <b>Resultados y Discusión</b> .....	28
2.4.1 <b>Crecimiento de entrenudos</b> .....	28
2.4.2 <b>Comportamiento fenológico y morfológico</b> .....	33
2.4.3 <b>Crecimiento de grano</b> .....	36
2.4.4 <b>Componentes del rendimiento de grano</b> .....	42
2.5 <b>Conclusiones</b> .....	47
2.6 <b>Bibliografía</b> .....	47
<b>CAPÍTULO III. POTENCIAL GENÉTICO DE LINEAS S<sub>1</sub> DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS, MÉXICO</b> .....	49
3.1 <b>Resumen</b> .....	49
3.2 <b>Introducción</b> .....	49
3.3 <b>Materiales y Métodos</b> .....	51
3.4 <b>Resultados y Discusión</b> .....	55
3.4.1 <b>Fenología y morfolología</b> .....	55
3.4.2 <b>Rendimiento de grano y sus componentes</b> .....	58

3.5 Conclusiones .....	68
3.6 Bibliografía .....	68
<b>CAPITULO IV. POTENCIAL DE CRUZAS DE LINEAS S<sub>3</sub> DE MAÍZ DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS Y EVALUADAS EN AMBIENTES CONTRASTANTES DE MÉXICO .....</b>	<b>70</b>
4.1 Resumen .....	70
4.2 Introducción .....	71
4.3 Materiales y Métodos .....	73
4.4 Resultados y Discusión .....	80
4.4.1 Fenología y morfología .....	80
4.4.2 Rendimiento de grano y sus componentes .....	81
4.4.3 Norte de Tamaulipas (NT), en Rio Bravo, Tamaulipas .....	83
4.4.4 Centro de Tamaulipas (CT), en Güémez, Tamaulipas .....	90
4.4.5 Transición (TRN), en Mixquiahuala, Hidalgo.....	96
4.4.6 Valles Altos (VA), en Montecillo Texcoco, Estado de México.....	103
4.5 Conclusiones.....	110
4.6 Bibliografía.....	111
<b>CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>113</b>
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>122</b>
<b>CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA DE INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>123</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
1	Población y líneas derivadas con su municipio de origen en el Estado de Tamaulipas y Valles Altos, evaluadas en Montecillo 2010.....	25
2	Valores medios de variables fenológicas y morfológicas de las poblaciones originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.....	35
3	Tasas de llenado de grano, periodo de llenado de grano y peso individual de grano en poblaciones originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.....	40
4	Cuadrados medios para los componentes del rendimiento de grano de poblaciones nativas de Tamaulipas y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.....	42
5	Valores medios para componentes de grano en poblaciones nativas originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.....	44
6	Mestizos de líneas S <sub>1</sub> de poblaciones de maíz nativas de Tamaulipas, evaluados en tres ambientes contrastantes en altitud y temperatura, 2008.....	52
7	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de grupos de mestizos de maíz evaluados durante 2008 .....	56
8	Valores medios para grupos de mestizos en cada ambiente de prueba en variables morfológicas y fenológicas, 2008 .....	57
9	Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en la evaluación de mestizos de maíz en tres ambientes, 2008.....	59
10	Rendimiento de grano y sus componentes en mestizos sobresalientes formados con líneas de poblaciones nativas de Tamaulipas y un probador de Valles Altos. 2008.....	61
11	Líneas S <sub>3</sub> obtenidas de poblaciones de maíz clasificadas en grupos con base en la zona y municipio de colecta en el estado de Tamaulipas y variedades mejoradas de Valles Altos.....	74
12	Cantidad y tipo de cruza evaluadas en cada ambiente durante 2010.....	75
13	Características de cuatro ambientes donde se evaluaron las cruzas experimentales de líneas S <sub>3</sub> de poblaciones de maíz durante 2010.....	76
14	Datos del origen ecológico de cada población de donde se derivaron las 12 líneas S <sub>3</sub> utilizadas en la formación de cruzas para la presente investigación.....	79
15	Valores de divergencia genética (distancias euclidianas) obtenidas entre las poblaciones de acuerdo con los datos de origen ecológico (latitud,	

	longitud y altitud).....	79
16	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de cruzas de maíz evaluados durante 2010.....	80
17	Valores medios de las variables fenológicas y morfológicas expresadas en los ambientes de evaluación de las cruzas posibles de líneas S <sub>3</sub> con diferente origen ecológico, 2010.....	81
18	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano y sus componentes en cruzas de líneas S <sub>3</sub> de diferente origen ecológico evaluados durante 2010.....	82
19	Valores medios de rendimiento de grano de maíz y sus componentes expresados en los ambientes de evaluación en cruzas de líneas S <sub>3</sub> de diferente origen ecológico evaluadas durante 2010.....	83
20	Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de las mejores cruzas de líneas S <sub>3</sub> de diferente origen ecológico evaluadas en Río Bravo, Tamaulipas, 2010...	86
21	Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruzas de líneas S <sub>3</sub> evaluadas en el Centro de Tamaulipas, Güémez 2010.....	92
22	Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruzas de líneas S <sub>3</sub> evaluadas en el ambiente de transición, Mixquiahuala, Hidalgo. 2010.....	99
23	Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruzas de líneas S <sub>3</sub> evaluadas en el Valles Altos, Montecillo, Estado de México 2010.....	105
24	Rendimiento de grano de cruzas directas y recíprocas y líneas S <sub>3</sub> de diferentes orígenes (Tropical, Montaña y Valles Altos) evaluadas en Montecillo, Estado de México 2010.....	119
25	Heterosis (%) calculada sobre el progenitor medio de cruzas entre líneas S <sub>3</sub> de diferentes orígenes (Tropical, Montaña y Valles Altos) evaluadas Montecillo, Estado de México 2010.....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Pág.
1	Longitud de entrenudos de tres poblaciones tropicales de maíz y sus progenies hasta S <sub>3</sub> con distinto origen ecológico en Tamaulipas (C-3001 = zona centro, C-3012 = zona del ex IV Distrito y C-3033 = zona de la Huasteca); el entrenudo siete representa el superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras sobre cada entrenudo indican diferencias entre la población original y sus respectivas progenies (p≤0.05).....	30
2	Longitud de entrenudos de tres poblaciones y sus progenies hasta S <sub>3</sub> con distinto origen ecológico (C-4026 y C-4035 = zona montañosa de Tamaulipas; H-San Juan = Valles Altos); el entrenudo siete representa el superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras sobre cada entrenudo indican diferencias entre la población original y sus respectivas progenies (p≤0.05).....	32
3	Acumulación de biomasa en grano de poblaciones tropicales de diferentes zonas ecológicas de Tamaulipas y sus progenies, formadas, seleccionadas y evaluadas en los Valles Altos, Montecillo 2010. ddp = días después de la polinización. Las letras sobre cada muestreo indican diferencias entre la población original y sus correspondientes progenies (p≤0.05).....	37
4	Acumulación de biomasa en grano de poblaciones originales y sus progenies, dos de la zona montañosa de Tamaulipas y una de Valles Altos, formadas, seleccionadas y evaluadas en los Valles Altos de México, Montecillo 2010. ddp = días después de la polinización. Las letras sobre cada muestreo indican diferencias entre la población original y sus correspondientes progenies (p≤0.05).....	38
5	Rendimiento de grano de mestizos (t ha <sup>-1</sup> ) de cada grupo, evaluados en ambientes contrastantes en 2008, comparados con el mejor testigo de cada ambiente. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre mestizos dentro del respectivo grupo (Tukey, 0.05)..	65
6	Distribución de las cruzas posibles de líneas S <sub>3</sub> derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico con base en el rendimiento de grano y la divergencia genética existente, evaluadas bajo el ambiente del norte de Tamaulipas, Río Bravo, Tamaulipas 2010.....	89
7	Distribución de las cruzas posibles entre líneas S <sub>3</sub> derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo a la divergencia genética existente entre cada craza evaluada en el centro de Tamaulipas, Güémez, Tamaulipas 2010.....	95
8	Distribución de las cruzas posibles entre líneas S <sub>3</sub> derivadas de	

	poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo con la divergencia genética existente entre cada craza, evaluadas en la zona de transición, Mixquiahuala, Hidalgo. 2010.....	101
9	Distribución de las cruzas entre líneas S <sub>3</sub> derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo con la divergencia genética existente entre cada craza, evaluada en Valles Altos, Montecillo, Estado de México 2010.....	108

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es uno de los cultivos de mayor distribución en el mundo (Dowswell *et al.*, 1996; Fritcher, 1997; Sleper y Poehlman, 2006), ocupa el primer lugar en producción y es el cultivo que se siembra en más países (Turrent *et al.*, 2012). Se reconoce a México como el centro de origen, diversificación 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, entre otros. El maíz es el cereal básico en la alimentación del pueblo mexicano, y es en este país donde se tiene el mayor consumo *per capita* del mundo (Jugenheimer, 1981; Ortega *et al.*, 1991; Sleper y Poehlman, 2006).

El maíz es el cereal que más importancia tiene en varios sectores de la economía a escala mundial, desde el siglo XX hasta los inicios del XXI. En los países industrializados, se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente para la producción de etanol y jarabe de alta fructuosa. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o se importa es destinado al consumo humano (Serratos, 2009).

Por sus profundas raíces históricas y culturales, el maíz se cultiva en un mosaico de regiones agrícolas y condiciones socioeconómicas y tecnológicas de México (Acquaah, 2007). En 2010 se produjeron 23.3 millones de toneladas de maíz, en 7.86 millones de hectáreas, de las cuales 82 % fueron sembradas en condiciones de temporal y 18 % de

riego. La producción nacional ha tenido un incremento anual de 35 kg ha<sup>-1</sup> en los últimos 80 años. En 1930 el rendimiento promedio de grano era de 448 kg ha<sup>-1</sup> y se incrementó a 880, 1829, 2818 y 3260 kg ha<sup>-1</sup> en 1959, 1980, 2004 y 2010, respectivamente (SAGARPA, 2010).

A pesar que la producción nacional de maíz se ha incrementado sustantivamente en los últimos años, México sigue siendo deficitario en este grano, especialmente de maíz amarillo. Este déficit es debido a la expansión de los subsectores avícola y porcino, así como de las diferentes industrias procesadoras para el consumo humano. Es por ello que durante la última década, México, ha importado un promedio anual de 300 mil toneladas de grano blanco y de cinco a siete millones de toneladas de grano amarillo, lo que ha llevado a canalizar mayores volúmenes de maíz blanco producido en México al sector forrajero en las modalidades de entero y quebrado (SAGARPA, 2004).

Las poblaciones nativas de maíz han evolucionado durante largos períodos de tiempo al ser sometidas a selección masal, en medios ambientales y culturales diversos. En general, la evolución del maíz se produjo bajo condiciones de producción con un reducido número de prácticas culturales, fertilización y protección sanitaria, lo que ha conferido una estabilidad productiva. Su valor potencial reside en la existencia de genes para resistencia a enfermedades y plagas, calidad nutritiva y adaptación a condiciones ambientales adversas, sino también en la existencia de caracteres que, aunque no sean reconocidos actualmente, algún día pueden ser considerados como indispensables. Con la pérdida de una población nativa se elimina irreversiblemente la diversidad genética en ella contenida. A la variación intervarietal, se añade la gran

diversidad genética intravarietal que es la causa de la heterogeneidad morfológica de las variedades nativas (Esquinas, 1982; Serratos, 2009).

Aunque se cuenta con amplia variabilidad genética en la diversidad del maíz mexicano (Sánchez *et al.*, 2000), su utilización en programas de mejoramiento genético se ha limitado a una pequeña proporción de las más de 50 razas y dentro de ellas, a unas cuantas poblaciones en cada región agrícola (Molina, 1990). Se han derivado variedades mejoradas 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, en ambientes de estrés como los ocasionados por el cambio climático 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).

Abordar el estudio del cambio climático en la agricultura de México se ha centrado en el análisis de la vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal. Se considera que los impactos del calentamiento global sobre el cultivo de maíz en México serán probablemente severos, debido al aumento en frecuencia de eventos extremos tales como la sequía reciente en la región semiárida del norte y de los ciclones en la región tropical. Tales impactos no han sido adecuadamente considerados en evaluaciones previas que en algunos casos predijeron condiciones climáticas más favorables por el cambio climático (Conde *et al.*, 2006). La investigación sobre el cambio climático en

México (Magaña *et al.*, 1997; Jones y Thornton, 2003) y sobre la vulnerabilidad y adaptación requeridas para mitigar sus efectos negativos sobre la producción de alimentos (Conde *et al.*, 2006; González-Chávez y Macías-Macías, 2007; Tinoco-Rueda *et al.*, 2011) identifican a la disponibilidad de agua para los cultivos como el factor central de impacto en la producción de alimentos en México.

Se sugiere que el cambio climático reducirá 5 % la producción de maíz de México hacia el año 2030, asimismo, se señala que los rendimientos globales de maíz ya se han reducido 5.5 % con relación a las ganancias esperadas desde 1980 a la fecha, debido al cambio climático (Hertel *et al.*, 2010).

Dada la dinámica de distribución de germoplasma de maíz en el país, ya sea a través de instituciones de investigación o de enseñanza agrícola superior o por los campesinos y agricultores empresariales que mueven semilla a distancias considerables, es posible favorecer el aprovechamiento de la diversidad genética, tanto en la propia región como en otras áreas ecológicas. Sin embargo, la diversidad 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 nativas (Ortega *et al.*, 1991). Un peligro adicional es la contaminación con germoplasma transgénico, de los cuales se insiste en introducir a México, y en la búsqueda de su legalización se ha autorizado su siembra en los estados de Tamaulipas, Sinaloa y Sonora, bajo el argumento de que no existen maíces nativos en tales áreas, lo cual se ha demostrado, al menos para Tamaulipas, que es totalmente falso (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Castro-



Nava *et al.*, 2011). La introducción a México de los maíces transgénicos 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, es necesario la exploración, colecta, estudio y aprovechamiento de las poblaciones nativas mexicanas que permita conocer, mejorar y conservar la diversidad genética disponible en las comunidades rurales de México, detectar fuentes de germoplasma que sean base para el mejoramiento genético o que por sus atributos, sean de aprovechamiento inmediato, además de realizar estudios biológicos que generen más conocimiento básico del cultivo.

En el Noreste de México, y en particular en el Estado de Tamaulipas, existe el riesgo de pérdida y degradación de la diversidad genética del maíz nativo, y la necesidad de preservarlo se ha hecho más urgente en los últimos años, determinada principalmente por la promoción del uso de cultivares genéticamente modificados y por la sustitución del maíz por otros cultivos (Ortega *et al.*, 1991; Pecina *et al.*, 2009).

A partir de la variabilidad genética del centro-sur de Tamaulipas se han generado variedades mejoradas desde mediados del siglo pasado, mismas que han sido reconocidas nacionalmente 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 porque se obtuvieron otras versiones como es el caso de Llera III. La erosión de estos materiales genéticos se debe principalmente a la falta de atención de los campesinos al seleccionar su semilla y a las condiciones ambientales actuales (principalmente altas temperaturas y poca precipitación). En algunos estudios se señalan poblaciones sobresalientes de colectas

realizadas en el estado de Tamaulipas, 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, originarias de los municipios de González y Ocampo Tamaulipas, respectivamente (Ortega *et al.*, 1991). También, 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 (colectas realizadas en regiones del centro-sur de Tamaulipas); Montenegro *et al.* (2002) utilizaron esas mismas poblaciones con sustitución de Tam 30 por Tam 131 para evaluar su potencial genético y aptitud combinatoria, sobresalió Tam 131 por su alto rendimiento y buena aptitud combinatoria.

Gómez *et al.* (1996), en un informe de materiales mejorados liberados por el INIFAP, mencionan como sobresaliente para el estado de Tamaulipas la variedad precoz “San Juan” de la raza Tuxpeño, de la cual se desarrollaron variedades mejoradas como V-401, V-405 y V-413, tanto para ser utilizadas en el Estado como en otras regiones del norte de México; además, de cada variedad se derivaron líneas de una autofecundación en La Laguna, Torreón Coahuila, se formaron los híbridos H-414, H-417 y H-418, recomendados para regiones cálido-secas del Norte de México. De la variedad Carmen se derivó la variedad sintética VS-410 en Tamaulipas y el híbrido H-412 en el Valle del Yaqui, en Cd. Obregón Sonora, recomendado para áreas con altitudes menores de 1000 msnm, de clima cálido y seco; en este mismo lugar, con la combinación de líneas derivadas de San Juan y Carmen se formó el híbrido de cruce doble H-419.

A pesar de que se ha demostrado el potencial que tienen las poblaciones nativas de Tamaulipas, se ha dejado de aprovechar este tipo de germoplasma, debido principalmente al desarrollo de programas de mejoramiento con metas establecidas a corto plazo por lo que utilizan como poblaciones base germoplasma mejorado para obtener avance de mejoramiento en menor tiempo, por la falta de continuidad en el poco trabajo de investigación y de mejoramiento genético que se ha realizado en tal entidad, sobre todo en los últimos 30 años (Reyes y Cantú, 2006), por lo anterior, en la entidad se carece de cultivares mejorados para algunas condiciones y nichos agroecológicos específicos. Por tal razón, es importante aprovechar y conservar y aún explorar y coleccionar la variabilidad genética del Estado, para generar tecnología para México, mediante el estudio de la posible adaptación a nuevos ambientes para un mejor entendimiento y proyección del aprovechamiento de esa riqueza y potencial existente en el área de Tamaulipas.

Basado en lo anterior y dada la necesidad de valorar y aprovechar al máximo los recursos fitogenéticos del maíz del estado de Tamaulipas y contribuir al conocimiento de su diversidad 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 estudio se inició con la exploración, colecta y evaluación, para aprovechar en lo posible, los atributos de las poblaciones que cultivan los campesinos del Estado, con énfasis en la región centro-suroeste, incluyendo a la Sierra Madre Oriental con altitudes desde 150 hasta de 1860 msnm. Se han colectado más de 250 poblaciones representativas de diferentes zonas ecológicas del Estado, algunas 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 durante 2004 y 2005 en ambientes de Tamaulipas y en los Valles Altos Centrales de México. Con base en esas evaluaciones se seleccionaron 29 poblaciones representativas de cuatro zonas ecológicas del centro-sur del Estado y en 2006 se estudió su comportamiento fenológico y morfológico, así como su potencial productivo en tres ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura. Entre estos cuatro 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 nativo en poder de los agricultores, que posee alto potencial para su aprovechamiento en programas de mejoramiento (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011).

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 debido a la falta de adaptación a condiciones ecológicas diferentes a las de su origen. La dificultad en utilizar germoplasma exótico se da por 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 mediante mejoramiento genético, se intenta modificar las poblaciones, por ejemplo a las que se les haya incorporado los caracteres deseables a partir de otras fuentes (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000).

La adaptación se define como el proceso que hace apto a un organismo para resistir las condiciones del medio en el que se desarrolla acondicionándose a ellas; se llama adaptación ecológica a la que tiene por objeto acondicionar a la planta a las

condiciones mesológicas en sentido amplio; es decir, a cada uno de los factores climáticos, de suelo y de las asociaciones en que crece (Font Quer, 1953). Según Vega (1988), la adaptación es el proceso por el cual los organismos sufren modificaciones morfológicas y/o fisiológicas para funcionar adecuadamente en un ambiente determinado, y la adaptabilidad es el proceso por el cual los organismos adquieren la capacidad de funcionar adecuadamente en presencia de cambios de los factores ambientales que varían de un ambiente a otro. Los maíces aun siendo cultivados en una área ecológica definida, pueden manifestar cierta adaptabilidad a otras, debido a su constitución genética y a los efectos de la selección natural y artificial (Arellano, 1983).

Cuando existe competencia por algún factor que es necesario para la sobrevivencia y la reproducción, la selección natural actúa sobre los individuos originando adaptación, la cual a través del tiempo se traduce en una acumulación de alelos y combinaciones de genes que les permiten subsistir (Mettler y Gregg, 1982).

Al encontrarse diferencias en adaptabilidad entre genotipos, expresado por el promedio de rendimiento entre ambientes, los parámetros que la definen deben estar también determinados genéticamente; es decir, ser heredables en algún grado (Márquez, 1991). Un esquema de mejoramiento para adaptabilidad es un procedimiento mediante el cual se obtiene una población que es capaz de expresarse óptimamente en varias condiciones ambientales y con base en un objetivo dado, ya sea por selección o hibridación (Márquez, 1991).

En el proceso de producción de híbridos, las fases que presentan mayor dificultad son la selección de las líneas por su aptitud combinatoria y la elección de la mejor

combinación híbrida. De estas fases, el estudio de la aptitud combinatoria de líneas endogámicas es la primordial, la cual es una forma de clasificación utilizada por el mejorador clásico que ha presentado buenos resultados (Fan *et al.*, 2003). Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentra el diseño dialélico en sus cuatro métodos propuesto por Griffing (1956). Este diseño permite identificar las combinaciones superiores. Anteriormente, Sprague y Tatum (1942) definieron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). La aptitud combinatoria indica la capacidad que tiene un individuo o una población, para combinarse con otros y se mide a través de su progenie (Márquez 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, lo cual permite seleccionar los que exhiban el más alto nivel. Al respecto, Hoegenmeyer y Hallauer (1976) señalan que la aptitud combinatoria específica es más importante que la aptitud combinatoria general en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, ya que con la ACE se puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis. Además, la ACG explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la ACE revela la proporción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia.

Los diseños dialélicos son comúnmente usados en el mejoramiento genético para obtener información de los efectos genéticos cuando los padres no son elegidos al azar (modelo I o de efectos fijos), o para estimar aptitud combinatoria general y específica, heterosis y parámetros genéticos (modelo II o de efectos aleatorios) (Burow y Coors 1994; Zhang y Kang 1997). Al respecto, Preciado *et al.* (2005) señalan que cuando se

detecta que los efectos mayores corresponden a la aptitud combinatoria general, es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética disponible, mediante cualquier variante de la selección recurrente.

Por el contrario, en cruzamientos donde se registra mayor aptitud combinatoria específica, puede implementarse un programa de selección recurrente recíproca, o de hibridación. Se ha encontrado, que los cruzamientos entre germoplasmas de alta divergencia genética proporcionan mayor respuesta heterótica. El conocimiento de la constitución genética del germoplasma y el de las relaciones entre las líneas contribuye al progreso genético (Smith y Smith, 1987). La información sobre aptitud combinatoria y patrones heteróticos de poblaciones nativas, variedades, compuestos de amplia base genética y líneas es esencial para maximizar su uso en el desarrollo de híbridos (Beck *et al.*, 1991). El conservar y seguir mejorando el germoplasma puede incrementar la respuesta heterótica entre ellas (Bernardo, 2001). Pero es necesario conocer a qué grupo heterótico pertenece el germoplasma utilizado en el programa de mejoramiento genético para determinar las relaciones que existen entre sus componentes y así poder aprovechar mejor la heterosis (Mickelson, 2001). La clasificación de las líneas dentro de grupos heteróticos es esencial para determinar el potencial y utilidad de dichas líneas en el desarrollo de híbridos o variedades sintéticas (Menkir *et al.*, 2003).

El término de grupo heterótico se aplica a una variedad, una raza o un compuesto de germoplasma diverso, y que en sí conforman un conjunto de individuos que exhiben aptitud combinatoria similar y respuesta heterótica al ser cruzados con otros grupos germoplásmicos genéticamente diferentes. Por otro lado, el término patrón heterótico

se refiere a un par específico (ya sea de línea, población nativa, compuesto o cualquier tipo de germoplasma que integre al grupo heterótico) cuyo cruzamiento muestra alta heterosis, facilitando así el desarrollo de híbridos potenciales (Melchinger y Gumber, 1998).

Uno de los pares heteróticos más conocidos dentro de los programas de mejoramiento genético de Estados Unidos está compuesto por el par de variedades Reid y Lancaster, de los cuales existen varios derivados mejorados; las líneas puras derivadas de este par heterótico aparecen en el pedigrí de la mayoría de los híbridos de los Estados Unidos de América del Norte. El primer intento para una identificación sistemática de complejos raciales y grupos heteróticos de germoplasma tropical fue hecho por Wellhausen a principios de la década de los años 60, en colaboración con mejoradores de maíz de México, América Central y América del Sur (Wellhausen, 1978; Hallauer *et al.*, 1988).

Cuando se utiliza un grupo de probadores divergentes en pruebas de mestizos, se estimar la distancia genética de las líneas involucradas y éstas pueden ser clasificadas en diferentes grupos heteróticos, basándose en el comportamiento de las cruzas y los probadores (Soengas *et al.*, 2003).

Uno de los resultados más tangibles que tienen los programas de mejoramiento genético de maíz es el desarrollo de híbridos y variedades sintéticas con excelente potencial de rendimiento y con buen comportamiento agronómico. Deberá tenerse como objetivo principal, desarrollar nuevas y mejores líneas *per se*, y que combinen bien con otras líneas (Trifunovic *et al.*, 2003).



En programas de formación de híbridos de maíz, el conocimiento de las relaciones genéticas entre las líneas es de gran utilidad en la planificación de cruzamientos que den origen a los mejores híbridos (Betrán *et al.*, 2003; Nestares *et al.*, 1999), al desarrollo de nuevas líneas y a su clasificación en grupos heteróticos (Pinto *et al.*, 2003). Por éstas y otras razones los fitomejoradores tienen interés en caracterizar la diversidad genética entre y dentro de los grupos heteróticos existentes, así como también conocer las relaciones entre las líneas actuales e históricamente importantes.

Técnicamente, un híbrido exitoso se obtiene de la primera generación ( $F_1$ ) producto de la cruce entre dos líneas contrastantes. Constantemente se producen numerosos tipos de híbridos en todos los programas de mejoramiento, al combinar caracteres diferentes contenidos en los dos progenitores. En el caso del mejoramiento de maíz o de otros cultivos, el término híbrido implica un cruzamiento específico y diferente, en el cual el híbrido  $F_1$  es usado para la producción comercial. El híbrido debe mostrar un alto grado de heterosis para que su cultivo y producción sean económicamente posibles. Los prerequisites para el desarrollo de cualquier tipo de híbridos son: contar con buenos progenitores derivados de fuentes de germoplasma superiores con caracteres agronómicos deseables y alta aptitud combinatoria general y específica.

Se han desarrollado varias clases de maíces híbridos que han sido usados en la producción comercial; en general, se pueden clasificar en tres tipos: híbridos entre progenitores sin endogamia; híbridos entre progenitores con endogamia e híbridos mixtos formados entre progenitores endogámicos y no endogámicos. Los híbridos de progenitores endogámicos son los más comunes, se les conoce como híbridos convencionales; los híbridos de progenitores no endogámicos o mixtos no son tan

populares y en general, se les llama híbridos no convencionales (Paliwal, 1986). En la actualidad se siguen utilizando híbridos de progenitores endogámicos, sólo que en la formación de estos híbridos se están utilizando líneas puras con alto nivel de endogamia, pero se ha buscado que sean líneas con buen vigor y alto rendimiento a fin de tener híbridos de cruce simple que muestren alto grado de heterosis (Sleper y Poehlman, 2006; Acquaah, 2007).

Un programa de selección y mejoramiento de poblaciones para el desarrollo de variedades de polinización libre, compuestas o sintéticas puede progresar con una mínima cantidad de material de una población adaptada. El desarrollo de un híbrido por lo general necesita un mínimo de dos poblaciones contrastantes, con un comportamiento superior *per se*, un comportamiento superior de la cruce y que muestre un alto grado de heterosis en las combinaciones híbridas.

En México, los primeros híbridos de maíz fueron desarrollados a inicios de la década de los años 50 utilizando germoplasma de las razas Tuxpeño, Celaya, Chalqueño y Bolita. Por diversas razones algunos híbridos no dieron los resultados esperados y las variedades de polinización libre fueron los principales cultivares utilizados (Wellhausen, 1978). En la actualidad las cosas no han cambiado mucho ya que la producción y distribución de semillas mejoradas son el puente de transferencia de tecnología entre fitomejoradores y productores, para alcanzar niveles competitivos en la producción. En México las semillas mejoradas de maíz se siembran en sólo 30 % de la superficie ocupada por este cultivo y de estas semillas mejoradas la mayor parte es producida por el sector privado, principalmente por compañías transnacionales. En 2009 se sembraron en México 8 millones de hectáreas de maíz, de las cuales 1.5 millones

fueron con 45 mil toneladas de semilla híbrida, de éstas, 95 % fueron producidas por Monsanto y Pioneer, principalmente; el resto (3 mil toneladas) lo produjeron pequeñas empresas nacionales (Luna *et al.*, 2012).

Se han hecho pocos estudios sobre las respuestas heteróticas del germoplasma tropical x templado; al respecto, Brewbaker (1974) informó que estas cruzas a menudo muestran alto grado de heterosis y que las mismas se han usado sobre todo en el programa de mejoramiento de maíz en Hawaii, Estados Unidos de Norte América. Efron (1985) y Kim (1990), al informar sobre el desarrollo del programa de hibridación del Instituto de Agricultura Tropical (IITA) en Nigeria, enfatizaron la necesidad de adaptar líneas de zonas templadas a las condiciones tropicales, con el fin de utilizar el alto nivel de heterosis que se encuentra entre el germoplasma tropical x templado.

Goodman (1985) estudió varias combinaciones de razas tropicales con el objetivo de identificar germoplasma tropical de maíz que pudiera ser usado en combinación con germoplasma de zonas templadas e identificó 10 grupos heteróticos de germoplasma tropical. Lewis y Goodman (2003) mencionan que el germoplasma de maíz tropical se puede incorporar a líneas de zonas templadas a través de métodos de mejoramiento como la retrocruza, con el fin de derivar nuevas líneas endogámicas con potencial agronómico aceptable y alto rendimiento.

En los trópicos, para el desarrollo de híbridos, hasta ahora los fitomejoradores de maíz han usado sólo una parte limitada de la diversidad genética y de las posibles combinaciones heteróticas disponibles en el germoplasma tropical. Lo anterior puede ser debido al gran número de razas y cultivares que aún deben ser estudiados; además, por el interés de los fitomejoradores en obtener resultados a corto plazo

mediante el uso de modelos heteróticos y sus combinaciones ya establecidos (Paterniani, 1990). La diversidad de ambientes en la zona tropical en los que se cultiva el maíz es muy grande y necesita modelos heteróticos con requerimientos específicos de los diversos ambientes. El enfoque adecuado para detectar modelos heteróticos, debería incluir cruzas entre todas las razas, cultivares y poblaciones en una serie de dialelos que permitieron hacer comparaciones directas; esto sin embargo, no resulta práctico a causa de la gran cantidad de cruzamientos y trabajo requerido. El conocer a fondo los recursos con los que se cuenta permite obtener mejores materiales para cada zona, con lo cual sería posible elevar la productividad de las áreas de cultivo.

El estudio de la diversidad genética en el maíz es muy usado por los fitomejoradores para agrupar líneas endocriadas para que al ser cruzadas se tengan resultados acordes con el alto potencial híbrido del maíz (Souza, 2008; Vaz *et al.*, 2004). El conocimiento de la diversidad existente en un grupo de maíces permite evaluar la variabilidad existente en el grupo y a partir de la información obtenida, se pueda elegir correctamente el material que se va a usar en los programas de mejoramiento genético (Carvalho *et al.*, 2008). Una herramienta que en la actualidad están usando los genotecnistas son los marcadores moleculares que permiten seleccionar plantas con características agronómicas deseables basándose en la información genética y no en la información fenotípica (Acquaah, 2007).

Los marcadores moleculares tienen la ventaja de que pueden identificar altos niveles de polimorfismo, no tienen interacción con el ambiente y pueden ser aplicados en cualquier estado de desarrollo de la planta (Souza, 2008). Un marcador molecular ideal es aquél que es altamente polimórfico, codominante, preciso, reproducible, y de bajo

costo (Jones, 2007). La codominancia de un marcador ofrece una ventaja frente a otros marcadores porque permite distinguir individuos homocigóticos de individuos heterocigóticos (Kosman y Leonard., 2005).

Eberhart *et al.* (1995) enfatizaron que cuando los recursos -humanos y financieros- son limitados, es más prudente trabajar sólo con dos poblaciones superiores que muestren entre ellas alta heterosis, en vez de tratar de manejar varias poblaciones. Sin embargo, una decisión sobre el número de poblaciones a manejar en un programa de obtención de híbridos depende del número de ambientes al que está dirigido y las poblaciones que se necesiten para la investigación y desarrollo de los mismos. Las poblaciones básicas deben tener la capacidad de tolerar el estrés de la endogamia y de producir una alta frecuencia de líneas puras superiores y de alto rendimiento; deben tener además buena aptitud combinatoria y caracteres agronómicos deseables. Esto aumenta las oportunidades para seleccionar por alelos y combinaciones de alelos, fortaleciendo la expresión de la heterosis. Por lo tanto, los adelantos genéticos a largo plazo pueden ser obtenidos por el mejoramiento continuo de las poblaciones heteróticas y por el uso de líneas endocriadas extraídas de poblaciones avanzadas en el desarrollo de híbridos (Hallauer, 1990).

Han *et al.* (1991) estudiaron el comportamiento de las combinaciones híbridas desarrolladas a partir de líneas  $S_3$  en 11 poblaciones que habían sido mejoradas por el método de selección recurrente entre poblaciones y dentro de las mismas. Las cruzas de líneas entre poblaciones mostraron una superioridad de 4 a 16 % sobre las cruzas de líneas dentro de las poblaciones. Vasal *et al.* (1995) informaron que algunas cruzas de líneas entre poblaciones rindieron más de 12 % que las cruzas derivadas de las

correspondientes poblaciones mejoradas a través de esquemas de selección dentro de las poblaciones.

Las etapas importantes en la investigación y desarrollo de híbridos son: 1) endocría de los cultivares de polinización libre o de poblaciones  $F_2$  para desarrollar líneas puras; 2) evaluación de las líneas por su aptitud combinatoria; 3) combinación de las mejores líneas para la producción de distintos tipos de híbridos; y 4) prueba e identificación de híbridos superiores para su uso por los agricultores. Otras variaciones a un programa estándar de desarrollo de híbridos podrían ser: diversidad y cantidad de la fuente de materiales; número de generaciones de autofecundación de las líneas endocriadas; criterios de selección; etapa en la cual son probadas las líneas, o sea pruebas tempranas o tardías; tipo de probadores usados; método de mantenimiento de las líneas puras; predicción del comportamiento de los cruzamientos, y finalmente, la prueba de los híbridos.

La heterosis exhibida por las líneas endocriadas por medio de la expresión del rendimiento es producto del comportamiento *per se* de esas líneas y de su aptitud combinatoria general y específica en las combinaciones híbridas específicas. Algunas veces la prueba de líneas para la evaluación de híbridos comienza en la quinta autofecundación y es en este momento en que el número de líneas se reduce a un número manejable (Hallauer *et al.*, 1988). Un segundo sistema de desarrollo de líneas puras se basa en la evaluación de las líneas para el comportamiento de los híbridos en generaciones de autofecundación tempranas (Jenkins 1935; Hallauer *et al.*, 1988). El comportamiento *per se* de las líneas endogámicas y sus caracteres no están estrechamente relacionados con su comportamiento en las combinaciones híbridas.

En el germoplasma de maíz tropical, la frecuencia de líneas endocriadas superiores en las progenies autofecundadas de muchas poblaciones es baja y los modelos heteróticos no están bien establecidos. Por lo tanto, es prudente evaluar el comportamiento de los cruzamientos de prueba lo más temprano posible para descartar un gran número de líneas indeseables que probablemente no se usen. Es recomendable hacer los cruzamientos de pruebas iniciales no más allá de las generaciones  $S_2$  o  $S_3$  (Hallauer, 1990).

Para facilitar el uso de la heterosis y predecir el comportamiento de los híbridos es necesaria la evaluación y uso de grupos heteróticos. Esta tarea ha sido útil porque no se ha encontrado correlación alta con el comportamiento de las líneas *per se* ni con el comportamiento de la progenie híbrida en caracteres importantes agronómicamente, principalmente en rendimiento de grano (Hallauer, 2000).

Las futuras tendencias sugieren que aumentará el desarrollo y uso de híbridos en el maíz tropical (Lewis y Goodman, 2003). Los pares heteróticos conocidos como Reid y Lancaster que han sido usados en el pasado se seguirán usando aún, pero se espera que nuevos pares sean también identificados, mejorados y utilizados. No todos los países o regiones pueden estar involucrados en el desarrollo y mejoramiento de combinaciones heteróticas y puede que no sea necesario que lo hagan; es posible que puedan usar combinaciones heteróticas de otras áreas o puede simplemente confiar en líneas puras locales o exóticas para producir los híbridos que necesitan (Hallauer, 1990; Sleper y Poehlman, 2006; Acquaah, 2007).

## **1.1 Objetivo General**

Estudiar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en progenies derivadas, por autofecundación, de poblaciones nativas de Tamaulipas, atribuidos al ambiente de selección, así como, determinar si dichos cambios favorecen la adaptación a diversas condiciones ambientales y pueden mostrar mayor potencial de rendimiento al evaluar las cruzas de las líneas avanzadas e identificar las que puedan en un futuro utilizarse en programas de fitomejoramiento para ambientes diversos.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Derivar y seleccionar líneas hasta el nivel  $S_3$  a partir de poblaciones nativas de Tamaulipas y materiales mejorados de Valles Altos sobresalientes en Tamaulipas y en los Valles Altos de México, con criterios prioritarios de selección de vigor, precocidad, resistencia a enfermedades y acame y alto rendimiento en los Valles Altos Centrales de México.

Realizar pruebas tempranas através de mestizos para evaluar y seleccionar las mejores líneas  $S_1$  derivadas de las poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas para continuar con su proceso de endogamia.

Determinar los cambios fenológicos y morfológicos ocurridos en las progenies derivadas ( $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ ) de las poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas, comparadas con las poblaciones originales, al seleccionarlas y evaluarlas en los Valles Altos Centrales de México.



Formar híbridos con líneas S<sub>3</sub>sobresalientes provenientes de germoplasma de Tamaulipas y de los Valles Altos Centrales de México, identificando aquellas cruzas con la mejor expresión en cuatro ambientes de evaluación, dos en Trópico seco (Tamaulipas), Transición y Valles Altos, que son contrastantes en altitud, latitud y temperatura.

## **1.2 Hipótesis**

Al formar líneas endogámicas se fijan atributos de adaptación a un ambiente dado (precocidad, resistencia a enfermedades, vigor, rendimiento, etc.), pero al ser evaluadas las líneas ya sea *per se* o en cruzas con germoplasma del mismo origen o contrastante, muestran susceptibilidad a las condiciones ambientales.

Existe alta heterosis y aptitud combinatoria en líneas tamaulipecas y de Valles Altos al evaluar los híbridos resultantes de cruzas entre líneas S<sub>3</sub> al ser establecidas en ambientes contrastantes.

## **CAPITULO II. CAMBIOS OCURRIDOS EN PROGENIES DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS, AL SELECCIONARLAS EN LOS VALLES ALTOS CENTRALES DE MEXICO**

### **3.1 Resumen**

Se reconoce que la siembra de una variedad de maíz en una área ecológica diferente a la de su origen provoca cambios fenológicos y morfológicos que pueden no ser agronómicamente deseables, y que estos cambios tal vez impacten directamente en su rendimiento; sin embargo, los maíces cultivados en un área ecológica definida pueden manifestar cierta adaptabilidad a otras, debido a su constitución genética y a los efectos de la selección natural y artificial. Conociendo lo anterior, en Montecillo, Estado de México, se evaluó la versión original y tres progenies derivadas por autofecundación hasta S<sub>3</sub> de cinco poblaciones nativas, representativas de diferentes zonas ecológicas del estado de Tamaulipas (tres tropicales y dos de montaña) y un material mejorado de los Valles Altos. Esta valoración pretendió conocer los cambios fenológicos y morfológicos que pudieron haber ocurrido al realizar la selección de líneas. En general, todos los genotipos mostraron cambios significativos, los más evidentes se encontraron en los derivados de las tres poblaciones tropicales, ya que sus líneas redujeron los días a floración desde 8 hasta 20 días; en las poblaciones de montaña y de Valles Altos la reducción en floraciones fueron significativamente menores (1 y 6 días). Esta expresión de precocidad se pudo explicar por la reducción en el número total de hojas por planta, ya que dos de las poblaciones tropicales presentaron hasta cinco hojas menos comparadas con la población original; la otra población tropical no mostró cambios significativos. En las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012 los cambios mostrados fueron más altos que en las otras poblaciones estudiadas, infiriéndose que fueron debidos a una mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos; estas poblaciones en sus progenies tuvieron plantas vigorosas, precoces, tasas de llenado de grano más altas y mayor producción de grano. En las poblaciones de la montaña de Tamaulipas C-4026 y C-4035 se observó una disminución en la producción de grano en sus progenies atribuibles al proceso de endogamia. En general se observaron cambios fenológicos, morfológicos y de componentes del rendimiento de grano importantes en todas las poblaciones estudiadas, teniendo en las progenies S<sub>3</sub>, líneas uniformes y con buen potencial para ser usadas en programas de fitomejoramiento.

**Palabras clave:** progenies de maíz, autofecundación, adaptación, cambios fenológicos y morfológicos, vigor

### 3.2 Introducción

La autofecundación ocurre cuando el polen fertiliza al óvulo de la misma flor o a los óvulos de la misma planta. La autofecundación hace que las plantas tiendan a la homocigosis, por lo que la población e individuos derivados permanecen homogéneos y homocigóticos.

El progreso en la selección depende de la amplitud de la variabilidad genética existente en una población y de las magnitudes de sus componentes. Éstos y la interacción genotipo x ambiente proveen de información al fitomejorador en cuanto a si existe suficiente variabilidad genética en el germoplasma a utilizar, el esquema adecuado de selección para el mejor aprovechamiento de dicha variabilidad, qué tan extensamente el germoplasma debe ser probado para identificar los mejores progenitores, y si el mismo método de selección será igualmente apropiado para mejorar caracteres con diferente grado de importancia (Dudley y Moll, 1969).

La introducción de germoplasma exótico sirve para ampliar la base genética de los maíces adaptados a las zonas de clima templado para poder desarrollar líneas puras superiores (Wellhausen, 1956; Hallauer, 1978; Oyervides *et al.*, 1985; Holland y Goodman, 1995), y el germoplasma tropical es una reconocida e importante fuente de variabilidad (Goodman y Brown, 1988; Ragot *et al.*, 1995; Gouesnard *et al.*, 1996). Además, a finales de los años sesenta, Thompson (1968) indicó que algunos materiales exóticos podían ser buenos forrajeros, dada su aceptable producción de grano y su exuberante desarrollo vegetativo, lo cual también mencionan Pecina-Martínez *et al.* (2009) al valorar germoplasma tropical en los Valles Altos Centrales de México.

La germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica delimitan respectivamente las etapas vegetativa, reproductiva y de llenado de grano; la duración de cada una de estas etapas fenológicas depende del genotipo que interactúa con la temperatura y el fotoperíodo del ambiente donde se desarrolla el cultivo (Bolaños y Edmeades, 1993). El maíz, como otras especies, posee adaptaciones morfológicas en respuesta a las condiciones ambientales donde se desarrolla. Tales adaptaciones se manifiestan como modificaciones en la altura de planta, el número, tamaño y ángulo de las hojas, número de ramificaciones de la espiga, etc., producto de la selección natural o artificial (Bolaños y Edmeades, 1993).

El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios fenológicos, morfológicos y de componentes de rendimiento ocurridos en progenies con diferentes niveles de endogamia, derivadas de poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas, comparadas con la población original, al ser derivadas y seleccionadas en un ambiente contrastante en altitud, latitud y temperatura al de las poblaciones originales. Bajo la hipótesis de que existirán cambios significativos en las progenies derivadas de las poblaciones nativas de Tamaulipas al derivarlas y seleccionarlas en los Valles Altos de México.

### **3.3 Materiales y Métodos**

Se partió de 35 poblaciones de maíz seleccionadas por su comportamiento sobresaliente en evaluaciones realizadas en Valles Altos Centrales de México y el Centro de Tamaulipas en 2006 (Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011), de las cuales: 29 fueron poblaciones nativas de la región centro-sur y región montañosa del Suroeste del Estado de Tamaulipas, dos testigos del área ecológica del centro de Tamaulipas y cuatro variedades mejoradas de los Valles Altos desarrolladas por el Dr.

Moisés Mendoza Rodríguez<sup>†(qepd)</sup> en la Universidad Autónoma Chapingo. Con estas poblaciones, en los Valles Altos Centrales de México, desde 2006 en el programa de mejoramiento genético de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados se inició la formación de líneas endogámicas por medio de autofecundación, generación tras generación las líneas se seleccionaron con base en precocidad, resistencia a enfermedades, vigor y potencial de rendimiento.

En el programa de mejoramiento genético del área de Fisiotecnia del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados en Montecillo Estado de México, se han trabajado todas las poblaciones nativas de Tamaulipas (Pecina-Martínez *et al.*, 2009), de las cuales, para este estudio se tomaron cinco poblaciones nativas representativas de las diferentes zonas ecológicas del estado de Tamaulipas (tres tropicales y dos de la montaña) y una variedad mejorada de los Valles Altos con sus correspondientes generaciones de autofecundación. En 2010 se evaluaron las progenies derivadas por autofecundación hasta S<sub>3</sub> (refiriéndose como progenies a las líneas derivadas con endogamia desde S<sub>1</sub> hasta S<sub>3</sub>) y la población original correspondiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Población y líneas derivadas con su municipio de origen en el Estado de Tamaulipas y Valles Altos, evaluadas en Montecillo 2010.

<b>Grupo</b>	<b>Población</b>	<b>Municipio de origen</b>	<b>Genealogía de líneas S<sub>3</sub></b>
I	C-3001	Padilla, Tam.	I-C3001 2915-4-2-1
II	C-3012	Tula, Tam.	II-C3012 2922-3-1-1
III	C-3033	Llera, Tam.	III-C3033 2926-4-7-1
IV	C-4026	Miquihuana, Tam.	IV-C4026 2936-3-2-1
IV	C-4035	Miquihuana, Tam.	IV-C4035 2942-5-1-1
VI	H-San Juan	Chapingo, Edo. de México	VI-H San Juan 2948-1-3-1

En el Cuadro 1, el primer símbolo que muestran las poblaciones (I, II, III, IV y VI) hace referencia al origen de los grupos en que se clasificaron las poblaciones

dependiendo de la región ecológica de origen que, de acuerdo con Pecina-Martínez *et al.* (2009) corresponden a: 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 = montaña, clima templado seco; y Grupo VI = Valles Altos Centrales de México.

La siembra se realizó en el ciclo primavera-verano de 2010, con fecha 6 de mayo, en el campo agrícola experimental Montecillo, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el municipio de Texcoco, ubicado a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con altitud de 2250 msnm y clima Cb (wo) (w) (i') g (García, 1987), con temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente.

Se estableció un lote experimental que consistió en cuatro surcos de 5.0 m de longitud, separados a 0.80 m entre sí. Se sembraron manualmente dos semillas por golpe, a una distancia de 0.25 m, posteriormente se aclaró para dejar una planta por mata y establecer una densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>. El cultivo se desarrolló en condiciones favorables de humedad y fertilización.

Las variables fenológicas estudiadas fueron: longitud de entrenudos, para ello se realizaron cuatro muestreos a 45, 60, 80 y 100 días después de la siembra y se midieron las longitudes de nueve entrenudos consecutivos en el tallo, en sentido acrópeto, asignándose en todas las plantas el número siete al entrenudo inmediato superior al nudo de inserción de la mazorca principal; 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 la exposición de estigmas, respectivamente; asincronía floral (AF) como la diferencia entre DFM y DFF; periodo de llenado de grano

(PLLG), en días desde la floración femenina hasta la madurez fisiológica, considerada ésta como la aparición de la capa negra en la base del grano.

Las variables morfológicas tomadas en diez plantas se realizaron cuando éstas estaban en la etapa de llenado de grano, incluyeron: número de hojas totales (HT) y número de hojas arriba de la mazorca primaria (HAM), para registrar el número exacto de estas hojas, desde la emergencia se marcó con pintura blanca en la mayor cantidad de plantas de la parcela la hoja ligulada superior en intervalos 20 días hasta alcanzar el número total de hojas por planta; altura de planta (AP) y de mazorca (AM), en cm, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; posición de la mazorca (PoM) como la relación entre AP/AM; número de granos potenciales (GP), se contó el número de florecillas formadas y con estigmas expuestos en tres inflorescencias femeninas en cada población original y sus progenies.

Se hizo un estudio de crecimiento del grano, en mazorcas de plantas que fueron polinizadas manualmente en una sola fecha, la polinización manual permitió contar y precisar el momento en que el grano inició su crecimiento. Se realizaron cinco muestreos en intervalos de 10 días, a partir de 30 días después de la polinización. Se consideraron seis mazorcas por población y por progenie, tomando y registrando la biomasa de diez granos de una hilera de la parte media de la mazorca, en esa misma mazorca se realizaron más muestreos alternando las hileras, para evitar que en cada muestreo se tomaran posibles granos dañados; el último muestreo coincidió con la madurez fisiológica, la cual se registró como el momento en que apareció la capa negra en la base del grano. Se realizaron cálculos de las tasas de llenado de grano

(TLLG) durante la fase lineal del crecimiento que se ubicó cuando se presentaron los mayores y constantes incrementos coincidiendo con los dos primeros muestreos (30 y 40 días después de la polinización).

Para obtener el peso de grano producido por mazorca y algunos componentes del rendimiento se utilizaron en la toma de datos diez mazorcas que se dejaron secar hasta peso constante, éstas fueron representativas de cada población y de cada progenie, las cuales fueron pesadas cada una en forma individual y posteriormente se desgranaron y se registró el peso del grano (PG); las variables para evaluar los componentes del rendimiento de grano fueron: longitud de mazorca (LMz), diámetro de mazorca (DMz) y diámetro de olote (DO) en cm, tomado en la parte media de la mazorca; número de hileras por mazorca (NHM); número de granos por hilera (NGH) como el promedio de los granos contados en tres hileras por mazorca; número de granos por mazorca (NGM) como el producto de NHM x NGH; índice de desgrane (IDg) calculado como el porcentaje de grano con respecto al peso de la mazorca; peso individual de grano (PIG) como el promedio del peso de 100 granos tomados al azar de cada mazorca; índice de cosecha (IC) se calculó con cinco plantas completas de cada población original y sus progenes, calculando la relación de grano/biomasa total de la planta.

El análisis de varianza de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS, versión 6.12 (SAS, 1996), la prueba de medias Tukey ( $\alpha=0.05$ ) y diferentes análisis gráficos.

### **3.4. Resultados y Discusión**

#### **3.4.1. Crecimiento de entrenudos**

Se realizaron muestreos de crecimiento de entrenudos en todas las poblaciones y sus progenes; los cambios observados entre muestreos indican tendencias similares por lo



que para su análisis y discusión se presentan los resultados del último muestreo, que corresponde a la etapa fenológica de llenado de grano, momento en que ya no había alargamiento de los entrenudos. En la Figura 1 se observa la longitud que alcanzaron los nueve entrenudos consecutivos en las poblaciones tropicales (C-3001, C-3012 y C-3033) y sus progenies; el entrenudo siete corresponde al entrenudo superior del nudo de inserción de la mazorca primaria en todos los casos; en la población C-3001 de la zona centro de Tamaulipas se observó la tendencia de presentar una mayor longitud de entrenudos a medida que aumentó el nivel de endogamia ya que en los entrenudos estudiados de la línea  $S_3$  se tuvieron los entrenudos más largos (20.7 cm en promedio) comparados con los de la población original (16.5 cm), lo que está relacionado con el incremento en la altura de planta de las líneas, ya que fue una de las poblaciones donde sí hubo incremento en esa variable, lo cual pudiera ser por el efecto de la selección para mejor adaptación a las condiciones ambientales de los Valles Altos (Pérez *et al.*, 2002).

En el caso de las poblaciones C-3012 y C-3033, los cambios no fueron significativos al comparar la población original con la progenie  $S_3$  (Figura 1), en la población C-3012 en promedio solo cambió en 1 cm al pasar de la original 18.1 cm a la  $S_3$  de 19.1 cm, en la población C-3033 se presentó un decremento, ya que la población original tuvo 19.5 cm en promedio, comparada con 17.7 cm de la progenie  $S_3$ . El comportamiento de las poblaciones originales fue similar al que mostró el grupo al que pertenece cada una de ellas, en la evaluación de Pecina-Martínez *et al.* (2009).

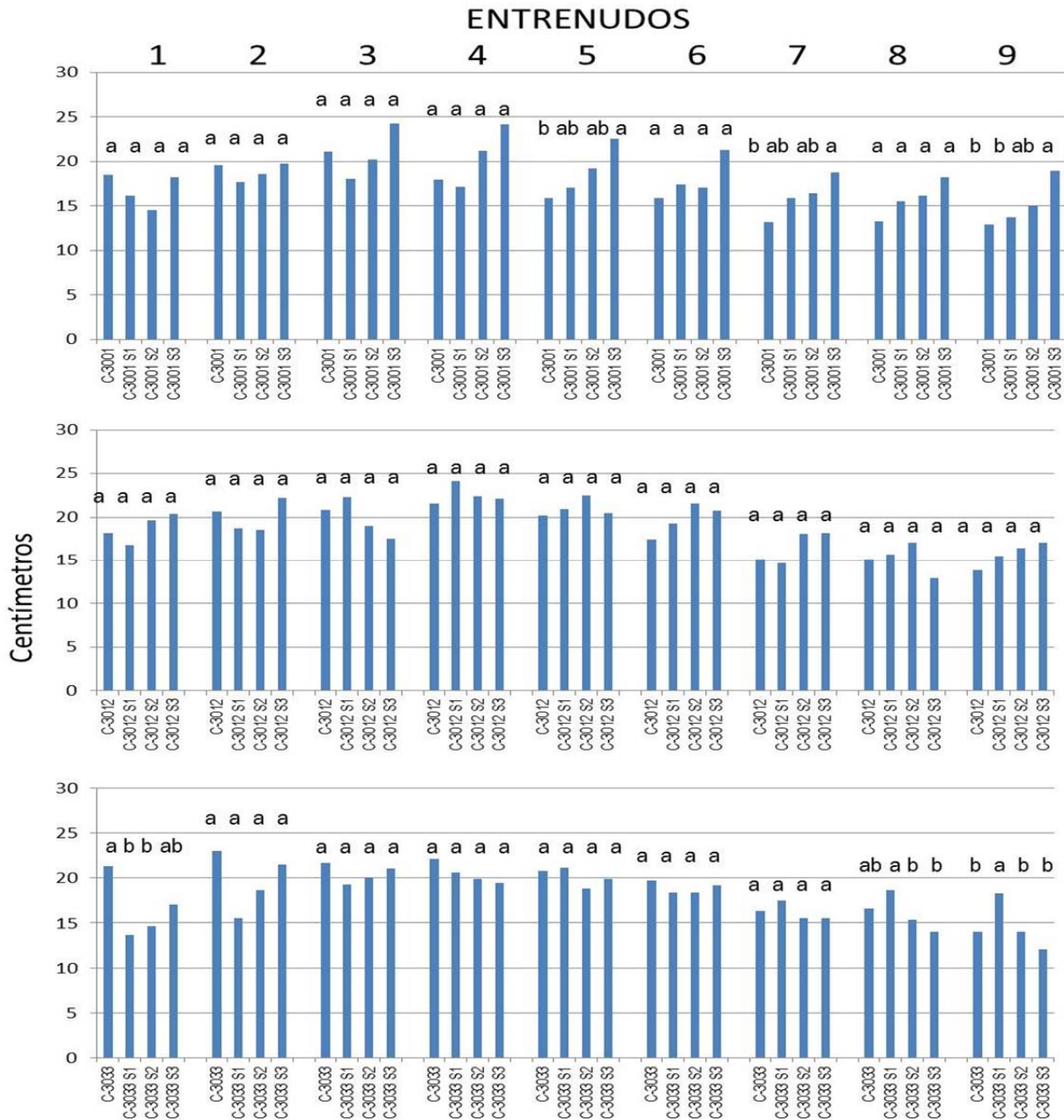


Figura 1. Longitud de entrenudos de tres poblaciones tropicales de maíz y sus progenies hasta S<sub>3</sub> con distinto origen ecológico en Tamaulipas (C-3001 = zona centro, C-3012 = zona del ex IV Distrito y C-3033 = zona de la Huasteca); el entrenudo siete representa el superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras sobre cada entrenudo indican diferencias entre la población original y sus respectivas progenies ( $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 2 se presenta el comportamiento de las dos poblaciones y sus progenies provenientes de la zona montañosa de Tamaulipas (C-4026 y C-4035) y de una población mejorada de Valles Altos (H-San Juan) en cuanto a la longitud de nueve entrenudos consecutivos en la planta, donde el entrenudo siete corresponde al entrenudo superior al nudo de inserción de la mazorca primaria en todos los casos; en la población C-4026 original, los entrenudos por debajo de la mazorca (1-6) fueron más cortos en comparación con los de sus progenies y en los entrenudos superiores (7-9) fueron más uniformes entre las progenies; en forma general, esta población en su versión original presentó en promedio entrenudos de 16.2 cm de longitud, en comparación con los entrenudos de sus progenies que fueron 3.5 cm más largos. En el caso de la población C-4035 original y sus progenies  $S_2$  y  $S_3$  presentaron entrenudos de igual tamaño, sólo la progenie  $S_1$  en todos los entrenudos tuvo el valor más bajo. En la población H-San Juan se observaron diferencias entre las progenies con la población original, presentando los valores más altos la progenie  $S_3$  (21.9 cm en promedio).

Entre las progenies  $S_3$  de la Figura 2, la del H-San Juan fue la que presentó la mayor longitud de entrenudos en comparación con las de las poblaciones de la montaña de Tamaulipas, pudo ser debido a que H-San Juan ya era un material mejorado con cierto grado de endogamia y que al derivar nuevas líneas de esa población el proceso de depresión endogámica no fue tan severo como en las poblaciones nativas de la montaña de Tamaulipas.

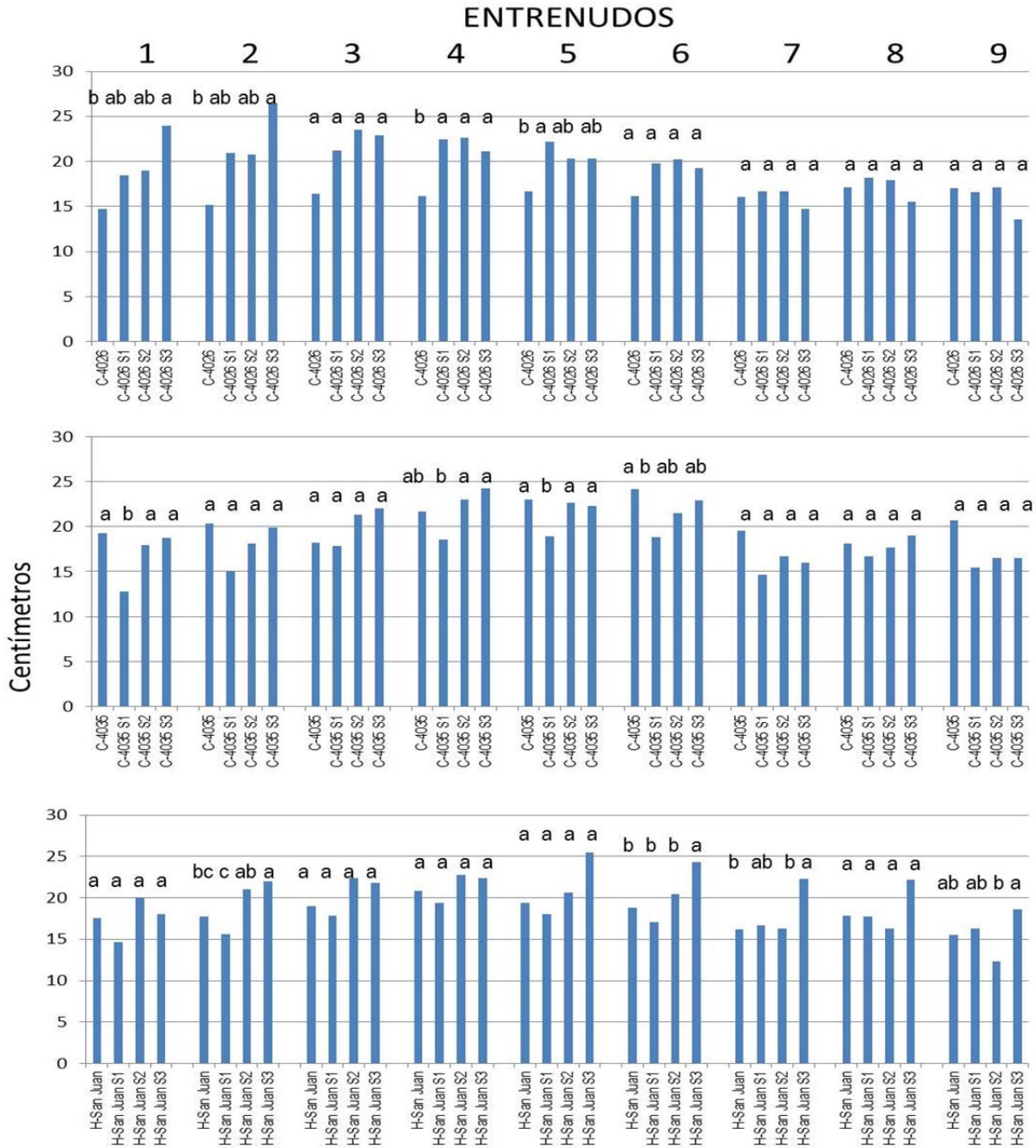


Figura 2. Longitud de entrenudos de tres poblaciones y sus progenies hasta S<sub>3</sub> con distinto origen ecológico (C-4026 y C-4035 = zona montañosa de Tamaulipas; H-San Juan = Valles Altos); el entrenudo siete representa el superior al nudo de inserción de la mazorca. Las letras sobrecada entrenudo indican diferencias entre la población original y sus respectivas progenies (p ≤ 0.05).

Las progenies S<sub>3</sub> de todas las poblaciones estudiadas, con excepción de la derivada de la población C-3033, tuvieron entrenudos largos lo que pudiera deberse al proceso

de selección de las líneas derivadas y a los criterios aplicados de alto vigor y sanidad durante la selección practicada de generación en generación, de manera que en la  $S_3$ , con un valor de endogamia de 87.5 %, ya se tienen líneas vigorosas, sanas en planta y mazorca y con potencial de rendimiento, evidenciándose que hasta el momento, las progenies derivadas de las poblaciones tropicales C-3001, C-3012 y C-3033 fueron las que mostraron la mejor adaptación al ambiente de Valles Altos; en el caso de los materiales de la zona montañosa de Tamaulipas desde su introducción a Valles Altos no presentaron problemas de adaptación y expresaron alto potencial para ser utilizadas en este ambiente (Pecina-Martínez *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011).

### **3.4.2 Comportamiento fenológico y morfológico**

En general, se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las variables fenológicas y morfológica evaluadas, los más evidentes se encontraron en las tres poblaciones tropicales (C3001, C3012 y C3033), ya que en sus líneas derivadas se redujeron los días a floración masculina y femenina en el intervalo de 8 a 20 días (Cuadro 2); las poblaciones de la montaña (C4026 y C4035) y la de Valles Altos redujeron los días a floración significativamente menor, ya que no se observaron cambios tan drásticos como en las líneas  $S_3$  de las poblaciones C-3001 y C-3012. La asincronía entre la floración masculina y la femenina no mostró cambios significativos en la mayoría de las poblaciones evaluadas, sólo es de destacarse que en la población C-4035 con el proceso de endogamia se obtuvo en la generación  $S_3$  la expresión marcada de protoginia; es decir, que los estigmas se expusieron tres días antes de que la espiga iniciara el derrame de polen.

Se menciona que la protoginia intrafloral frecuentemente está asociada con la autocompatibilidad, así que este proceso pareciera ser un recurso evolutivo que asegura la producción de frutos y semillas (Bertin y Newman, 1993), también, la protoginia es una característica importante y apreciada en los programas de mejoramiento y producción de semillas; Aragón *et al.* (1991) mencionan que las plantas con protoginia presentan mayor rendimiento que las plantas protándricas, por su capacidad para exponer los estigmas cuando hay disponibilidad de polen, esto posiblemente permite un mayor número de óvulos fecundados y en consecuencia, mayor rendimiento.

La expresión de precocidad en las progenies  $S_3$  se puede explicar por la reducción en el número total de hojas por planta; para el caso de las líneas derivadas de las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012, éstas en la progenie  $S_3$  presentaron hasta cinco hojas menos por planta, pero la población C-3033, también de origen tropical, no mostró cambios significativos. La población C-4035 de la montaña de Tamaulipas y la H-San Juan de los Valles Altos presentaron en promedio dos hojas menos por planta al pasar de su versión original a la  $S_3$ ; la población C-4026 de la montaña de Tamaulipas en su progenie  $S_3$  presentó una hoja más en promedio. Al reducirse el número de hojas por planta, el número de hojas arriba de la mazorca fue significativo en las poblaciones C-3001 y C-4035, ya que las progenies  $S_3$  tuvieron menos hojas (1.7 y 1.4 hojas en promedio, respectivamente) arriba de la mazorca que en las poblaciones originales, en las demás poblaciones evaluadas los cambios no fueron significativos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores medios de variables fenológicas y morfológicas de las poblaciones originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.

Progenie	FM	FF	AF	HT	HAM	AP	AMz	PoM
C-3001 Original	96	98	-3	23.3 a	6.0 a	221.1 b	146.0 a	0.66 a
C-3001 S <sub>1</sub>	94	96	-2	22.0 a	5.3 ab	216.0 b	135.1 a	0.63 a
C-3001 S <sub>2</sub>	93	96	-3	22.3 a	5.7 a	233.4 b	146.8 a	0.63 a
C-3001 S <sub>3</sub>	77	79	-2	18.3 b	4.3 b	264.6 a	154.0 a	0.58 a
DMS				2.4	1.3	19.4	27.4	0.07
C-3012 Original	92	94	-2	23.3 a	5.7 a	250.8 a	146.3 a	0.58 a
C-3012 S <sub>1</sub>	88	90	-3	20.3 bc	5.3 a	263.9 a	159.5 a	0.60 a
C-3012 S <sub>2</sub>	86	88	-2	20.7 b	5.7 a	259.0 a	161.3 a	0.62 a
C-3012 S <sub>3</sub>	75	77	-2	18.3 c	5.0 a	254.7 a	152.6 a	0.60 a
DMS				2.2	3.4	33.4	31.5	0.08
C-3033 Original	96	98	-3	22.7 a	6.0 a	246.6 a	149.3 a	0.61 ab
C-3033 S <sub>1</sub>	89	91	-2	21.3 a	6.0 a	237.0 a	130.1 ab	0.55 b
C-3033 S <sub>2</sub>	92	94	-2	21.7 a	6.3 a	214.7 a	123.9 b	0.57 b
C-3033 S <sub>3</sub>	88	91	-2	22.3 a	6.0 a	229.7 a	148.3 a	0.64 a
DMS				1.7		34.2	23.1	0.06
C-4026 Original	80	82	-2	19.7 a	5.3 a	233.3 a	127.3 b	0.55 a
C-4026 S <sub>1</sub>	79	81	-2	20.0 a	5.0 a	240.1 a	145.7 ab	0.61 a
C-4026 S <sub>2</sub>	81	84	-3	20.7 a	5.0 a	244.5 a	164.2 a	0.67 a
C-4026 S <sub>3</sub>	76	78	-2	20.7 a	5.3 a	233.9 a	152.8 ab	0.65 a
DMS				1.8	1.7	39.4	27.1	0.18
C-4035 Original	82	84	-2	20.0 a	5.7 a	257.2 a	139.3 a	0.54 a
C-4035 S <sub>1</sub>	84	86	-2	19.0 a	5.0 ab	217.7 b	106.9 a	0.49 a
C-4035 S <sub>2</sub>	86	86	0	18.3 a	5.0 ab	232.0 ab	126.1 a	0.54 a
C-4035 S <sub>3</sub>	81	78	3	18.3 a	4.3 b	244.8 ab	136.3 a	0.56 a
DMS				2.1	1.1	28.8	38.6	0.12
H-San Juan Original	82	84	-2	19.7 a	5.0 a	251.0 ab	143.3 a	0.57 a
H-San Juan S <sub>1</sub>	86	88	-2	20.7 a	6.0 a	241.5 b	126.3 a	0.53 a
H-San Juan S <sub>2</sub>	85	88	-2	20.3 a	5.0 a	263.5 a	151.1 a	0.57 a
H-San Juan S <sub>3</sub>	76	77	-1	17.7 a	5.0 a	242.0 b	128.2 a	0.53 a
DMS				3.7	1.4	18.6	54.3	0.18

DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AsF = asincronía floral; HT = número de hojas totales; HAM = hojas arriba de la mazorca; AP = altura de planta (cm); AM = altura de mazorca (cm); PoMz = posición de la mazorca. Comparaciones dentro de cada población con sus progenies (Tukey, 0.05).

La altura de planta también se modificó significativamente. En la mayoría de las poblaciones la tendencia fue de reducción conforme se fue avanzando en el proceso de endogamia, sólo en las progenies de la población C-3001 se presentó un aumento; así, la línea S<sub>3</sub> tuvo 43.5 cm más altura que la población original. En la altura de la mazorca no se observaron cambios significativos, al igual que en la posición de la mazorca que

mantuvo valores de entre 0.49 y 0.67 (Cuadro 2), que son valores aceptables ya que así se disminuyen los riesgos de acame de tallo por soportar suficientemente el peso de la mazorca; en todas las poblaciones y sus progenies no se tuvieron problemas de acame de tallo ni de raíz (datos no presentados), característica que menciona Pecina-Martínez *et al.* (2009) que tenían las poblaciones originales.

### 3.4.3 Crecimiento de grano

En la Figura 3 se muestran los promedios en cinco muestreos de crecimiento de grano en poblaciones tropicales originales y sus respectivas progenies, en C-3001 y C-3012 se observa un incremento en los valores de peso de grano de las progenies comparadas con la población original, en la población C-3033 (de la Huasteca de Tamaulipas) la progenie  $S_1$  mostró un incremento significativo pero disminuyó en las siguientes generaciones. En las poblaciones C-3001 y C-3012 el mayor aumento en la acumulación de biomasa en el grano pudiera deberse a que presentaron una mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos y a que tuvieron tasas de llenado de grano (TLLG) más altas y un periodo de llenado de granos (PLLG) más largo, en comparación con sus poblaciones originales. La población C-3001 tuvo una TLLG de  $5.54 \text{ mg dia}^{-1}$ , y las progenies  $5.64$ ,  $9.26$  y  $7.56 \text{ mg dia}^{-1}$ , respectivamente para  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  (Cuadro 3). De acuerdo con López *et al.* (2000) se partió de granos pequeños en la población original que fueron cambiando a mayor tamaño en las generaciones posteriores; en la población C-3012 también se encontró un incremento en las tasas de llenado de grano que pasaron de  $6.0 \text{ mg dia}^{-1}$  en la población original a  $8.14 \text{ mg dia}^{-1}$  en la progenie  $S_3$ ; es de mencionarse que la progenie  $S_2$  entre los dos primeros muestreos mostró una TLLG baja, con apenas  $5.52 \text{ mg dia}^{-1}$  pero en el lapso del muestreo dos al tres se



incrementó a 9.27 mg día<sup>-1</sup>, para después disminuir al igual que en los demás materiales (Cuadro 3).

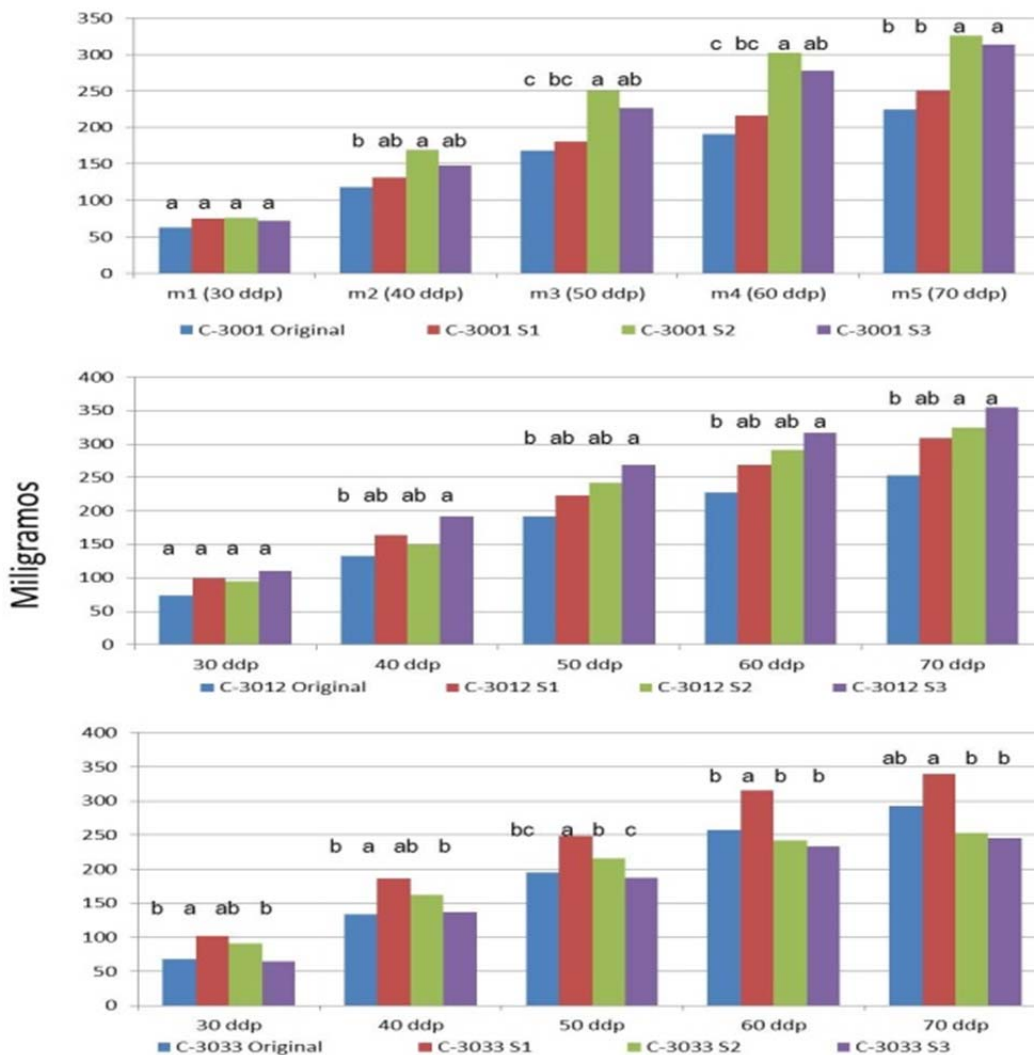


Figura 3. Acumulación de biomasa en grano de poblaciones tropicales de diferentes zonas ecológicas de Tamaulipas y sus progenies, formadas, seleccionadas y evaluadas en los Valles Altos, Montecillo 2010. ddp = días después de la polinización. Las letras sobre cada muestreo indican diferencias entre la población original y sus correspondientes progenies ( $p \leq 0.05$ ).

En las poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas, C-4026 y C-4035 (Figura 4) se observó una clara superioridad de la población original sobre sus progenies, ya que en todos los casos éstas presentaron valores más bajos de biomasa de grano; en la población C-4035 su progenie S<sub>1</sub> mostró una disminución alta en comparación con la

población original, y en las progenies consecutivas ( $S_2$  y  $S_3$ ) se logró aumentar su peso de grano con el proceso de selección y mejoramiento, evitando probablemente mayores efectos de depresión endogámica. La población H-San Juan sólo en los dos primeros muestreos tuvo diferencias entre la población original y sus progenies, en los tres siguientes el comportamiento fue igual estadísticamente, observándose que los valores que tomaron las progenies fueron más altos que en las poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas.

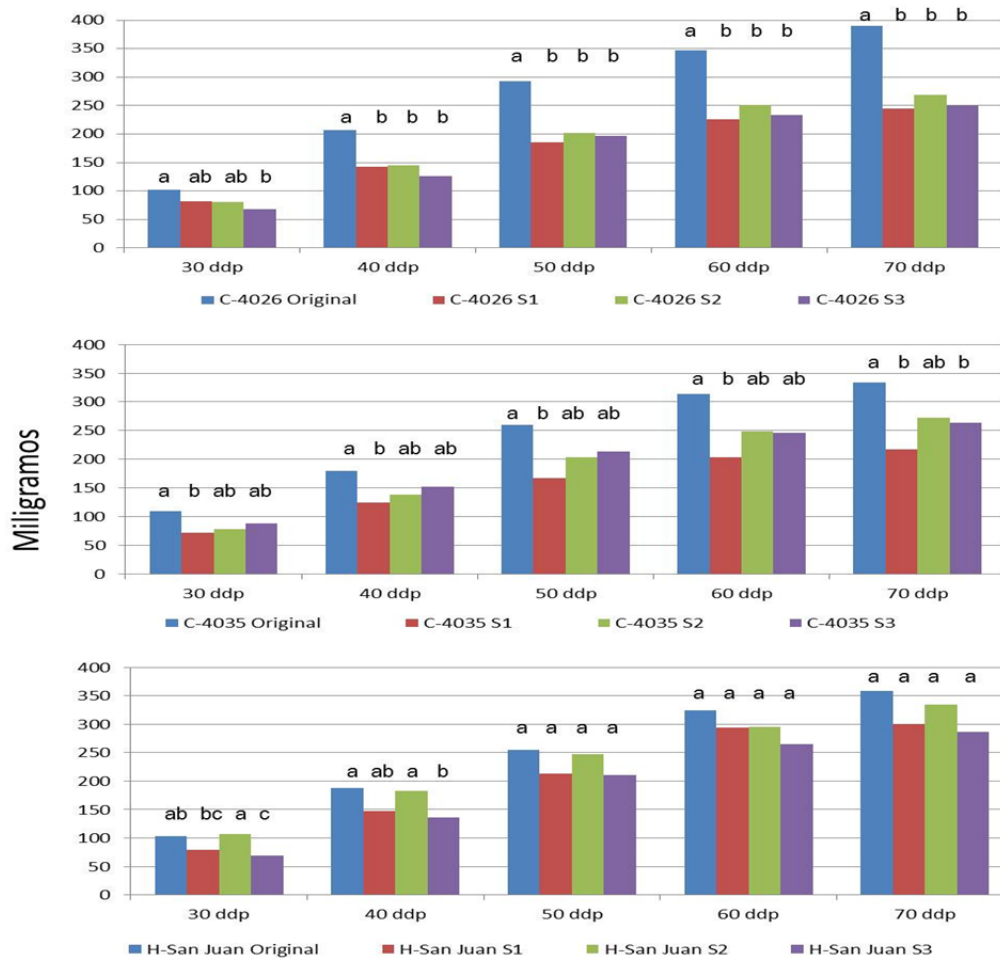


Figura 4. Acumulación de biomasa en grano de poblaciones originales y sus progenies, dos de la zona montañosa de Tamaulipas y una de Valles Altos, formadas, seleccionadas y evaluadas en los Valles Altos de México, Montecillo 2010. ddp = días después de la polinización. Las letras sobre cada muestreo indican diferencias entre la población original y sus correspondientes progenies ( $p \leq 0.05$ ).

En general, en las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012 se observó un incremento gradual en las progenies a medida que aumentó la endogamia, lo cual puede deberse a que las progenies tuvieron una mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos y a que con el proceso de selección y mejoramiento se tienen los mejores individuos de la población, y que en estas primeras generaciones no se manifiesta una depresión endogámica fuerte, caso contrario fue en las poblaciones de la montaña de Tamaulipas (C-4026 y C-4035) que éstas desde sus primeras evaluaciones en los Valles Altos Centrales de México no tuvieron problemas de adaptación con lo cual se observó una disminución en el peso de grano en la progenie  $S_1$ , y esa tendencia se mantuvo a través de los muestreos, lo que puede interpretarse que en estas poblaciones sí se comenzó con efectos de depresión endogámica desde la primera generación.

Entre los materiales tropicales, las progenies  $S_3$  de las poblaciones C-3001 y C-3012 presentaron los valores más altos de TLLG y esto se reflejó en un mayor peso individual de grano, ya que éstas tuvieron 31.8 y 39.7 % más peso que los granos de la población original (Cuadro 3). La población C-4026 original mostró una TLLG de 10.48  $\text{mg dia}^{-1}$  en la etapa de mayor acumulación, 30 a 40 días después de la polinización (ddp), en sus progenies las tasas fueron menores, en la  $S_1$  de 6.03, la  $S_2$  fue de 6.41 y la  $S_3$  mostró la menor TLLG (5.81  $\text{mg dia}^{-1}$ ) es decir, 50 % menos que la población original, pero esta progenie  $S_3$  que en el intervalo de 30 a 40 ddp presentó una TLLG baja, en el intervalo de 40 a 50 ddp aumentó a 7.1  $\text{mg dia}^{-1}$  y después disminuyó al igual que las demás materiales (Cuadro 3). En la población C-4035 su TLLG fue de 7.02  $\text{mg dia}^{-1}$ , la cual también disminuyó en la progenie  $S_1$  a 5.24  $\text{mg dia}^{-1}$  pero aumentó

a 6.39 mg día<sup>-1</sup> en la progenie S<sub>3</sub>. La población H-San Juan presentó una TLLG de 8.52 mg día<sup>-1</sup> en su versión original, disminuyó a 6.84 mg día<sup>-1</sup> en la progenie S<sub>1</sub>, y subió a 7.57 en la S<sub>2</sub> pero disminuyó a 6.73 mg día<sup>-1</sup> en la progenie S<sub>3</sub> (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tasas de llenado de grano, periodo de llenado de grano y peso individual de grano en poblaciones originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.

Progenie	Días después de la polinización				PLLG (días)	PIG (mg)
	30-40	40-50	50-60	60-70		
C-3001 Original	5.5	5.0	2.2	3.4	63.8 b	226 b
C-3001 S1	5.6	5.0	3.6	3.3	68.0 ab	247 ab
C-3001 S2	9.3	8.2	5.1	2.3	68.2 a	283 ab
C-3001 S3	7.6	7.9	5.1	3.6	67.4 ab	297 a
C-3012 Original	6.0	5.9	3.5	2.6	69.5 a	268 b
C-3012 S1	6.5	5.8	4.6	4.0	66.7 b	338 a
C-3012 S2	5.5	9.3	4.9	3.4	69.8 a	321 ab
C-3012 S3	8.1	7.7	4.8	3.8	70.2 a	374 a
C-3033 Original	6.5	6.1	6.3	3.5	70.0 a	312 a
C-3033 S1	8.5	6.2	6.7	2.4	66.3 b	326 a
C-3033 S2	7.1	5.4	2.6	1.2	60.7 c	220 b
C-3033 S3	7.2	5.1	4.6	1.3	65.6 b	231 b
C-4026 Original	10.5	8.5	5.4	4.3	69.2 a	343 a
C-4026 S1	6.0	4.3	4.0	1.9	68.8 a	226 b
C-4026 S2	6.4	5.7	5.0	1.8	69.0 a	298 ab
C-4026 S3	5.8	7.1	3.7	1.7	68.8 a	264 ab
C-4035 Original	7.0	8.0	5.4	2.0	68.7 a	313 a
C-4035 S1	5.2	4.3	3.6	1.4	68.2 a	234 c
C-4035 S2	6.0	6.5	4.6	2.4	67.0 a	290 ab
C-4035 S3	6.4	6.1	3.2	1.8	63.0 b	258 bc
H-San Juan Original	8.5	6.7	7.0	3.4	72.0 a	358 a
H-San Juan S1	6.8	6.5	8.1	0.7	71.0 ab	279 b
H-San Juan S2	7.6	6.4	4.9	3.9	69.7 ab	309 ab
H-San Juan S3	6.7	7.4	5.4	2.2	68.5 b	319 ab

TLLG = Tasa de llenado de grano (mg día<sup>-1</sup>); PLLG = periodo de llenado de grano; PIG = peso individual de grano. Comparaciones dentro de cada población con sus progenies (Tukey, 0.05).

Los valores de TLLG en las poblaciones originales y sus progenies son comparables con los obtenidos por López *et al.* (2000) ya que mencionan valores de 6.92 mg día<sup>-1</sup>

para líneas de grano grande y de  $5.52 \text{ mg día}^{-1}$  para líneas de grano pequeño. El nivel de mejoramiento genético aplicado a las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012 hizo que sus granos cambiaran de pequeños a granos grandes en sus progenies  $S_3$ , y en el caso de la población C-4026, de la zona montañosa de Tamaulipas, se modificó de grano grande a grano pequeño en sus progenies, en las demás poblaciones evaluadas los cambios fueron mínimos (Cuadro 3).

En general en todas las progenies se redujo el periodo de llenado de grano, con excepción de la población C-3001 que mostró un aumento en esta variable conforme se incrementó el nivel de endogamia de sus progenies y fue de aproximadamente 3.6 días más en la  $S_3$ . En las poblaciones C-3012 y C-4026 los cambios no fueron significativos; en la población C-3033 el PLLG de sus progenies disminuyó hasta 4.4 días y en la población C-4035 la progenie  $S_3$  presentó hasta 5.7 días menos. En el caso del H-San Juan, sólo disminuyó 3.5 días en la progenie  $S_3$  comparada con su original (Cuadro 3).

Se considera que valores altos de PLLG y TLLG dan como resultado un mayor peso individual de grano y por lo tanto, más rendimiento, la selección en estas poblaciones no fue basada en estos criterios, pero con los datos que se obtuvieron en esta evaluación es posible determinar que en el caso de la población tropical C-3001 en sus progenies derivadas aumentó la TLLG y el PLLG dando como resultado mayor peso individual de grano; en las progenies de la población C-3012 aumentó la TLLG sin modificar su PLLG y también mostró aumento en el peso individual de grano; en la población tropical C-3033 la TLLG no se aumentó significativamente en sus progenies, pero sí disminuyó su PLLG, y en consecuencia, tuvo menor peso individual de grano.

La población de la montaña de Tamaulipas, C-4026, mostró TLLG más alta en su población original y disminuyó a través de sus progenies, teniendo casi 50 % menos TLLG en la progenie S<sub>3</sub> y no modificó significativamente su PLLG, pero con la disminución de la TLLG en sus progenies trajo consigo un menor peso individual de grano (Cuadro 3). La población H-San Juan, de los Valles Altos, mostró el PLLG y el PIG más alto de todas las poblaciones originales, en sus progenies tuvo disminuciones en la TLLG y en el PLLG que dio como consecuencia un PIG menor en la progenie S<sub>3</sub>. Estos criterios que no fueron considerados al derivar y seleccionar las progenies, se considera que en la mayoría de los casos indirectamente se han mejorado, pero es conveniente que se tomen en cuenta en las futuras generaciones.

#### 2.4.4 Componentes del rendimiento de grano

De acuerdo al análisis de varianza, entre las progenies evaluadas se encontraron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0.01$ ) para todas las variables consideradas como componentes del rendimiento de grano (Cuadro 4). Lo cual señala que existe variabilidad entre las poblaciones evaluadas y sus progenies.

Cuadro 4. Cuadrados medios para los componentes del rendimiento de grano de poblaciones nativas de Tamaulipas y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.

FV	PG	LMz	DMz	DO	NHM	NGH	GP	NGM	IDg
Repeticiones	518 ns	1.98 ns	0.08 ns	0.071 ns	2.56 ns	8.26 ns	49 ns	2696 ns	8.03 ns
Progenies	8075 **	22.8 **	2.06 **	0.86 **	42.45 **	130.8 **	20383 **	38478 **	93.1 **
Error	458	2.15	0.075	0.045	2.95	14.03	2253	4504	9.7
CV (%)	18.9	10.3	6.2	8.6	12.7	12.6	8.1	16.8	3.7

FV = fuente de variación; CV = coeficiente de variación; PG = peso de grano; LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olote; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; GP = granos potenciales; NGM = número de granos por mazorca; IDg = índice de desgrane; PIG = peso individual de grano. \*\*, \* significativo con  $\alpha \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo

En el Cuadro 5 se muestran los valores medios para cada una de las poblaciones originales y sus progenies; en general, se observó una disminución en el peso de grano producido por mazorca de la población original hasta sus progenies más avanzadas. En las poblaciones C-3001 y C3012 se presentó un ligero, pero no significativo, incremento de peso de grano en las progenies, pudiera ser por una mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos donde se realizó su selección, en las poblaciones C-3033 y C-4035 el cambio fue considerable ya que desde la población original a la progenie  $S_3$  el peso de grano disminuyó hasta en 50 %, en la C-4026 y H-San Juan los cambios fueron de menor magnitud. Se observaron cambios en los componentes del rendimiento de grano dentro de cada grupo de poblaciones originales y sus progenies; algunos positivos, como en C-3001 que al pasar en nivel de endogamia hasta  $S_3$  aumentó su tamaño de mazorca, en las otras dos poblaciones tropicales (C-3012 y C-3033) no se presentaron cambios sustantivos de la original a la  $S_3$ , ya que sólo hubo cambios en longitud de mazorca en la  $S_1$  donde en ambas poblaciones aumentó, pero se disminuyó al pasar a las siguientes generaciones. C-4026 y C-4035 son poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas, en ambos casos se tuvo una disminución en la longitud de la mazorca desde la población original a la  $S_3$ . En el caso de la población de Valles altos (H-San Juan) no hubo cambios significativos en esta variable (Cuadro 5).

El diámetro de mazorca en todas las poblaciones y progenies en general se observó que se redujo significativamente en la progenie  $S_3$  comparada con la población original, con excepción de la población C-3012 que al pasar de la población original a sus progenies tuvo un incremento en el diámetro de mazorca, los cambios más fuertes se

observaron en las poblaciones C-3033 que de la original a la S<sub>3</sub> disminuyó 24 % de su diámetro y en la población C-4035 que en la S<sub>3</sub> presentó 16 % menos que la original. En el diámetro de olote los cambios significativos se observaron en la progenie S<sub>1</sub> donde en algunos casos aumentó y en otros disminuyó. En la S<sub>3</sub> se presentó un valor muy similar al de la población original en todas las poblaciones evaluadas, con excepción de la población C-3033 que en su progenie S<sub>3</sub> presentó olotes más delgados, con 19 % menos que la población original (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores medios para componentes de grano en poblaciones nativas originales y sus progenies, Montecillo, Estado de México 2010.

Progenie	PG	LMz	DMz	DO	NHM	NGH	GP	NGM	IDg	IC
C-3001 original	104 a	14.5 b	4.4 a	2.7 a	14.0 a	34.8 a	607 a	488 a	80.9 a	29.0 c
S <sub>1</sub>	98 a	15.6 b	4.0 b	2.4 b	12.2 b	33.1 a	524 a	403 a	83.9 a	39.5 ab
S <sub>2</sub>	101 a	15.9 ab	4.3 ab	2.6 a	12.4 ab	31.6 a	544 a	393 a	81.5 a	30.8 bc
S <sub>3</sub>	121 a	17.8 a	4.3 ab	2.6 ab	13.6 ab	31.1 a	576 a	421 a	83.3 a	41.5 a
DMS	29	2.0	0.3	0.3	1.8	6.0	115	96	5.9	10.5
C-3012 original	118 a	14.6 a	4.4 b	2.4 ab	12.4 a	35.8 a	542 a	443 a	86.3 a	39.9 a
S <sub>1</sub>	137 a	16.3 a	4.2 b	2.2 b	12.4 a	32.9 ab	524 a	410 a	88.2 a	38.2 a
S <sub>2</sub>	146 a	14.5 a	4.8 a	2.6 a	14.2 a	32.0 ab	596 a	454 a	87.1 a	40.8 a
S <sub>3</sub>	129 a	14.5 a	4.5 ab	2.4 ab	13.1 a	30.0 b	609 a	393 a	85.5 a	40.3 a
DMS	35	2.3	0.4	0.3	2.8	5.5	114	110	2.9	9.9
C-3033 original	110 a	14.0 b	4.2 a	2.1 a	11.0 a	32.5 a	597 a	356 a	87.9 a	32.1 b
S <sub>1</sub>	116 a	15.9 a	4.2 a	2.3 a	11.4 a	32.2 a	528 ab	367 a	84.8 a	43.1 a
S <sub>2</sub>	74 b	14.2 b	3.5 b	1.7 b	10.8 a	32.1 a	520 ab	348 a	88.1 a	35.0 b
S <sub>3</sub>	57 b	14.1 b	3.2 b	1.7 b	10.2 a	27.0 b	449 b	277 b	85.1 a	34.8 b
DMS	21	1.6	0.3	0.2	1.4	3.8	128	61	3.2	5.5
C-4026 original	131 a	14.5 a	4.9 a	2.6 ab	13.8 b	30.4 a	618 b	420 a	85.6 a	50.5 a
S <sub>1</sub>	90 b	11.2 b	4.4 b	2.3 b	15.6 ab	27.2 ab	636 b	425 a	87.7 a	46.2 a
S <sub>2</sub>	112 ab	12.6 ab	5.0 a	2.7 a	18.6 a	23.3 b	732 a	429 a	85.1 a	38.9 a
S <sub>3</sub>	97 ab	13.7 a	4.7 ab	2.7 a	16.7 ab	24.3 b	771 a	407 a	84.1 a	40.0 a
DMS	36	2.3	0.4	0.3	3.2	4.1	76	109	3.7	12.9
C-4035 original	154 a	15.5 a	5.0 a	2.7 a	14.6 a	33.7 a	607 a	491 a	87.7 a	49.4 a
S <sub>1</sub>	81 bc	12.3 bc	4.3 b	2.6 a	12.6 ab	26.7 b	550 ab	335 b	78.8 b	34.5 b
S <sub>2</sub>	92 b	12.8 b	4.3 b	2.6 a	11.6 b	26.2 b	504 b	301 bc	80.4 b	38.2 b
S <sub>3</sub>	67 c	11.0 c	4.2 b	2.7 a	12.2 b	20.8 c	412 c	255 c	78.0 b	37.6 b
DMS	21	1.7	0.3	0.3	2.1	4.6	69	75	3.5	8.6
H-San Juan orig	173 a	13.8 a	5.3 a	2.8 a	17.0 a	28.4 a	643 a	483 a	87.9 a	48.6 a
S <sub>1</sub>	111 b	13.9 a	4.6 b	2.8 a	14.0 b	27.4 a	699 a	384 b	81.4 b	43.6 a
S <sub>2</sub>	144 a	13.6 a	4.8 b	2.7 a	15.2 ab	29.6 a	762 a	449 ab	87.8 a	45.3 a
S <sub>3</sub>	145 a	13.6 a	4.8 b	2.7 a	15.8 ab	29.1 a	701 a	447 ab	86.9 a	46.0 a
DMS	32	2.0	0.4	0.3	2.1	5.3	138	71	3.4	8.0

PMz = peso de mazorca (g)-, 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; GP= granos potenciales; NGM = número de granos por mazorca; IDg = índice de desgrane (%); PIG = peso individual de grano (mg); IC = índice de cosecha (%). Comparaciones dentro de cada población con sus progenies (Tukey, 0.05).



El número de hileras por mazorca se considera que es una característica consistente con pocos cambios, en este trabajo se observó que hubo reducción en esta variable en las líneas  $S_3$  con respecto a su correspondiente población original, con excepción de la población C-4026 que mostró un incremento en el número de hileras en sus progenies. Los granos por hilera fueron mayores en las poblaciones tropicales pero en todos los casos disminuyeron con el aumento de la endogamia, en la población C-4035 se abatió más ya que la progenie  $S_3$  presentó hasta 30 % menos, sólo la población H-San Juan, de Valles Altos, no tuvo cambios.

Entre las poblaciones C-3001, C.3012 y H-San Juan, originales y sus progenies, no hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los granos potenciales por mazorca, en las poblaciones C-3033 y C-4035 hubo una disminución de la población original a su progenie  $S_3$ ; sólo la población C-4026 mostró incrementos de 25 % en los granos potenciales de la población original a la progenie  $S_3$ ; el potencial mostrado por las poblaciones originales coincide con los resultados de Pecina *et al.* (2009). Se observó una disminución de granos por mazorca con respecto al total de granos potenciales en la población original y las progenies, sólo la población C-3033 mostró un incremento en su eficiencia para formar granos ya que en su población original solo 59.6 % de los granos potenciales llegaron a formarse en la mazorca, aumentó en la  $S_1$  y  $S_2$  a 69.5 % y 66.8 %, respectivamente, y disminuyó otra vez en la  $S_3$  al sólo formar 61.6 % de los granos potenciales; en las demás poblaciones la disminución de la población original a la progenie  $S_3$  varió entre 10 a 20 % menos de granos formados por mazorca. La población C-4026 mostró un incremento en los granos potenciales en su progenie  $S_3$ , aunque solo logró formar 52.8 % de esos granos, por lo cual en el

proceso de mejoramiento habría que buscar aumentar ese porcentaje para hacer más eficiente la planta (Cuadro 5).

El que los cambios en estos componentes del rendimiento en las progenies no fueron en general de gran impacto y en algunos casos hasta positivos, pudiera deberse a que los criterios de selección considerados han sido para tener plantas sanas, con buen vigor y con buen rendimiento *per se*. Un ejemplo de lo anterior es el cambio observado en la proporción de biomasa/grano, mejor conocido como índice de cosecha donde lo ideal es tener valores cercanos o superiores a 50 %, se observó que en la población C-3001 de tener un índice de cosecha de 29 % en la población original, aumentó hasta 41.5 % en la progenie  $S_3$ ; este incremento está asociado a una disminución de hojas en la planta y a un aumento en la producción de grano ya que presentó mazorcas más grandes con un mayor peso individual de grano; en las poblaciones C-3012, C-4026 y H-San Juan los cambios en el índice de cosecha no fueron significativos; en la población C-4035 se observó una disminución en el índice de cosecha ya que la población original presentó 49.4 % y la progenie  $S_3$  sólo alcanzó un valor de 37.6 % (Cuadro 5).

Hubo respuestas positivas en la selección de las progenies en cada una de las poblaciones estudiadas; el utilizar la autofecundación para la derivación de progenies y la selección en cada generación de endogamia bajo criterios de vigor, sanidad y rendimiento ha sido un método rápido y eficiente para fijar los caracteres de interés, ya que con otros métodos los avances son más lentos, por ejemplo en trabajos de Pérez-Colmenares *et al.* (2000) con Selección Masal Visual Estratificada señalan que se requieren doce ciclos de selección para obtener cambios significativos cuando

introdujeron una variedad tropical a los Valles Altos Centrales de México, por lo tanto, es prudente seguir utilizando la autofecundación y selección en la purificación de las líneas, cuidando mantener sanidad, vigor y buen rendimiento *per se*.

### **3.5 Conclusiones**

En las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012 los cambios mostrados fueron más altos que en las otras poblaciones estudiadas, infiriéndose que en ellas se tuvo mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos. Estas poblaciones en sus progenies tuvieron plantas vigorosas, precoces, tasas de llenado de grano mas altas, mayor producción de grano.

En las poblaciones de la montaña de Tamaulipas C-4026 y C-4035 se observó una disminución en el comportamiento de sus progenies atribuible al proceso de endogamia a que se han sometido en el proceso de mejoramiento.

Algunos índices fisiotécnicos como: índice de cosecha, el periodo de llenado de grano, las tasas de acumulación de biomasa, la posición de la mazorca en la planta, se modificaron de las poblaciones originales a sus progenies, haciendo a éstas más eficientes, además, qué no se han considerado directamente en el proceso de mejoramiento de las poblaciones, por lo cual se recomienda integrarlos dentro de los criterios de selección.

### **3.6. Bibliografía**

- Aragón C., F., F. Márquez S., J. Ortiz C., V. A. González H. 1991. Heredabilidad de la asincronía en floración y su relación con el rendimiento en líneas S<sub>1</sub> de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 2: 81-95.
- Bertin, R. I., C. R. Newman. 1993. Dichogamy in Angiosperms. *Bot. Rev.* 59: 112-120.
- Bolaños, J., G. O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Res.* 31: 253-272
- Dudley, J. W., R. H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Sci.* 9: 257-262.

- 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., W. L. Brown. 1988. Races of corn. In: Sprague G.F., J. W. Dudley (eds). Corn and Corn Improvement. 3rd ed. American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA. pp 22-80.
- Gouesnard, B., J. Sanou, A. Panouille, V. Bourion, A. Boyat. 1996. Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted exotic maize crosses. *Theor. Appl. Genet.* 92: 368-374.
- Hallauer, A. R. 1978. Potential of exotic germplasm for maize improvement. In: Walden D. B. (ed). *Maize Breeding and Genetics*. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA. pp 229-248.
- Holland, J. B., M. M. Goodman. 1995. Combining ability of tropical maize accessions with U.S. germplasm. *Crop Sci.* 35: 767-773.
- López S., J. A., J. Ortiz C., M. C. Mendoza C. 2000. Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 141-152.
- Oyervides G., M., A. R. Hallauer, H. Cortez M. 1985. Evaluation of improved maize populations in Mexico and the U.S. corn belt. *Crop Sci.* 25: 115-120.
- Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43: 681-694.
- Pecina M., J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R., J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 85-92.
- Pérez C., A., J. D. Molina G., 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 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.
- Ragot, M., P. H. Sisco, D. A. Hoisington, C. W. Stuber. 1995. Molecular-marker mediated characterization of favorable exotic alleles at quantitative trait loci in maize. *Crop Sci.* 35: 1306-1315.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS User's Guide. Statistics. Release 6.12 ed.* Cary, NC, USA. 1028 p.
- Thompson, D. L. 1968. Silage yield of exotic corn. *Agronomy Journal* 60: 579-581.
- Wellhausen, E. J. 1956. Improving American corn with exotic germplasm. *Annu. Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Proc.* 11: 85-86.

## CAPITULO III. POTENCIAL GENÉTICO DE LINEAS S<sub>1</sub> DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS, MÉXICO

### 3.1 Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar y seleccionar a través de mestizos las mejores líneas S<sub>1</sub> de maíz para continuar con su proceso de endogamia. En 2008, en tres ambientes contrastantes (dos en Tamaulipas y en los Valles Altos Centrales de México) se evaluaron 18 mestizos formados con líneas S<sub>1</sub> derivadas de poblaciones nativas de cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas y un probador de Valles Altos. Hubo mestizos que presentaron rendimiento y componentes del rendimiento altos y características agronómicas favorables, aunque cambiantes entre ambientes, algunos con mejor comportamiento en el Norte de Tamaulipas, principalmente los tropicales de los grupos 1 y 2 que provienen de climas cálidos y secos; en Valles Altos éstos presentaron menor respuesta, comparados con los mestizos de los grupos 3 y 4. Del grupo 1 destacó el mestizo de la línea I-C3001-2915-2 con rendimiento alto en los ambientes Centro y Norte de Tamaulipas (2.4 y 5.8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). En Valles Altos sobresalieron mestizos del grupo 3 (provenientes de poblaciones de la Huasteca Tamaulipeca, zona con clima cálido húmedo) que presentaron rendimientos de 7.4 a 8.5 t ha<sup>-1</sup>; y del grupo 4, el mestizo de la línea IV-C4031-2939-5(C) rindió 8.8 t ha<sup>-1</sup>. Existe potencial en las líneas evaluadas, ya que hubo mestizos con rendimiento alto y precocidad, indicando buena aptitud combinatoria de las líneas. Se propone seguir autofecundando las líneas sobresalientes y probarlas en los ambientes donde tuvieron su mejor comportamiento, ya que algunas mostraron especificidad para alguno de los ambientes de evaluación.

**Palabras clave:** Maíz nativo, mestizos, fitomejoramiento, aptitud combinatoria.

### 3.2 Introducción

El aspecto práctico del mejoramiento genético por hibridación del maíz (*Zea mays* L.) está basado en el desarrollo y selección de líneas endogámicas que presenten la mayor aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para formar híbridos de alto rendimiento para grano y forraje, además de otros atributos agronómicos.

Inicialmente los mejoradores de maíz autofecundaban plantas de una variedad de polinización libre y hacían selección visual de líneas por tipo de planta, resistencia a plagas y enfermedades, peso de mazorca, resistencia a acame y precocidad. Sin embargo, dado que el comportamiento *per se* de estas líneas no provee una buena medida de su valor en combinaciones híbridas (Hallauer, 1990) es conveniente aplicar otras metodologías simples y rápidas para evaluar líneas que permitan garantizar la generación de híbridos con alto potencial productivo (Bernardo, 2001).

Después de formar líneas con alto nivel de homocigosis se producían y probaban cruza simples, para evaluar la AC de dichas líneas con base en su rendimiento. Este proceso se puede aplicar con pocas líneas (10 a 15) pero si el número es mayor, resulta difícil contar con una prueba adecuada de evaluación. De 1920 a 1930, el procedimiento clásico para evaluar la ACG de líneas autofecundadas de maíz incluía la prueba de  $n(n-1)/2$  cruza posibles de un grupo de  $n$  líneas, procedimiento impráctico cuando  $n$  es grande. Esto condujo a la introducción y adopción generalizada de la prueba de mestizos, propuesta por Davis (1927) quien señala que la capacidad de combinación de las líneas autofecundadas de maíz podría estimarse mediante el comportamiento de sus cruza, realizadas con un probador común. A pesar de ello, la evaluación de mestizos generalmente se hacía utilizando líneas de alto nivel de homocigosis. Tomando en cuenta esto, Jenkins (1935) propuso la prueba temprana de líneas, sosteniendo que las líneas endogámicas adquieren su individualidad desde las primeras generaciones de endogamia y permanecen relativamente estables después de sucesivas autofecundaciones. Considerando lo anterior, es conveniente evaluar el comportamiento de las cruza de prueba lo más temprano posible ( $S_2$  o  $S_3$ ) para

descartar un gran número de líneas que probablemente no tendrán atributos importantes para ser usadas en la formación de híbridos comerciales (Hallauer, 1990).

El aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en el mejoramiento genético en México ha sido restringido a pocas variantes raciales y poblacionales (Carrera y Cervantes, 2006). Del estado de Tamaulipas, diversas poblaciones se han usado en los programas de mejoramiento de Tamaulipas y de otras regiones del norte del país; sin embargo, el origen de esa base genética se restringe a la encontrada en el centro del Estado. En años recientes se han colectado poblaciones nativas de maíz en varias regiones del centro y del sur de Tamaulipas para valorar su potencial (Pecina *et al.*, 2011) y con ello, analizar la posibilidad de aprovechar mejor la diversidad del maíz. De poblaciones sobresalientes se han derivado líneas endogámicas para dar continuidad a su valoración.

Los objetivos de este trabajo fueron identificar líneas  $S_1$  de maíz de alto potencial genético a través de mestizos y determinar el efecto del origen geográfico de las líneas endogámicas sobre el comportamiento de los mestizos, en diferentes ambientes de altitud y temperatura contrastante, con el propósito de dirigir convenientemente la formación de híbridos o variedades sintéticas.

### **3.3 Materiales y Métodos**

En 2006, en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, del Colegio de Postgraduados en Texcoco, México, de un grupo de aproximadamente 200 líneas  $S_1$  derivadas de poblaciones nativas de Tamaulipas, se seleccionaron 35, por su rendimiento de grano *per se* ( $\geq$  a 150 g planta<sup>-1</sup>) y otras características agronómicas. Con estas líneas, en 2007 se formaron mestizos al cruzarlas, a través del

desespigamiento de las líneas (Cuadro 6), con el probador VS-16 (material mejorado de Valles Altos, de amplia base genética, con alto potencial de rendimiento y no emparentado con las líneas). En 2008, en los ciclos agrícolas otoño-invierno (en Tamaulipas) y primavera-verano (en Valles Altos), con base en la cantidad y calidad física de la semilla obtenida, se seleccionaron 19 de los mestizos para ser evaluados en tres ambientes; estos mestizos representaron a las cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas señaladas por Pecina *et al.* (2009) que es de donde provienen las poblaciones parentales de las líneas. Se incluyeron dos híbridos comerciales, como testigos representativos de cada ambiente de evaluación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Mestizos de líneas  $S_1$  de poblaciones de maíz nativas de Tamaulipas, evaluados en tres ambientes contrastantes en altitud y temperatura, 2008.

Grupo	Mestizo	Colecta	Municipio de origen
1: Centro	I-C3001-2915-2 x VS-16	C-3001	Padilla
	I-C3024-1213-2 x VS-16	C-3024	Hidalgo
	I-UAT Comp II-1239-1 x VS-16	UAT-Comp II	Güemez
2: Ex IV Distrito	II-C3006-1214-3 x VS-16	C-3006	Tula
	II-C3006-1214-2 x VS-16	"	"
	II-C3006-2919-4 x VS-16	"	"
	II-C3006-2919-1 x VS-16	"	"
	II-C3007-1215-1 x VS-16	C-3007	"
	II-C3023-1220-3 x VS-16	C-3023	"
	II-C3023-1220-2 x VS-16	"	"
3: Huasteca	III-C3038-1222-1 x VS-16	C-3038	Llera
	III-C3038-2927-1 x VS-16	"	"
	III-C3039-1223-1 x VS-16	C-3039	"
	III-C3039-1223-4 x VS-16	"	"
	III-C3039-1223-3 x VS-16	"	"
4: Montaña	IV-C4028-2937-1 x VS-16	C-4028	Miquihuana
	IV-C4031-2939-5 (A) x VS-16	C-4031	"
	IV-C4031-2939-5 (B) x VS-16	"	"
	IV-C4031-2939-5 (C) x VS-16	"	"
5: Testigos	CT y NT: H-437 y H-Santa Bárbara VA: H-San José y Asgrow		

Grupo 1 = zona centro, clima cálido subhúmedo; grupo 2 = zona del ex IV Distrito, clima semicálido seco; grupo 3 = zona de la Huasteca Tamaulipeca, clima cálido húmedo; grupo 4 = zona de la montaña del suroeste tamaulipeco, clima templado seco. Grupo 5= testigos específicos para cada ambiente. En el grupo 4, las letras entre parentesis corresponden a los colores de grano blanco, rosa y anaranjado, respectivamente.



Se establecieron tres ensayos de evaluación bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m de anchura. Durante 2008 se estableció, bajo condiciones de riego, un ensayo uniforme en cada uno de los tres ambientes contrastantes en ubicación altitudinal y clima: I) Centro de Tamaulipas (CT): se sembró el 25 de febrero en el municipio de Güémez, Tamaulipas, ubicado a 23° 56' LN y 99° 06' LO, con altitud de 200 msnm, temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación media anual de 800 mm; II) Norte de Tamaulipas (NT): se sembró el 14 de febrero en instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el Campo Experimental Río Bravo, en el municipio de Río Bravo, localizado a 25° 59' LN y 98° 06' LO, a una altitud de 30 msnm, con temperatura media anual de 22 °C; y III) Valles Altos (VA): sembrado el 10 de mayo en el municipio de Texcoco, Estado de México, ubicado a 19° 29' LN y 98° 53' LO, con una altitud de 2250 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 15 °C y 645 mm, respectivamente (García, 1987).

La siembra se hizo de manera manual en las tres localidades, a una densidad de 100 000 semillas ha<sup>-1</sup>; posteriormente se aclaró a una densidad de población de 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. En los ambientes CT y NT se sembró en húmedo, con riego de presiembra; en VA, en suelo seco y se regó inmediatamente después de sembrar. Se aplicó la dosis de fertilización 120N-60P-00K, con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la otra mitad de N al realizar la segunda escarda; el control de maleza e insectos se hizo de acuerdo con las recomendaciones para maíz en cada ambiente (Reyes *et al.*, 1990). Las variables medidas fueron: días a floración

masculina (DFM) y femenina (DFF), contados desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de cada parcela iniciaron la liberación de polen y la exposición de estigmas, respectivamente; asincronía floral (AF) como la diferencia entre DFM y DFF; y la altura de planta (AP), en cm, en cinco plantas por repetición, tomada desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera.

En una muestra de cinco mazorcas por unidad experimental y en cada ambiente se registraron las siguientes variables: longitud de mazorca (LMz) en cm; diámetro de mazorca (DMz) y diámetro de olote (DO) en cm, ambos tomados en la parte media de la mazorca; número de hileras por mazorca (NHM); número de granos por hilera (NGH), como el promedio de granos contados en una hilera de cada una de las cinco mazorcas; número de granos por mazorca (NGM), al producto de NHM x NGH; peso individual de grano (PIG), como el promedio del peso de 100 granos tomados al azar. El rendimiento de grano por hectárea (RG) se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental multiplicado por el índice de desgrane y transformado a rendimiento de grano por hectárea, ajustado a 12 % de humedad.

El análisis estadístico se efectuó con SAS (1996) mediante un análisis de varianza por ambiente y otro combinado a través de ambientes. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_k + R_{l(k)} + G_i + M_{j(i)} + AG_{ik} + AM_{kj(i)} + \epsilon_{ijkl}$$

donde,  $Y_{ijkl}$  = respuesta del  $i$ -ésimo grupo de mestizos, que anida al  $j$ -ésimo mestizo de maíz, al ser evaluado en el  $k$ -ésimo ambiente en la  $l$ -ésima repetición;  $\mu$  = media general;  $A_k$  = efecto atribuido al  $k$ -ésimo ambiente;  $R_{l(k)}$  = efecto de repetición anidada en el  $k$ -ésimo ambiente;  $G_i$  = efecto del grupo de mestizos de maíz por su origen ecológico;  $M_{j(i)}$  = efecto del mestizo anidado en el grupo;  $AG_{ik}$  = efecto de interacción del

grupo de mestizos x ambientes;  $AM_{kj(i)}$  = efecto del ambiente por mestizo anidado en el grupo;  $\varepsilon_{ijkl}$  = efecto aleatorio atribuido al error experimental.

Para estimar la significancia entre ambientes se consideró como término de error a las repeticiones anidadas en los ambientes; las otras fuentes de variación se probaron contra el error experimental. Se aplicó la comparación de medias entre ambientes, entre grupos y entre mestizos dentro de grupos. Para la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre grupos se calculó la media armónica del número de observaciones a través de grupos.

## **2.4 Resultados y Discusión**

### **2.4.1 Fenología y morfología**

Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes y entre grupos de mestizos para días a floración masculina y femenina y altura de planta; la asincronía floral entre ambientes sólo mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ). La interacción ambientes x grupos de mestizos expresó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables, y la interacción de ambientes por mestizos anidados en grupos fue significativa sólo para asicronía floral (Cuadro 7). La interacción ambientes x grupos de mestizos mostró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables (Cuadro 7), por lo cual las comparaciones entre mestizos se realizaron dentro de cada ambiente.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y significancia estadística para variables morfológicas y fenológicas de grupos de mestizos de maíz evaluados durante 2008.

FV	GI	DFM	DFM	DFM	DFM	DFM	DFM
FV	GI	DFM	DFM	DFM	DFM	DFM	DFM
Amb	2	7611.6 **	8055.7 **	7.9 *	13012.5 **		
Rep(Amb)	4	1.9	1.9	1.0	501.2		
Gpos	4	305.6 **	419.8 **	27.0 **	982.8 **		
Mest(Gpos)	17	219.1 **	236.4 **	6.8 **	1056.2 **		
Amb x Gpos	8	41.9 **	54.2 **	4.8 **	722.5 **		
Amb x mest (Gpos)	31	0.0 ns	5.4 ns	4.6 **	158.5 ns		
Error	79	3.7	4.3	1.4	120.3		
CV (%)		2.3	2.4	-33.2	5.2		

\*\*  $p \leq 0.01$ ; \*  $p \leq 0.05$ ; ns = no significativo. Amb = ambientes de prueba; Rep(Amb) = repeticiones dentro de ambientes; Gpos = grupos de mestizos por región de origen de las poblaciones parentales; Mest(Gpos) = mestizos anidados en grupos; Amb x Gpos = interacción ambientes por grupos; Amb x mest (Gpos) = interacción ambientes por mestizos anidados en grupos; CV = coeficiente de variación. FV = fuente de variación; GI = grados de libertad; DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AsF = asincronía floral; AltPta = altura de planta.

Hubo efectos ambientales en los grupos de mestizos para floración masculina y femenina, ya que al cambiar de menor a mayor altitud y de mayor a menor temperatura (CT y NT a VA), la floración fue más tardía; en las dos localidades de Tamaulipas todos los grupos presentaron un comportamiento similar y el cambio drástico lo sufrieron en el ambiente de VA. La interacción grupos x ambientes se debió a que los grupos de origen tropical fueron en promedio 22 días más tardíos en sus floraciones al cambiar de los ambientes de Tamaulipas al de Valles Altos (Cuadro 8). Aun cuando las líneas fueron formadas y seleccionadas en los Valles Altos y que éste es un ambiente que contrasta con el del origen ecológico de las poblaciones tropicales de la parte baja, zona centro y Huasteca de Tamaulipas, los mestizos resultantes siguieron comportándose como los más tardíos, esto indica que habría que seguir seleccionando líneas con mejor adaptación y más precoces. En cambio, los mestizos del grupo de la zona montañosa de Tamaulipas (grupo 4) fueron los más precoces en VA, y sólo fueron 18 días más tardíos con respecto a su comportamiento en CT y NT; muy similar

al que presentaron las poblaciones originales de esos materiales en evaluación previa (Pecina *et al.*, 2009).

Cuadro 8. Valores medios para grupos de mestizos en cada ambiente de prueba en variables morfológicas y fenológicas, 2008.

Ambiente	Grupo	DFM	DFF	AsF	AltPta
Centro de Tamaulipas	1	73.0 b	76.5 b	-3.5 b	188.6 b
	2	76.6 a	81.4 a	-4.8 b	206.6 a
	3	73.7 b	77.5 b	-3.8 b	191.8 b
	4	69.8 c	71.6 c	-1.9 a	188.9 b
	5	75.8 a	76.8 b	-1.0 a	178.7 c
	<b>DMS</b>	<b>1.1</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>6.2</b>
	<b>Media</b>	<b>74.0 B</b>	<b>77.5 B</b>	<b>-3.5 AB</b>	<b>194.5 B</b>
Norte de Tamaulipas	1	73.8 bc	77.8 a	-4.0 b	210.3 ab
	2	77.6 a	80.8 a	-3.2 b	223.0 a
	3	74.7 ab	77.9 a	-3.2 b	198.0 bc
	4	70.6 c	74.1 b	-3.5 b	199.8 bc
	5	72.8 bc	72.8 b	0.0 a	191.3 c
	<b>DMS</b>	<b>3.4</b>	<b>3.3</b>	<b>2.7</b>	<b>16.4</b>
	<b>Media</b>	<b>74.6 B</b>	<b>77.6 B</b>	<b>-3.1 B</b>	<b>207.8 B</b>
Valles Altos	1	93.6 b	97.2 b	-3.7 bc	222.8 a
	2	99.7 a	104.3 a	-4.6 c	225.6 a
	3	94.8 b	99.1 b	-4.2 bc	225.1 a
	4	87.9 c	91.1 c	-3.2 ab	229.4 a
	5	96.2 b	98.5 b	-2.3 a	228.0 a
	<b>DMS</b>	<b>2.7</b>	<b>3.04</b>	<b>1.2</b>	<b>16.7</b>
	<b>Media</b>	<b>94.9 A</b>	<b>98.7 A</b>	<b>-3.9 A</b>	<b>226.0 A</b>

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; grupo 4 = zona montañosa del suroeste tamaulipeco, clima templado seco. Grupo 5 = testigos específicos para cada ambiente. En una columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas, diferencias entre grupos dentro del ambiente ( $p \leq 0.05$ ). DFM = Días a floración masculina, DFF = Días a floración femenina, AsF = Asincronía floral, AltPta = Altura de planta (cm).

La altura de planta promedio en VA fue mayor ( $p \leq 0.05$ ) a la de los ambientes de Tamaulipas. Al considerar el promedio de grupos dentro de cada ambiente, el grupo 2 fue estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) dentro de los ambientes CT y NT, y el grupo de los testigos fue el de menor altura; mientras que en VA todos los grupos fueron estadísticamente iguales (Cuadro 8). La altura de planta mostrada por los mestizos en

VA fue agronómicamente aceptable y sus valores fueron similares a los encontrados por Pecina *et al.* (2009).

Se menciona que al introducir material tropical a ambientes de mayor altitud y menor temperatura, como es el caso del presente estudio, ya sea *per se* o en cruza con materiales locales, éste tiende a presentar mayor altura de planta y de mazorca (Carrera y Cervantes, 2002; Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000) lo cual no es deseable, debido a que existe alta correlación entre esta variable y el acame de las plantas (Antonio *et al.*, 2004), problema que es generalizado en las poblaciones nativas. En los mestizos evaluados no se presentó acame en ningún ambiente de evaluación (datos no presentados). Tomando en cuenta que en los programas de mejoramiento genético de maíz de México se tiene como prioridad mejorar la resistencia al acame y el rendimiento de grano, estas características se consideran deseables, inclusive en el probador, ya que de acuerdo con Hallauer y Miranda (1981) el mejor probador es aquél que tiene frecuencias alélicas bajas para el carácter de interés.

#### **3.4.2 Rendimiento de grano y sus componentes**

Hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, entre grupos de mestizos, y entre mestizos dentro del grupo para rendimiento de grano y las variables relacionadas con componentes del rendimiento, con excepción de LMz entre mestizos dentro de grupos, NGM entre grupos de mestizos, en donde la significancia fue de 0.05. La interacción ambientes por grupos de mestizos fue significativa ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables, con excepción de DO. La interacción de ambientes por mestizos dentro del grupo fue significativa con  $p \leq 0.01$  para RG, LMz, DMz, NHM y PIG, y con  $p \leq 0.05$  para

DO, NGH y NGM, lo cual sugiere que existe variabilidad y especificidad del comportamiento de los mestizos en los ambientes de prueba (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de grano y sus componentes en la evaluación de mestizos de maíz en tres ambientes, 2008.

FV	GI	RG	LMz	DMz	DO	NHM	NGH	NGM	PIG
Amb	2	278278992 **	20.1 **	14.0 **	2.8 **	23.2 **	411.4 **	173375 **	174119 **
Rep(Amb)	4	1080516	1.2	0.17	0.03	0.69	7.5	1107	1502
Gpos	4	10881160 **	9.8 **	0.36 **	0.22 **	3.3 **	40.7 **	10305 *	3992 **
Mest(gpos)	17	6320564 **	2.4 *	0.14 **	0.08 **	7.0 **	25.5 **	9490 **	3650 **
Ambxgpos	8	5000135 **	5.8 **	0.19 **	0.05 ns	3.2 **	36.6 **	14449 **	3416 **
Ambxmest(gpos)	31	5194576 **	2.8 **	0.20 **	0.06 *	1.9 **	21.4 *	7302 *	3412 **
Error	79	1358450	1.3	0.06	0.03	0.96	10.9	3369	1053
CV (%)		28.1	7.1	5.5	6.5	7.0	11.3	14.2	11.9

\*\* y \* = significativo con  $p \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente, ns = no significativo; FV = fuente de variación; GI = grados de libertad; Amb = ambientes; Rep(Amb) = repeticiones dentro de ambientes; Gpos = grupos; Mest(gpos) = mestizos anidados en grupos; Ambxgpos = interacción ambientes por grupos; Ambxmest(gpos) = interacción ambientes por mestizos anidados en grupos; CV = coeficiente de variación; RG = rendimiento de grano; LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; DO = diámetro de olote; NHM = número de hileras por mazorca; NGH = número de granos por hilera; NGM = número de granos por mazorca; PIG = peso individual de grano.

El rendimiento de grano y varios de sus componentes mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ), con excepción de DO para la interacción ambientes x grupos de mestizos (Cuadro 9); por esta razón, en el Cuadro 10 se presentan las medias de mestizos dentro de cada ambiente.

En este estudio, al igual que los publicados por Pecina *et al.* (2009) y Pecina *et al.* (2011) sobre el comportamiento de las poblaciones parentales de estas líneas S<sub>1</sub>, en el ambiente del centro del estado de Tamaulipas (CT) se presentaron los valores más bajos de rendimiento y sus componentes, comparados con los de los otros dos ambientes de evaluación (Cuadro 10). Esta localidad se caracteriza porque en la última década se ha presentado un aumento considerable de la temperatura en los periodos de floración y llenado de grano, lo que ocasiona pérdidas considerables en rendimiento y menor expresión de sus componentes (Castro-Nava *et al.*, 2011).

Es así que en el Noreste de México se tienen dos problemas generalizados para la producción de maíz, la escasa humedad y las altas temperaturas, lo que hace que a través de los años, los rendimientos de grano de maíz sean muy variables, ya que van desde la pérdida total del cultivo hasta la producción de más de  $7.0 \text{ t ha}^{-1}$  (Reyes y Cantú, 2005).

El rendimiento de grano fue mayor en VA ( $p \leq 0.05$ ) respecto a NT, y éste sobre CT. Los componentes del rendimiento fueron estadísticamente diferentes entre ambientes, sólo el número de hileras fue igual en CT y NT; para PIG, CT presentó los valores más bajos (Cuadro 10). En los tres ambientes hubo una separación de los grupos de mestizos de acuerdo con el origen de las poblaciones parentales de las líneas participantes; el grupo 5, integrado por los testigos comerciales de cada ambiente, en promedio tuvo el de rendimiento de grano más alto que los mestizos; en los ambientes CT y NT fueron seguidos por el grupo 1 (germoplasma del centro de Tamaulipas) y el grupo 2 (del Ex IV Distrito); mientras que en VA a los testigos le siguieron los mestizos del grupo 4, de la zona montañosa de Tamaulipas (Cuadro 10).

En los ambientes CT y NT, los grupos de mestizos presentaron diferencias estadísticas en longitud, diámetro de mazorca y diámetro de olote, en VA no hubo diferencias entre grupos para longitud de mazorca y diámetro de olote, sólo para diámetro de mazorca; el grupo de testigos fue el superior, seguido por los grupos 1, 2 y 3 que son grupos de mestizos de origen tropical (Cuadro 10).

Los valores para longitud y diámetro de mazorca de los grupos de mestizos en VA se pueden considerar aceptables, ya que son mayores a los reportados por Carrera y Cervantes (2006) en cruces de materiales tropicales y subtropicales cruzados por



líneas locales de los Valles Altos; también superaron a los valores de los grupos de poblaciones de donde se derivaron las líneas de los mestizos evaluados en este mismo ambiente (Pecina *et al.*, 2011).

Cuadro 10. Rendimiento de grano y sus componentes en mestizos sobresalientes formados con líneas de poblaciones nativas de Tamaulipas y un probador de Valles Altos. 2008.

Amb	Gpo	RG	LMz	DMz	DO	NHM	NGH	NGM	PIG
CT	1	1258 ab	14.6 bc	3.7 b	2.43 b	13.4 ab	27.3 ab	366 ab	172 ab
	2	1276 ab	15.4 ab	3.8 ab	2.52 ab	13.8 ab	27.7 ab	383 ab	199 ab
	3	1217 ab	15.4 ab	4.0 ab	2.48 b	13.2 b	25.6 ab	342 ab	217 a
	4	812 b	13.3 c	3.6 b	2.30 b	12.6 b	21.8 b	273 b	158 b
	5	1796 a	16.6 a	4.3 a	2.82 a	14.6 a	31.9 a	468 a	219 a
	<b>DMS</b>	<b>975</b>	<b>1.8</b>	<b>0.49</b>	<b>0.30</b>	<b>1.3</b>	<b>7.7</b>	<b>128.2</b>	<b>53</b>
	<b>Media</b>	<b>1219 C</b>	<b>15.0 B</b>	<b>3.8 C</b>	<b>2.5 C</b>	<b>13.4 B</b>	<b>26.4 C</b>	<b>357 C</b>	<b>191 B</b>
NT	1	4487 ab	14.9 ab	4.4 b	2.8 ab	13.1 ab	27.7 ab	360 ab	295 ab
	2	4459 ab	16.9 a	4.6 ab	2.7 ab	13.4 ab	30.0 a	405 a	318 a
	3	3965 b	15.2 ab	4.6 ab	2.7 ab	14.0 a	28.3 ab	397 ab	294 ab
	4	3772 b	14.5 b	4.5 ab	2.6 b	13.7 ab	25.5 b	347 b	265 b
	5	5329 a	16.4 ab	4.7 a	2.9 a	12.9 b	28.7 ab	369 ab	318 a
	<b>DMS</b>	<b>1165</b>	<b>2.0</b>	<b>0.28</b>	<b>0.25</b>	<b>1.1</b>	<b>4.3</b>	<b>56.7</b>	<b>52.9</b>
	<b>Media</b>	<b>4297 B</b>	<b>15.7 AB</b>	<b>4.5 B</b>	<b>2.7 B</b>	<b>13.5 B</b>	<b>28.3 B</b>	<b>382 B</b>	<b>299 A</b>
VA	1	6113 bc	16.2 a	4.8 ab	2.9 a	14.0 a	32.0 a	448 a	305 a
	2	4672 c	16.1 a	4.7 b	2.9 a	14.0 a	32.2 a	451 a	308 a
	3	5816 bc	15.9 a	4.9 ab	2.9 a	15.1 a	31.0 a	468 a	291 a
	4	6709 ab	16.6 a	5.1 a	3.0 a	14.9 a	32.8 a	490 a	313 a
	5	8393 a	17.1 a	5.1 a	3.1 a	15.4 a	31.7 a	488 a	313 a
	<b>DMS</b>	<b>1859</b>	<b>1.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.23</b>	<b>1.4</b>	<b>3.3</b>	<b>68</b>	<b>51</b>
	<b>Media</b>	<b>5947 A</b>	<b>16.3 A</b>	<b>4.9 A</b>	<b>2.9 A</b>	<b>14.6 A</b>	<b>31.9 A</b>	<b>466 A</b>	<b>304 A</b>

Amb = ambiente; CT = Centro de Tamaulipas, NT = Norte de Tamaulipas, VA = Valles Altos. 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; grupo 4 = zona montañosa del suroeste tamaulipeco, clima templado seco; grupo 5 = testigos. 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). En una columna, las letras mayúsculas indican diferencias estadísticas entre ambientes y las minúsculas diferencias entre grupos dentro del ambiente ( $p \leq 0.05$ ).

El número de hileras por mazorca para grupos de mestizos fue estadísticamente igual en CT y NT, presentándose un valor mayor en VA (Cuadro 10). En general, todos los grupos de mestizos presentaron valores muy cercanos entre sí en los tres ambientes de evaluación, pero el grupo 4 fue estadísticamente menor en CT ( $p \leq 0.05$ ).

En NT los grupos de mestizos fueron superiores al grupo de testigos, en VA todos los grupos fueron estadísticamente iguales. Pareciera que la cruce con el probador de Valles Altos no interfirió con las características genotípicas de las líneas utilizadas, las cuales en su mayoría son de origen tropical y en ellas predomina la raza Tuxpeño, de mazorcas largas, cilíndricas, con 12 a 14 hileras y un alto número de granos por hilera (Wellhausen *et al.*, 1951).

Los granos por hilera mostraron diferencias significativas entre ambientes, los valores más altos se presentaron en VA y los más bajos en CT. En VA todos los grupos fueron estadísticamente iguales, a diferencia de los ambientes CT y NT en donde los grupos 1, 2 y 3 igualaron al de los testigos; en ambos ambientes, el grupo 4 (germoplasma de la zona montañosa de Tamaulipas) presentó los valores más bajos (Cuadro 10).

Todos los grupos evaluados mostraron el mayor número de granos por mazorca en VA, seguidos por NT y CT. El grupo 4 fue el que más interactuó con el ambiente, ya que presentó valores bajos en CT y NT y fue el más alto en VA (Cuadro 10). Para el peso individual de grano (PIG), los ambientes NT y VA fueron estadísticamente iguales, mientras que el valor más bajo se presentó en CT. En los tres ambientes los testigos (grupo 5) presentaron valores altos, en CT el grupo 3 tuvo valores iguales a los testigos, en NT el grupo 2 manifestó el PIG más alto de los grupos de mestizos, en el caso de VA todos los grupos de mestizos fueron estadísticamente iguales a los testigos (Cuadro 10). Se considera que el número de granos por mazorca y el peso individual de los mismos son componentes importantes del rendimiento (Andrade *et al.*, 1996); en este trabajo, el grupo 4 en los ambientes de CT y NT presentó los valores más bajos en

tales variables, por lo que su rendimiento fue bajo en esos ambientes. El caso contrario sucedió en VA donde este grupo presentó valores altos en las variables señaladas, por lo que igualó al rendimiento de los testigos. Los valores bajos en los ambientes de Tamaulipas fueron principalmente por la desadaptación del grupo 4 a las temperaturas altas incidentes durante la polinización y el llenado de grano, lo que ocasionó la reducción del número de granos por mazorca y de bajo PIG (Boyer y Westgate, 2004).

En la Figura 5 se presenta el comportamiento individual del rendimiento de grano de cada mestizo, dentro de cada grupo y en cada uno de los ambientes. En el grupo 1 se tuvieron dos mestizos formados con líneas  $S_1$  provenientes de poblaciones distintas y un mestizo cuya línea  $S_1$  fue obtenida de un material mejorado de la misma zona, el mestizo I-C3001-2915-2 x VS16 mostró buen comportamiento en los ambientes de Tamaulipas, ya que en las dos localidades tuvo rendimiento alto, igualando estadísticamente al mejor testigo de cada ambiente; el mestizo proveniente del material mejorado (V-UAT Comp II-1239-1 x VS16) presentó valores bajos en los ambientes de Tamaulipas pero en VA igualó estadísticamente al mejor testigo.

De los siete mestizos del grupo 2 participaron tres poblaciones nativas en la formación de las líneas, por lo que se observó más variación en los resultados de sus mestizos ya que hubo líneas con alta y otras con baja ACG, como las de la población II-C3023 en donde sus mestizos presentaron bajo rendimiento en los ambientes de NT y VA; entre los mestizos evaluados del grupo 2 sobresalió II-C3006-1214-2 x VS16 que mostró valores altos en los tres ambientes; este comportamiento indica una buena aptitud combinatoria de la línea correspondiente. Los mestizos II-C3007-1215-1 x VS-16 y II-C3006-2919-4 x VS16 también mostraron rendimientos aceptables; el caso

contrario fue el mestizo II-C3006-2919-1 x VS16 que presentó el rendimiento más bajo en los tres ambientes (Figura 5). La buena expresión de los mestizos de los grupos 1 y 2 en los ambientes de Tamaulipas puede ser debida al origen de las poblaciones ya que provienen de los municipios de Padilla y Tula, Tamaulipas, zonas que se caracterizan por presentar temperaturas altas y humedad relativa baja, y que por el largo periodo de cultivo, de adaptación y de conservación por los agricultores de la región, han acumulado genes que les permiten adaptarse a esas condiciones ambientales; estos resultados coinciden con lo encontrado por Castro-Nava *et al.* (2011) en poblaciones nativas de estas mismas zonas; por lo tanto, al iniciar un trabajo de fitomejoramiento con dichas poblaciones (obtención de líneas y formación de mestizos) se muestra el potencial genético que tienen para desarrollarse bajo estos ambientes de evaluación.

En el grupo 3 (de la Huasteca, con clima cálido húmedo), se tuvieron cinco mestizos provenientes de dos poblaciones diferentes, de éstos destacó III-C3038-2927-1xVS-16 que mostró rendimientos de grano altos en los tres ambientes, en especial en VA donde llegó a  $8.5 \text{ t ha}^{-1}$ , igualando estadísticamente al H-San José, el mejor testigo del ambiente. Se trata de un material de origen tropical que tuvo una buena combinación para VA, ya que presentó valores altos, comparado con los mejores mestizos de los grupos 1 y 2, que también son de origen tropical, y mostraron rendimientos de 6 a  $6.5 \text{ t ha}^{-1}$  en VA. En este sentido, los mestizos III-C3038-1222-1xV-16 y III-C3039-1223-4 x VS16 presentaron rendimiento bajo en los ambientes de Tamaulipas, pero alto en VA, lo cual indica que poseen alta ACG para VA, mas no para los ambientes CT y NT. Dentro de este mismo grupo 3, el mestizo III-C3039-1223-3 x VS16 presentó valores

intermedios en los ambientes de Tamaulipas, pero fue el más bajo de todos los mestizos en VA. Por su pobre desempeño, la línea participante en su formación debe eliminarse del programa de mejoramiento (Figura 5).

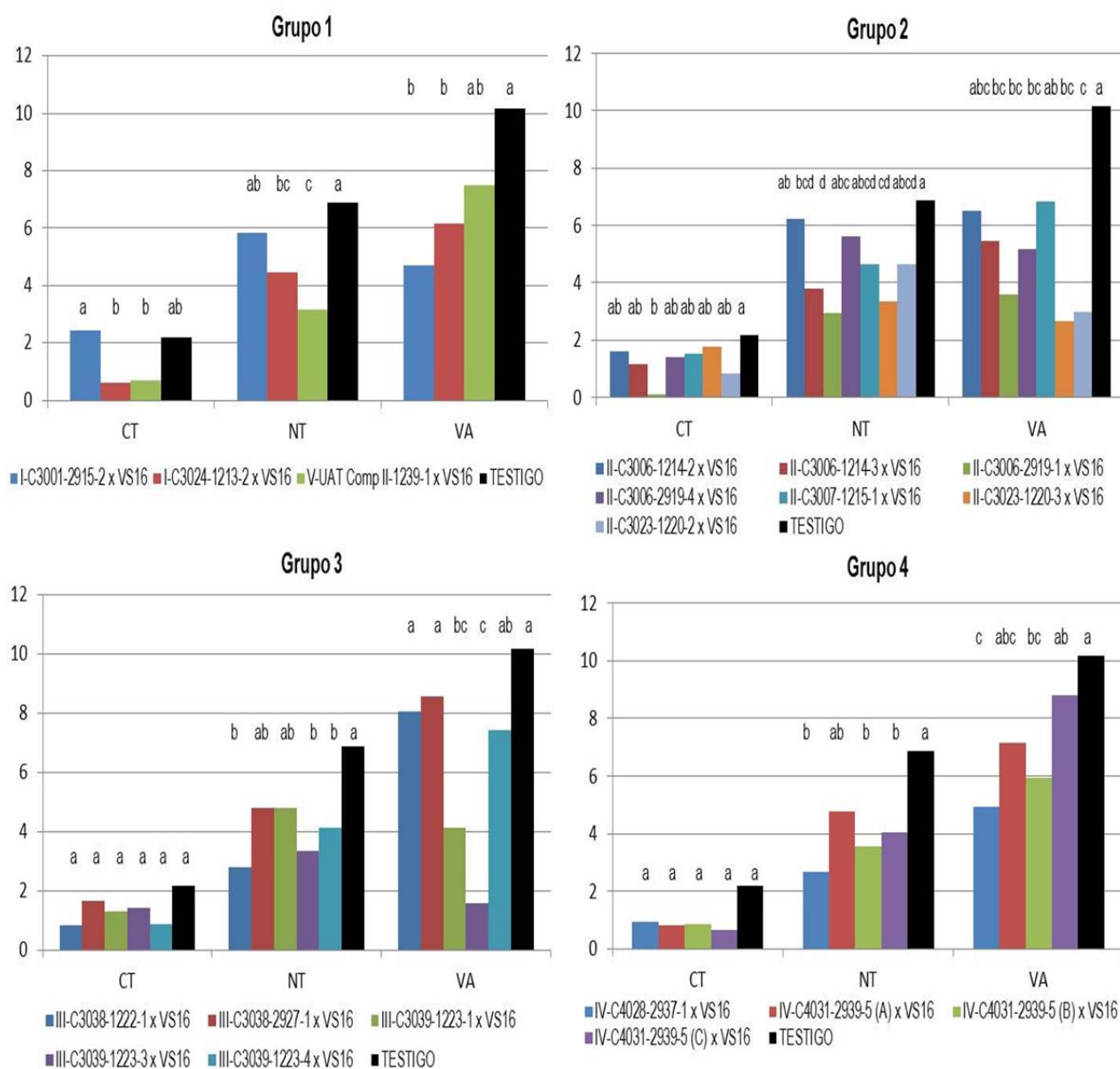


Figura 5. Rendimiento de grano de mestizos ( $t\ ha^{-1}$ ) de cada grupo, evaluados en ambientes contrastantes en 2008, comparados con el mejor testigo de cada ambiente. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre mestizos dentro del grupo correspondiente (Tukey, 0.05).

La variación en el rendimiento de grano de los mestizos de las líneas tropicales en el ambiente VA puede explicarse por limitaciones en su adaptación, ya que al ser evaluadas en áreas contrastantes al clima de CT pudieron expresar cambios fenológicos y morfológicos, algunos de los cuales son agrónomicamente indeseables (Pecina *et al.*, 2009). El aplicar esta metodología de evaluación de líneas de baja endogamia, permite dar rumbo a los programas de mejoramiento genético, pues con algunos ciclos más de autofecundación de las líneas sobresalientes será posible obtener nuevas versiones que al combinarlas entre sí se podrán obtener híbridos que mantengan los caracteres deseables y superen los problemas de adaptación de los maíces introducidos a los Valles Altos (Pérez-Colmenarez *et al.*, 2000) inclusive, algunos de ellos podrían ser usados para producción en los trópicos. Ya en trabajos como el de Carrera y Cervantes (2002) se señala que con la selección realizada en los Valles Altos se logra la adaptación de poblaciones de maíz tropical, la cual se manifiesta en precocidad, sanidad de planta y rendimiento de grano, similar a la de los híbridos comerciales de ciclo intermedio disponibles en la región.

En el grupo 4 se incluyen los mestizos desarrollados con germoplasma de la zona montañosa del estado de Tamaulipas que fue estudiado por Pecina *et al.* (2011) quienes encontraron que posee buen potencial de rendimiento en los Valles Altos. En el presente trabajo se evaluaron cuatro mestizos de este grupo, provenientes de dos poblaciones diferentes de la región, de los cuales IV-C4028-2937-1 x VS16 presentó rendimiento bajo en los tres ambientes de evaluación; sin embargo, los mestizos derivados de la población IV-C-4031 (Pecina *et al.*, 2011 señalan que fue la de más alto rendimiento) que sólo se diferenciaron por el color de grano de sus líneas (blanco, rosa

y anaranjado), en CT los cuatro mestizos del grupo 4 tuvieron bajo rendimiento, comparados con los mestizos de los grupos tropicales y con H-437, el mejor testigo del ambiente, para NT sobresalieron IV-4031-2939-5(A) x VS16, de color de grano blanco, seguido por el de color anaranjado (IV-4031-2939-5(C) x VS16). Estos mestizos, en el ambiente VA tuvieron buen comportamiento y el de color de grano anaranjado tuvo el rendimiento más alto ( $8.8 \text{ t ha}^{-1}$ ) de todos los mestizos evaluados en este trabajo (Figura 5), lo que indica que estas líneas poseen muy buena ACG y es recomendable seguir trabajando con ellas. En el caso del mestizo de grano blanco puede usarse para consumo humano y animal, y el de coloración anaranjado habría que estudiarlo con enfoque nutracéutico, por su contenido de pigmentos (posiblemente carotenos), además de otros atributos que pueda tener el grano o el forraje.

Con los resultados obtenidos en este estudio y lo que históricamente ha sucedido con el germoplasma colectado en la zona centro de Tamaulipas, se puede concluir lo siguiente: En germoplasma colectado en la zona centro del Estado de Tamaulipas posee alto potencial de rendimiento ya que a partir de él se han generado variedades mejoradas desde mediados del siglo pasado, las cuales han sido reconocidas nacionalmente. Estas poblaciones nativas se han utilizado en programas de mejoramiento en estados como Coahuila, Jalisco y Sonora, por su alto potencial de rendimiento y otros atributos agronómicos, entre ellas destacan las variedades Carmen, San Juan y Llera II (Gómez *et al.*, 1996) que aunque se dejaron de sembrar en su región han surgido nuevas versiones como el Llera III. La erosión genética de estos materiales se debe principalmente a la escasa de atención de los campesinos al seleccionar su semilla, ya que muchos de ellos emigran a los Estados Unidos, y a los

cambios en las condiciones ambientales (incidencia de altas temperaturas y baja precipitación); además de que en los últimos 25 años, en el estado de Tamaulipas no se ha considerado el germoplasma nativo de maíz en los programas de mejoramiento de las instituciones de investigación, ya sean públicas o privadas, por eso es importante dar seguimiento a las nuevas líneas aquí detectadas y a otras poblaciones nativas que han tolerado condiciones de temperaturas altas, como las señaladas por Castro-Nava *et al.* (2011).

### **3.5 Conclusiones**

Existe potencial genético en las líneas evaluadas, ya que se encontraron mestizos con buena expresión fenotípica, algunos de ellos con alto rendimiento y precocidad, otros con especificidad para alguno de los ambientes de evaluación.

Hubo variación entre líneas (mestizos) provenientes de una misma población con respecto a su comportamiento entre y dentro de los ambientes de evaluación, lo que indica que entre líneas hermanas se expresa individualidad desde las etapas tempranas de endogamia.

Las mejores líneas, que podrían continuar en el proceso de fitomejoramiento son: I-C3001-2915-2, II-C3006-1214-2 y II-C3006-2919-4 para el Centro y Norte de Tamaulipas; y para Valles Altos III-C3038-1222-1, III-C3038-2927-1, III-C3039-1223-4, IV-C4031-2939-5(A) y IV-C4031-2939-5(C).

### **3.6 Bibliografía**

- Andrade F, A. Cirilo, S. Uhart, M. E. Otegui, 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y Dekalb Press, Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Antonio MM, J. L. Arellano V., G. García S, S. Miranda C., J. A. Mejía C., F. V. González C, 2004. Maize landraces of Chalqueño race blue kernel. Agronomic traits and seed quality. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1): 9-15.
- Bernardo R, 2001. Breeding potential of intra–and interheterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41: 68–71.
- Boyer, J. S., M. E. Westgate, 2004. Grain yield with limited water. *J. Exp. Bot.* 55: 2385-2394.



- Carrera V., J. A., T. Cervantes S., 2006. Response to population density of tropical and subtropical maize crosses adapted to Highlands. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 331-338.
- Carrera V., J. A.; T. Cervantes S., 2002. Tropical maize populations selected *per se* and crosses performance in High Valleys. *Agrociencia* 36: 693-701.
- Castro-Nava, S., V. H. Ramos-Ortíz, C. A. Reyes-Méndez, F. Briones-Encinia, J. A. López-Santillán, 2011. Preliminary field screening of maize landrace germplasm from Northeastern Mexico under high temperatures. *Maydica* 56 (4): 77-82.
- Davis, R. L., 1927. Report of the plant breeder. Puerto Rico Agr. Exp. Sta. Ann. pp:14–15.
- Gómez V., A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., A. Terrón I., 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. INIFAP. Toluca México. Publicación Especial No 16. 102 p.
- 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.
- Hallauer A. R., 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35: 1–16.
- Hallauer A. R., J. B. Miranda, 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2<sup>nd</sup> ed. Iowa State Univ. Press. Ames, IA. 468 p.
- Jenkins M. T., 1935. The effect of inbreeding and selection within inbred lines of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. *Iowa State Journal Sci.* 3: 429-450.
- Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, 2009. Phenological and morphological response of Tamaulipas maize to contrasting environments in Mexico. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz-Cereceres, 2011. Grain yield and yield components of native maize populations from Tamaulipas state evaluated under contrasting environments. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.
- Pérez-Colmenares, A., J. D. Molina-Galán, A. Martínez-Garza, 2000. Adaptation of a tropical maize variety to a temperate climate through stratified mass selection. *Agrociencia* 34:533-542.
- Reyes M., C. A., M. A. Cantú A., 2005. H-439, a new three way cross maize hybrid for the irrigated subtropical areas of Mexico. *Agri. Téc. Méx.* 31: 97-100
- Reyes M., C. A., R. Girón C., E. Rosales R., 1990. Guía para producir maíz en el norte de Tamaulipas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Tamaulipas, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamaulipas, México. Folleto para productores No. 7. 32 p.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS User's Guide*. Statistics. Release 6.12 ed. Cary, NC, USA. 1028 p.
- Wellhausen. E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., 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.

## CAPITULO IV. POTENCIAL DE CRUZAS DE LINEAS S<sub>3</sub> DE MAÍZ DERIVADAS DE POBLACIONES NATIVAS DE TAMAULIPAS Y EVALUADAS EN AMBIENTES CONTRASTANTES DE MÉXICO

### 4.1 Resumen

Se ha reconocido el potencial de rendimiento de las poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas, éste no se ha aprovechado plenamente debido a la falta de continuidad en el trabajo de investigación, específicamente en el mejoramiento genético que se ha realizado en la entidad, sobre todo en los últimos 30 años. El objetivo de este trabajo fue conocer el potencial de nuevas cruzas de líneas S<sub>3</sub> derivadas de poblaciones nativas de Tamaulipas, para que en un futuro se puedan utilizar en la formación de híbridos o variedades sintéticas. Con 12 líneas S<sub>3</sub> sobresalientes, derivadas de poblaciones nativas de diferentes áreas ecológicas de Tamaulipas, en 2009 se obtuvo un esquema de cruzas dialélicas completo, en el cual se obtuvieron cruzas de origen Tropical x Tropical (TxT), Tropical x Montaña (TxM), Tropical x Valles Altos (TxVA) y Montaña x Valles Altos (MxVA), en sus formas directa y recíproca. Las 12 líneas las constituyeron: seis tropicales, cuatro de la zona montañosa de Tamaulipas y dos de Valles Altos. Durante 2010 se evaluaron las cruzas posibles y sus poblaciones progenitoras en cuatro ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura: Norte de Tamaulipas (Río Bravo, Tam.), Centro de Tamaulipas (Güémez, Tam.), Transición (Mixquiahuala, Hgo.) y Valles Altos (Montecillo, Edo. de Méx.). En el Norte de Tamaulipas sobresalieron cruzas TxT principalmente, pero las cruzas T4xM4 y VA5xT5 presentaron rendimientos superiores a 9.2 t ha<sup>-1</sup>. En el Centro de Tamaulipas, sobresalieron las cruzas TxT con promedios de 2.5 t ha<sup>-1</sup>, encontrándose los valores más bajos en las cruzas de MxVA atribuibles a su desadaptación. En Transición sobresalieron las cruzas TxT y TxM con rendimientos de 9.2 a 10.2 t ha<sup>-1</sup>. En Valles Altos todas las cruzas mostraron la mejor expresión, encontrándose algunas con alto rendimiento en todas las combinaciones (TxT, TxM, TxVA y MxVA, directas y recíprocas) con rendimientos de las mejores desde 10.0 hasta 12.9 t ha<sup>-1</sup>. Existió divergencia genética entre las cruzas evaluadas, pero no se tuvo la tendencia de que a mayor divergencia entre líneas, presentara mayor rendimiento la craza. Existe variabilidad entre las cruzas evaluadas, algunas de ellas con buen potencial de rendimiento, precocidad y sanidad en todos los ambientes de evaluación, por lo cual se debe dar seguimiento a las líneas que las forman para aprovecharlas en el futuro inmediato.

**Palabras claves:** derivación de líneas, mejoramiento de poblaciones nativas, alto rendimiento, aprovechamiento de germoplasma, divergencia genética.

## 4.2 Introducción

El maíz es el cereal que a escala mundial más importancia ha tenido en varios sectores de la economía durante el siglo XX y los inicios del XXI. En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o se importa se destina al consumo humano (Serratos, 2009).

Aun cuando está demostrado el potencial de rendimiento que tienen algunas poblaciones nativas de Tamaulipas, éste no se ha aprovechado plenamente, debido entre otras causas, a la falta de continuidad en el trabajo de investigación, específicamente en el mejoramiento genético de maíz que se ha realizado en la entidad, sobre todo en los últimos 30 años (Reyes y Cantú, 2006). Por eso es necesario retomar los estudios en este germoplasma para completar la exploración y colecta de la variabilidad genética del Estado y aprovechar y conservar la ya existente, y con ella generar tecnología para México, considerando la posible adaptación de este germoplasma a nuevos ambientes que lleve a un mejor entendimiento y proyección del aprovechamiento de esa riqueza y potencial que posee el estado de Tamaulipas, sobre todo, ante los nuevos retos del Cambio Climático Global (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Castro-Nava *et al.*, 2011).

En el ámbito mundial existe interés por utilizar nuevas fuentes de líneas, nuevas combinaciones heteróticas y niveles de endogamia más altos, con el objeto de producir híbridos simples que integren características agronómicas e industriales favorables.

Duvick (1996) menciona que la tendencia es hacia la utilización de híbridos de cruza simple, ya que los fitomejoradores disponen de métodos más eficientes de mejoramiento de poblaciones y de evaluación de líneas e híbridos. Para obtener una línea endogámica se necesita menos tiempo, se dispone de marcadores moleculares, computadoras con alta capacidad, métodos de análisis estadísticos y suficientes sitios experimentales, con lo cual la eficiencia del trabajo se incrementa.

Del cruzamiento entre dos genotipos se espera que en la  $F_1$  se presente el fenómeno de la heterosis que se verá reflejada en un mayor crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor de las plantas del híbrido resultante (Gutiérrez *et al.*, 2002). Al respecto, Vasal *et al.* (1993) encontraron valores máximos de heterosis para rendimiento de grano en poblaciones de maíz tropical para alta calidad de proteína (QPM) de 19.7%. En cruzas entre germoplasma templado, tropical y subtropical se ha obtenido entre 18.5 y 38.3% de heterosis (Malik *et al.*, 2004). Gutiérrez *et al.* (2002) y De la Cruz *et al.* (2003) mencionan que en mejoramiento genético de maíz el nivel deseable para el buen aprovechamiento de la heterosis en una cruza es cuando menos de 20%.

El valor de un genotipo depende de su potencial per se y de su capacidad de combinarse. La evaluación de germoplasma es un aspecto decisivo en programas de mejoramiento genético de maíz. La evaluación de poblaciones apoya al programa de hibridación mediante el suministro de las mejores poblaciones de polinización libre con alta frecuencia de alelos favorables. Dicha evaluación permite a los mejoradores concentrar sus esfuerzos en las poblaciones con potencial de producir progenies superiores (Vacaro *et al.*, 2002).

Los objetivos de este trabajo fue conocer el comportamiento agronómico y el rendimiento de grano y sus componentes que presentan cruzas de líneas  $S_3$  derivadas de poblaciones nativas de Tamaulipas evaluadas en ambientes contrastantes de México, con lo cual puedan utilizarse en la formación de híbridos o variedades sintéticas; además de estudiar la divergencia genética entre las líneas evaluadas y su relación en el comportamiento de la crusa en los ambientes de evaluación, bajo las hipótesis de que existirán cruzas específicas sobresalientes con alto potencial para ser usadas en un ambiente específico, y que al existir mayor divergencia genética entre las líneas mayor rendimiento dará la crusa.

#### **4.3 Materiales y Métodos**

Se partió de 35 poblaciones de maíz evaluadas y seleccionadas en 2006 (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011), conformadas por 29 poblaciones nativas de la región centro-sur y región montañosa del Suroeste del Estado de Tamaulipas, las cuales fueron sobresalientes en Tamaulipas y en los Valles Altos Centrales de México por su rendimiento, sanidad, volumen de mazorca y número de hileras; dos testigos del área ecológica del centro de Tamaulipas y cuatro variedades mejoradas de los Valles Altos desarrollados en la Universidad Autónoma Chapingo. Con estas poblaciones, en los Valles Altos Centrales de México, desde 2006 se inició en el programa de mejoramiento genético del área de Fisiotecnia del Colegio de Postgraduados la formación de líneas endogámicas por medio de autofecundaciones, basando la selección en plantas que mostraran precocidad, resistencia a enfermedades, vigor y potencial de rendimiento.

En 2009 se realizó la formación de las cruzas en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, municipio de Texcoco, Estado de México, se utilizaron 12 líneas S<sub>3</sub> seleccionadas por sus características agronómicas y fenológicas, agrupadas por su procedencia de diferentes áreas de colecta, se realizó un dialélico completo en el cual se obtuvieron cruzas Tropical x Tropical (TxT), Tropical x Montaña (TxM), Tropical x Valles Altos (TxVA) y Montaña x Valles Altos (MxVA), en sus cruzas directas y recíprocas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Líneas S<sub>3</sub> obtenidas de poblaciones de maíz clasificadas en grupos con base en la zona y municipio de colecta en el estado de Tamaulipas y variedades mejoradas de Valles Altos.

Línea	Grupo	Municipio de origen	Genealogía
T1	1	Padilla, Tam.	I-C3001 2915-4-2-1
T2	2	Tula, Tam.	II-C3007 2920-2-2-1
T3	2	Tula, Tam.	II-C3012 2922-3-1-1
T4	3	Llera, Tam.	III-C3033 2926-4-7-1
T5	3	Llera, Tam.	III-C3040 2929-4-2-1
T6	1	Padilla, Tam.	I-C3001 2915-4-4-1
M1	4	Miquihuana, Tam.	IV-C4026 2936-3-2-1
M2	4	Miquihuana, Tam.	IV-C4030 2938-5-3-1
M3	4	Miquihuana, Tam.	IV-C4035 2942-5-1-1
M4	4	Bustamente, Tam.	IV-C4037 2943-5-2-1
VA5	6	Edo. de México	VI-VS Chapingo 3 1241-1-1-1
VA6	6	Edo. de México	VI-H San Juan 2948-1-3-1

T= tropical; M= montaña del suroeste de Tamaulipas; VA= Valles Altos. Grupo 1 =zona centro, altitud 350 msnm, clima cálido subhúmedo; grupo 2 = zona del ex IV Distrito, altitud 800 msnm, clima semicálido seco; grupo 3 = Zona Huasteca, altitud 300 a 400 msnm, clima cálido húmedo; grupo 4 = Zona Montañosa del Suroeste del Estado, altitud 1600 a 1800 msnm, clima templado seco; grupo 6 = variedades mejoradas de los Valles Altos Centrales de México.

En el Cuadro 12 se muestran los tipos de cruzas evaluadas en cada uno de los ambientes, cabe señalar que el dialélico no se completó por diversos problemas de manejo del lote donde se realizaron las cruzas, estos problemas fueron principalmente por ataques de plagas del suelo como la gallina ciega que en los últimos años se ha presentado con mucha intensidad, además, por la sincronización de las cruzas ya que

se esperaba que coincidieran en floración pero existieron algunas fallas ya que tres de las líneas tropicales fueron más tardías de lo que se esperaba, todo esto trajo consigo que no se formaran todas las cruzas y en las que se formaron que existiera poca semilla; de las 132 cruzas posibles entre las 12 líneas sólo se lograron 117 que por los problemas antes mencionados no se pudieron establecer en todos ambientes, sólo Valles Altos tuvo todas las cruzas, a los demás se envió la mayor cantidad de cruzas que fue posible. Como testigos se utilizaron materiales mejorados comerciales de cada ambiente de evaluación.

Cuadro 12. Cantidad y tipo de crusa evaluadas en cada ambiente durante 2010

Tipo de crusa	Número de cruzas			
	Norte de Tamaulipas	Centro de Tamaulipas	Transición	Valles Altos
TxT	15	12	15	22
TxM	22	16	26	46
TxVA	13	11	15	19
MxVA	24	23	28	30
<b>TOTAL</b>	<b>74/132</b>	<b>62/132</b>	<b>84/132</b>	<b>117/132</b>

TxT = Tropical x Tropical; TxM = Tropical x Montaña; TxVA = Tropical x Valles Altos; MxVA = Montaña x Valles Altos, en sus cruzas directas y recíprocas.

Durante el ciclo agrícola de 2010, otoño-invierno en Güemez y Río Bravo, Tamaulipas y primavera-verano en Mixquiahuala, Hidalgo y Montecillo, Texcoco Estado de México, se establecieron cuatro ensayos de evaluación, los cuales se identificaron y manejaron de la siguiente manera (Cuadro 13): 1) Norte de Tamaulipas (NT), se sembró el 25 de febrero en instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el Campo Experimental Río Bravo, en el municipio de Río Bravo;2) Centro de Tamaulipas (CT), sembrado el 3 de marzo en la Posta Zootécnica “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), en el municipio de Güemez, Tamaulipas;3) Transición

(TRN), sembrado el 27 de marzo en el Campo Experimental del Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH) ubicado en el municipio de Mixquiahuala, Hidalgo; 4) Valles Altos (VA), sembrado el 6 de mayo en el Campo Agrícola Experimental Montecillo, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, municipio de Texcoco, Estado de México.

Cuadro 13. Características de cuatro ambientes de evaluación de las cruzas experimentales de líneas S<sub>3</sub> de maíz de diferente origen ecológico durante 2010.

<b>Ambiente</b>	<b>Localidad</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>Latitud norte</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
Norte de Tamaulipas (NT)	Rio Bravo, Tam.	25	25° 59'	23.5	648
Centro de Tamaulipas (CT)	Güemez, Tam.	200	23° 56'	23.8	800
Transición (TRN)	Mixquiahuala, Hgo.	1950	20° 14'	17.0	509
Valles Altos (VA)	Montecillo, Edo. Méx.	2240	19°29'	15.0	645

En los cuatro ambientes de evaluación la siembra fue manual, utilizando un diseño de bloques completos al azar en las localidades de Tamaulipas; en este caso las cruzas se agruparon en tres experimentos por sutipo: Tropical x Tropical (TxT), Tropical x Montaña (TxM) + Tropical x Valles Altos (TxVA), y Montaña x Valles Altos (MxVA); en el caso de Transición y Valles Altos se usaron latices simples de 10x10 y 11x11, respectivamente, con tres repeticiones en todos los experimentos; la unidad experimental consistió de dos surcos separados a 0.80 m. Se sembraron dos semillas por mata a una distancia de 0.25 m, para dejar solo una planta y establecer una densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>. En Río Bravo, Güemez, Tamaulipas, y Mixquiahuala, Hidalgo se aplicó un riego de presiembra y en Montecillo, se sembró en suelo seco y se dio el riego inmediatamente después de sembrar. El cultivo se mantuvo sin restricción de humedad. Se realizaron dos aporques y se fertilizó con una dosis de 120-60-00 y el



control de maleza e insectos se hizo según las recomendaciones para maíz en cada ambiente.

Las variables registradas en todas las localidades se clasificaron en fenológicas y morfológicas. Las fenológicas incluyeron: días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), registrados desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la parcela iniciaban la liberación del polen y la exposición de estigmas, respectivamente; asincronía floral (AsFlor) como la diferencia entre DFM y DFF. Las morfológicas incluyeron: altura de planta (APta) y de mazorca (AMz), en cm, desde la base del tallo hasta la lígula de la hoja bandera y hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria, respectivamente; posición de la mazorca (PoMz), como la relación de APta/AMz.

El rendimiento de grano por hectárea (RG) se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental multiplicado por el índice de desgrane y transformado a rendimiento de grano por hectárea, ajustado a 12 % de humedad. Para la estimación de los componentes del rendimiento se utilizaron cinco mazorcas por unidad experimental y en cada ambiente se registraron las siguientes variables: longitud de mazorca (LMz) en cm; diámetro de mazorca (DMz) en cm, tomado en la parte media de la mazorca; número de hileras por mazorca (NHM); peso de mazorca (PMz) como el promedio de las cinco mazorcas de cada unidad experimental; peso individual de grano (PIG) como el promedio del peso de 100 granos tomados al azar de la muestra total de grano de las cinco mazorcas; índice de desgrane (IDg) calculado como porcentaje de grano con respecto al peso total de la mazorca; profundidad de grano (PrG) en cm, como la diferencia entre el diámetro de mazorca y el diámetro del olote, dividido entre dos.

El análisis estadístico de los datos se efectuó con SAS (1996), se realizaron análisis de varianza por ambiente y combinado a través de ambientes. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_k + R_{l(k)} + G_i + M_{j(i)} + AG_{ik} + AM_{kj(i)} + \varepsilon_{ijkl}$$

donde,  $Y_{ijkl}$  = respuesta del  $i$ -ésimo grupo de cruzas que anida al  $j$ -ésima cruzada de maíz, al ser evaluada en el  $k$ -ésimo ambiente en la  $l$ -ésima repetición;  $\mu$  = media general;  $A_k$  = efecto atribuido al  $k$ -ésimo ambiente;  $R_{l(k)}$  = efecto de repetición anidada en el  $k$ -ésimo ambiente;  $G_i$  = efecto de las cruzas de maíz agrupadas por su origen ecológico;  $M_{j(i)}$  = efecto de la cruzada anidada en el grupo;  $AG_{ik}$  = efecto de la interacción del grupo de cruzas x los ambientes;  $AM_{kj(i)}$  = efecto del ambiente x cruzada, anidada en el grupo;  $\varepsilon_{ijkl}$  = efecto aleatorio atribuido al error experimental.

Para estimar la significancia entre ambientes se consideró como término de error a las repeticiones anidadas en los ambientes; las otras fuentes de variación se probaron contra el error experimental. Se aplicó la comparación de medias entre ambientes, entre grupos y entre cruzas dentro de grupos. Para la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre grupos se calculó la media armónica del número de observaciones a través de grupos. Con los resultados obtenidos y buscando respuestas de cómo hacer un mejor aprovechamiento de los resultados, en el presente estudio se realizaron gráficas de las regresiones obtenidas entre el rendimiento de grano por cada cruzada de línea x línea  $S_3$  y la divergencia genética (distancia euclidiana) calculada con base en las características de ubicación geográfica y condiciones ambientales de la zona de colecta de cada población de la cual se derivó cada línea  $S_3$  (Cuadro 14).

Cuadro 14. Datos ambientales del origen ecológico de cada población de donde se derivaron las 12 líneas S<sub>3</sub> utilizadas en la formación de cruzas para la presente investigación.

Línea	Colecta de origen	Localidad de colecta	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (msnm)
T1 y T6	C-3001	Ej. La Concepción, Padilla, Tam.	24.07	99.06	180
T2	C-3007	Col. Agrícola Las Cruces, Tula, Tam.	22.77	99.68	1000
T3	C-3012	Ej. Guadalupe Victoria, Tula, Tam.	22.73	99.68	1040
T4	C-3033	Congregación El Olivo, Llera, Tam.	23.24	99.06	360
T5	C-3040	Congregación El Olivo, Llera, Tam.	23.24	99.06	360
M1	C-4026	Cabecera Municipal, Miquihuana, Tam.	23.69	99.75	1892
M2	C-4030	Ejido La Peña, Miquihuana, Tam.	23.58	99.69	1820
M3	C-4035	Cabecera Municipal, Miquihuana, Tam.	23.69	99.75	1892
M4	C-4037	La Joya de los Herrera, Bustamante, Tam.	23.42	99.8	1970
VA5	VS-Chapingo 3	UACh, Chapingo, Estado de México	19.48	98.88	2250
VA6	H-San Juan	UACh, Chapingo, Estado de México	19.48	98.88	2250

En el Cuadro 15 se tienen los valores de divergencia genética generadas a partir de la ubicación geográfica (latitud, longitud y altitud) de cada una de las poblaciones que dieron origen a las líneas S<sub>3</sub>, datos que sirvieron para realizar las gráficas de regresión y distribución de cada una de las cruzas en cada ambiente de evaluación.

Cuadro 15. Valores de divergencia genética (distancias euclidianas) obtenidas entre las poblaciones de acuerdo con los datos de origen ecológico (latitud, longitud y altitud).

colecta	C-3001	C-3007	C-3012	C-3033	C-3040	C-4026	C-4030	C-4035	C-4037	VS-Chapingo 3	H-San Juan
C-3001	0.00										
C-3007	2.05	0.00									
C-3012	2.09	0.06	0.00								
C-3033	0.56	1.80	1.83	0.00							
C-3040	0.56	1.80	1.83	0.00	0.00						
C-4026	2.79	1.27	1.23	2.62	2.62	0.00					
C-4030	2.63	1.14	1.11	2.45	2.45	0.19	0.00				
C-4035	2.79	1.27	1.23	2.62	2.62	0.00	0.19	0.00			
C-4037	2.96	1.32	1.28	2.77	2.77	0.23	0.35	0.23	0.00		
VS-Chapingo 3	3.86	3.28	3.24	3.34	3.34	3.44	3.31	3.44	3.39	0.00	
H-San Juan	3.86	3.28	3.24	3.34	3.34	3.44	3.31	3.44	3.39	0.00	0.00

## 4.4 Resultados y Discusión

### 4.4.1 Fenología y morfología

Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, entre grupos de cruzas y entre cruzas anidadas en grupos para las variables fenológicas (días a floración masculina, días a floración femenina y asincronía floral) y morfológicas (altura de planta, altura de mazorca y posición de la mazorca). La interacción ambiente x grupo de cruzas expresó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) sólo para las variables fenológicas; para la interacción ambiente x cruzas anidadas en grupos no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 16). Debido a que existió significancia entre la interacción ambientes x grupos de cruzas, las comparaciones entre genotipos sólo se realizaron dentro de cada ambiente.

Cuadro 16. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza combinado para variables morfológicas y fenológicas de cruzas de maíz evaluados durante 2010.

FV	DFM	DFF	AsFlor	APta	AMz	PoMz
Ambientes	1722.2 **	1286.5 **	165.7 **	448330 **	327178 **	1.583 **
Rep (Amb)	12.5	14.0	0.59	523	389	0.003
Grupos	307.3 **	294.5 **	6.0 **	5339 **	5974 **	0.033 **
Cruzas (grupo)	98.6 **	91.2 **	4.4 **	2773 **	2715 **	0.015 **
Ambientes x Grupos	32.9 **	34.7 **	4.0 **	0.0 ns	0.0 ns	0.000 ns
Ambientes x cruzas (grupos)	0.00 ns	0.00 ns	1.1 ns	0.00 ns	0.00 ns	0.00 ns
Error	2.8	3.2	0.9	143	82	0.00094
CV (%)	2.2	2.3	-10.6	5.2	7.8	6.1

\*\*  $p \leq 0.01$ ; ns = no significativo. FV = fuente de variación; Rep(Amb) = repeticiones dentro de ambientes; CV = coeficiente de variación. DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AsFlor = asincronía floral; APta = altura de planta; AMz = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca.

Entre los ambientes de evaluación hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) para las variables fenológicas y morfológicas estudiadas (Cuadro 17), atribuibles a las condiciones propias de cada sitio experimental y a la variación en comportamiento de las diferentes cruzas, los valores más bajos se observaron en el Centro de Tamaulipas

(CT), ambiente que se caracteriza por presentar temperaturas altas que afectan significativamente el desarrollo del cultivo (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011), los valores superiores de las variables se expresaron en los Valles Altos. Con base en las medias de días a floración en VA, las cruzas se consideraron de precoces a intermedias, lo cual era de esperarse ya que uno de los criterios de selección durante la formación de las líneas fue el mantenimiento o reducción de la precocidad lo que repercutió en la expresión de las cruzas generadas. Existieron diferencias significativas entre los ambientes para altura de planta y de mazorca, los valores más bajos se encontraron en CT y los más altos en VA, es de resaltarse qué pasó con la posición de la mazorca ya que en los ambientes de Tamaulipas es bajo y en los otros aumentó. Conforme el ambiente fue con mayor altitud y menor temperatura la posición de la mazorca fue mayor.

Cuadro 17. Valores medios de las variables fenológicas y morfológicas expresadas en los ambientes de evaluación de las cruzas posibles de líneas S<sub>3</sub> con diferente origen ecológico, 2010.

Ambiente	DFM	DFF	AsFlor	APta	AMz	PoMz
Norte de Tamaulipas	73.7 c	75.6 d	-2.0 a	239 b	105 c	0.44 c
Centro de Tamaulipas	72.9 d	76.7 c	-3.8 c	169 d	69 d	0.40 d
Transición	76.3 b	79.0 b	-2.8 b	215 c	116 b	0.54 b
Valles Altos	78.3 a	80.4 a	-2.0 a	267 a	152 a	0.57 a
DMS	0.40	0.42	0.2	2.8	2.1	0.01

DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AsFlor = asincronía floral; APta = altura de planta; AMz = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca. En la misma columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha$ , 0.05).

#### 4.4.2 Rendimiento de grano y sus componentes

Hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, entre grupos de cruzas y entre cruzas dentro del grupo, para rendimiento de grano y las variables relacionadas con los componentes del rendimiento. La interacción ambientes por grupos de cruzas

fue significativa ( $p \leq 0.01$ ) para todas las variables, con excepción de DMz y PIG (Cuadro 18). La interacción ambientes por cruzas dentro del grupo no fue significativa en ninguna variable estudiada; la significancia de la interacción ambiente por grupo de cruzas sugiere que existe variabilidad y especificidad en el comportamiento de los grupos de cruzas en los ambientes de prueba.

Cuadro 18. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano y sus componentes en cruzas de líneas S3 de diferente origen ecológico evaluadas durante 2010.

FV	RG	LMz	DMz	NHM	PMz	PIG	IDg	PrG
Ambientes	3243546 **	897 **	88.1 **	92.9 **	1192886 **	1511399 **	4210 **	13.2 **
Rep (Amb)	5974	1.5	0.08	0.48	407	3410	5.1	0.24
Grupos	27704 **	24 **	0.86 **	18.2 **	3864 **	13289 **	40.8 **	0.38 **
Cruzas (grupo)	20268 **	7.8 **	0.62 **	6.1 **	2865 **	13508 **	32.8 **	0.61 **
Ambientes x grupos	6386 **	3.1 **	0.03 ns	2.9 **	1499 **	1193 ns	23.4 **	0.29 **
Ambientes x cruzas (grupo)	0.00 ns	0.0 ns	0.00 ns	1.17 ns	0.0 ns	0.0 ns	0.0 ns	0.12 ns
Error	1032	1.04	0.05	0.97	239	1230	7.5	0.089
CV (%)	14.7	7.1	4.8	7.3	14.7	11.9	3.2	11.6

\*\* = significativo con  $p \leq 0.01$ , ns = no significativo; FV = fuente de variación; Rep(Amb) = repeticiones dentro de ambientes; CV = coeficiente de variación; RG = rendimiento de grano; LMz = longitud de mazorca; DMz = diámetro de mazorca; NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca; PIG = peso individual de grano; IDg = índice de desgrane; PrG = profundidad de grano.

Los valores del rendimiento de grano y sus componentes fueron estadísticamente mayores en VA, seguido por TRN y NT, y menores en CT (Cuadro 19). Entre los ambientes, CT fue el que presentó los valores más bajos; este ambiente es de los más estresantes ya que se caracteriza por tener temperaturas muy altas y baja humedad relativa durante las etapas de floración y llenado de grano, lo que ocasiona pérdidas considerables al no expresar el potencial del cultivo. Sin embargo, aún bajo estas condiciones se observaron buenos rendimientos en las cruzas evaluadas, como promedio del ambiente fue de  $1.2 \text{ t ha}^{-1}$ , cifra muy superior a la reportada por Pecina *et al.* (2011) al evaluar las poblaciones nativas de donde se derivaron las líneas S<sub>3</sub> progenitoras de estas cruzas. En el caso del valor promedio observado para el Norte de

Tamaulipas puede ser aceptable, ya que esta región es considerada a nivel nacional como una zona de alto rendimiento, principalmente porque se compite con la producción de híbridos del Valle de Texas, E.U. y con empresas transnacionales que utilizan a sus mejores materiales bajo condiciones de alta tecnología para sobresalir en el mercado del maíz.

Cuadro 19. Valores medios de rendimiento de grano de maíz y sus componentes expresados en los ambientes de evaluación en cruzas de líneas S3de diferente origen ecológico evaluadas durante 2010.

Amb	RG	LMz	DMz	NHM	PMz	PIG	IDg	PrG
NT	7.25 b	13.6 c	4.3 c	13.5 b	97.3 c	261 b	86 c	7.9 c
CT	1.23 c	11.7 d	3.5 d	12.7 c	41.2 d	183 c	78 d	6.0 d
TRN	7.46 b	15.3 b	4.7 b	13.3 b	113.6 b	350 a	88 a	8.4 b
VA	9.72 a	15.9 a	4.9 a	14.1 a	150.5 a	349 a	87 b	9.7 a
DMS	0.24	0.2	0.1	0.2	7.4	8	0.6	0.4

Amb = ambiente; NT = norte de Tamaulipas; CT = centro de Tamaulipas; TRN = Transición; VA = Valles Altos; RG = rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca (g); PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane (%); PrG = profundidad de grano (mm). En la misma columna, medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha, 0.05$ ).

Debido al comportamiento diferencial de cada ambiente de evaluación, los resultados obtenidos en cada uno de ellos se presentan en forma independiente, en cada ambiente sólo se presentan las mejores cruzas y se comparan con los testigos comerciales utilizados en cada localidad.

#### 4.4.3. Norte de Tamaulipas (NT) en Rio Bravo, Tamaulipas.

En este ambiente del norte de Tamaulipas se evaluaron 74 cruzas las cuales promediaron  $6.5\ t\ ha^{-1}$ , en general las cruzas con mejor comportamiento fueron las de los grupos de origen tropical (TxT) que es donde se observan los valores más altos; dentro de esas cruzas, T2xT5 fue la de mayor rendimiento ( $10.05\ t\ ha^{-1}$ ). En el Cuadro 20 se muestran 18 de las mejores cruzas en el ambiente de NT comparadas con los testigos comerciales recomendados para la zona. En este ambiente la mayoría de las

cruzas evaluadas no superaron a algunos de los testigos recomendados, lo anterior pudiera deberse a que en cruzas de líneas de origen tropical con líneas de la montaña de Tamaulipas o de los Valles Altos (TxM y TxVA) en su versión directa o recíproca mostraron valores bajos (Cuadro 4.7), una excepción fue la craza VA5 x T5 que presentó buen rendimiento ( $9.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), esta craza fue formada de una línea del grupo de Valles Altos por una del grupo de la Huasteca Tamaulipeca. Esto indica que hay potencial para adaptar germoplasma de zonas altas a bajas, y así aumentar la variabilidad genética de la localidad y con esto, ampliar los alcances de los programas de mejoramiento genético actuales al disponer de materiales divergentes a los utilizados.

En los componentes del rendimiento se encontraron cruzas con mazorcas largas (12.9 a 17.3 cm), principalmente de combinaciones de líneas de los grupos tropicales; en este sentido sobresalió la craza T5xT6 con las mazorcas más largas (17.3 cm), esta expresión pudiera deberse a la mejor adaptación de la craza a las condiciones ambientales de la zona, ya que ambos grupos originales provienen de zonas ecológicas muy parecidas a las de este ambiente de evaluación, además de que pertenece a la raza tuxpeño y una de sus características son las mazorcas largas; el caso contrario es la expresión de las cruzas donde participó el grupo de la montaña en donde sólo sobresalieron las líneas M2 y M4 en diferentes combinaciones, y las líneas de Valles Altos (grupo 6) que combinaron bien sólo con las líneas tropicales T2, T4 y T5 (Cuadro 20). El diámetro de mazorca fue bueno, ya que el de las mejores cruzas fue estadísticamente igual al de los testigos, que fueron mazorcas gruesas; en el caso del número de hileras (NH) en el Cuadro 20 se observa que las cruzas de líneas TxT, TxM



y MxT en promedio, tuvieron 12 hileras por mazorca, característica propia de la raza Tuxpeño a la que pertenecen las poblaciones nativas de Tamaulipas de donde se derivaron las líneas con que se formaron estas cruzas (Pecina *et al.*, 2011); se observó que en combinaciones de líneas Tropicales con Valles Altos se incrementó el número a 14 hileras por mazorca, cercano a las de los testigos, lo que indica que se podría aprovechar los caracteres o genes en combinaciones específicas con materiales de Valles Altos para aumentar el número de hileras por mazorca.

El peso de mazorca varió entre 102 g y 174 g, coincidiendo en que las cruzas de mayor peso tuvieron la mayor longitud y diámetro de mazorca (Cuadro 20). El peso individual de grano (PIG) que presentaron varias cruzas, principalmente de TxT, fue superior al de los testigos en 5 a 10 %, algunas cruza tuvieron valores superiores a 300 mg por grano, destacando T1xT2 con un valor de 369 mg; de los testigos sólo el híbrido H-439 del INIFAP que fue el que presentó el mayor rendimiento, tuvo PIG de 327 mg de, los demás tuvieron granos más pequeños.

El índice de desgrane que indica el porcentaje que corresponde a grano en una mazorca fue muy aceptable en las cruzas sobresalientes ya que se alcanzaron índices de hasta 91 % como en la cruz M2xT4. Otra características relacionada con el tamaño del grano es la profundidad del mismo; las cruzas sobresalientes mostraron granos grandes, pues los valores fluctuaron entre 8.3 mm y 10.3 mm. No se encontró una tendencia clara entre las cruzas de líneas de los diferentes orígenes ecológicos, como sucedió con las otras variables, ya que en todas las combinaciones los valores fueron altos, en el caso de los testigos fue donde se tuvo el valor más bajo (7.8 mm), y de acuerdo con los valores presentados en las otras variables del Cuadro 20, este testigo

(H-439) fue de grano pequeño, pesado, pero con mazorcas de olote grueso (Cuadro 20).

Cuadro 20. Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de las mejores cruzas de líneas S<sub>3</sub> de diferente origen ecológico evaluadas en Río Bravo, Tamaulipas, 2010.

Cruza	RG	LMz	DMz	NH	PMz	PIG	IDg	PrG	DFM	DFF	AP	AMz	PoMz
	t ha <sup>-1</sup>	cm			g	mg	%	mm	días		cm		
T2xT5	<b>10.05</b>	15.0	4.1	12.4	123	308	<b>89</b>	9.8	77	78	<b>263</b>	124	0.47
VA5xT5	<b>9.73</b>	13.4	4.2	<b>14.2</b>	125	269	87	8.3	<b>73</b>	<b>75</b>	237	113	0.47
T1xT2	<b>9.52</b>	15.4	4.5	12.1	<b>150</b>	<b>369</b>	85	9.7	75	76	243	114	0.47
T1xT5	9.45	14.6	4.4	12.2	135	<b>340</b>	85	8.9	75	75	241	117	0.49
T5xT6	9.33	<b>17.3</b>	<b>4.8</b>	12.8	<b>174</b>	<b>327</b>	87	9.7	73	77	247	120	0.48
T1xT6	9.30	<b>16.0</b>	4.6	12.5	136	<b>332</b>	84	9.8	<b>78</b>	<b>80</b>	237	113	0.48
T4xM4	9.21	<b>16.0</b>	4.2	12.2	139	321	<b>89</b>	9.7	76	78	242	109	0.45
T2xT4	9.13	15.7	4.3	12.3	124	319	88	8.8	77	79	254	107	0.42
VA6xT2	8.80	15.3	4.9	14.7	128	279	84	8.8	76	78	230	106	0.46
T1xT4	8.75	14.7	4.2	13.3	128	303	87	9.7	75	76	237	118	0.50
T5xT4	8.45	15.9	4.1	12.6	137	311	<b>89</b>	9.3	76	76	236	110	0.47
T4xT2	8.34	15.4	4.1	11.2	132	322	<b>89</b>	<b>10.3</b>	77	79	<b>223</b>	109	0.49
VA5xT2	8.30	14.4	4.7	<b>14.8</b>	109	236	82	8.7	73	78	251	109	0.44
T5xM4	8.20	15.0	4.2	12.1	110	239	87	8.7	74	77	241	101	0.42
VA5xT4	8.17	14.7	4.4	<b>14.0</b>	127	270	87	<b>10.0</b>	75	78	255	111	0.44
M4xT4	8.14	15.5	4.2	12.3	132	271	88	9.2	74	76	247	112	0.46
M2xT4	8.07	13.3	3.9	11.9	102	278	<b>91</b>	9.0	74	76	237	112	0.47
VA6xT4	8.03	12.9	4.3	13.2	111	278	88	9.0	75	76	231	97	0.42
<b>Media cruzas</b>	<b>6.5</b>	<b>13.6</b>	<b>4.3</b>	<b>13.3</b>	<b>110</b>	<b>269</b>	<b>86</b>	<b>8.7</b>	<b>73</b>	<b>75</b>	<b>239</b>	<b>107</b>	<b>0.45</b>
Testigos													
H-439	11.75	16.7	4.7	13.9	178	327	83	7.8	78	79	214	91	0.42
VS-San Antonio	11.46	16.1	4.8	15.9	151	269	85	10.0	78	79	250	108	0.43
H-437	10.81	15.3	4.7	16.3	161	258	86	9.0	77	79	221	91	0.41
H-san Gabriel	10.09	15.7	4.7	13.6	142	278	84	9.5	77	78	234	100	0.43
VS-14 x VS-16	9.34	16.1	4.7	14.8	141	278	86	9.3	77	79	270	113	0.42
H-443 <sup>a</sup>	9.23	16.1	4.5	14.0	164	306	88	9.1	79	80	215	92	0.43
<b>Media testigos</b>	<b>10.45</b>	<b>15.9</b>	<b>4.7</b>	<b>14.7</b>	<b>156</b>	<b>286</b>	<b>85</b>	<b>9.1</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>233</b>	<b>99</b>	<b>0.42</b>
DMS	3.75	3.7	0.9	3.4	62	103	7	3.5	5	5	36	26	0.13

RG = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca (g); PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane (%); PrG = profundidad de grano (mm). DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca.

En general, las cruzas sobresalientes fueron más precoces que el promedio de los testigos, encontrándose diferencias de cuatro a cinco días entre las cruzas más precoces y las más tardías, al igual que los testigos que fueron tardíos; este comportamiento está asociado a un mayor rendimiento, pero debido al cambio climático actual, la tendencia debe ser buscar o generar germoplasma precoz y con alto rendimiento (Cuadro 20). De los datos de floración observados en las cruzas, la asincronía entre las floraciones fue aceptable ya que presentaron en promedio dos días; la importancia de considerar esta variable radica en que en zonas con temperaturas altas, si la asincronía es prolongada se corre el riesgo de que no haya suficiente polen para polinizar los estigmas que se exponen tardíamente, con lo cual se reduce la producción de grano.

La altura de planta fue estadísticamente igual entre las cruzas sobresalientes, sólo la cruz T4xT2 fue la de menor altura, pero aceptable, ya que las tendencias de la agricultura moderna es tener híbridos más compactos que permitan aumentar la densidad de población con el fin de obtener una mayor producción de grano por unidad de superficie; en este caso se observó en los híbridos generados por el INIFAP (H-437, H439 y H-443A) que presentaron las menores alturas. Un aprovechamiento extra en la producción de maíz sería el forraje, en el caso de las cruzas presentaron plantas altas con más biomasa que los testigos; el otro punto a considerar es la posición de la mazorca, es deseable tenerla en la parte media de la planta para facilitar la cosecha mecánica, en esta caso las diferentes cruzas evaluadas presentaron una posición de mazorca de 0.42 y 0.50 (Cuadro 20).

Para el Norte de Tamaulipas (Figura 6) se observó la dispersión de las cruzas con base en su rendimiento y divergencia genética. La curva de regresión indica que los mayores rendimientos se obtuvieron principalmente de las cruzas con divergencia intermedia; es decir, entre líneas del estado de Tamaulipas pero que provinieron de diferentes zonas ecológicas; especialmente la crusa con mayor rendimiento (T2xT5) que fue obtenida entre una línea S<sub>3</sub> derivada de una población del municipio de Tula, ubicado en el Altiplano del estado en el suroeste del mismo y una línea derivada de una población del municipio de Llera, ubicado en la zona de la huasteca Tamaulipeca. Ambas localidades son tropicales una de mayor altitud, menor humedad y temperatura (Tula), que la otra (Llera), existe divergencia genética entre materiales del mismo estado.

Hacia el lado izquierdo de la Figura 6, en la curva se situaron con valores de cero o cercanos a cero las cruzas formadas entre las líneas más genéticamente cercanas o provenientes de una misma zona ecológica, y al extremo opuesto, con los valores más altos de divergencia genética ya que en éstas se encuentran principalmente las cruzas entre líneas de las poblaciones de Tamaulipas con las de Valles Altos (Figura 6). Los resultados obtenidos en este ambiente coinciden con los de la curva que muestra Moll *et al.* (1962) donde los mejores rendimientos se observan entre las cruzas que tienen una divergencia intermedia.

Con base en la ubicación de las cruzas entre el rendimiento y su divergencia genética la propuesta de éstas en el ambiente de Río Bravo sería de trabajar con las cruzas más sobresalientes; una posibilidad es realizar más evaluaciones de estas cruzas con el nivel de endogamia actual de la población, y simultáneamente seguir con

el proceso de mejoramiento para aumentar la endogamia para que la cruce de estas mismas líneas, pero con mayor grado de homocigosis, den como resultado cruces de mayor rendimiento, tal y como lo expresa Falconer (1989) que indica que a mayor nivel de endogamia entre líneas que se cruzan más alto será el nivel de heterosis en la F<sub>1</sub>.

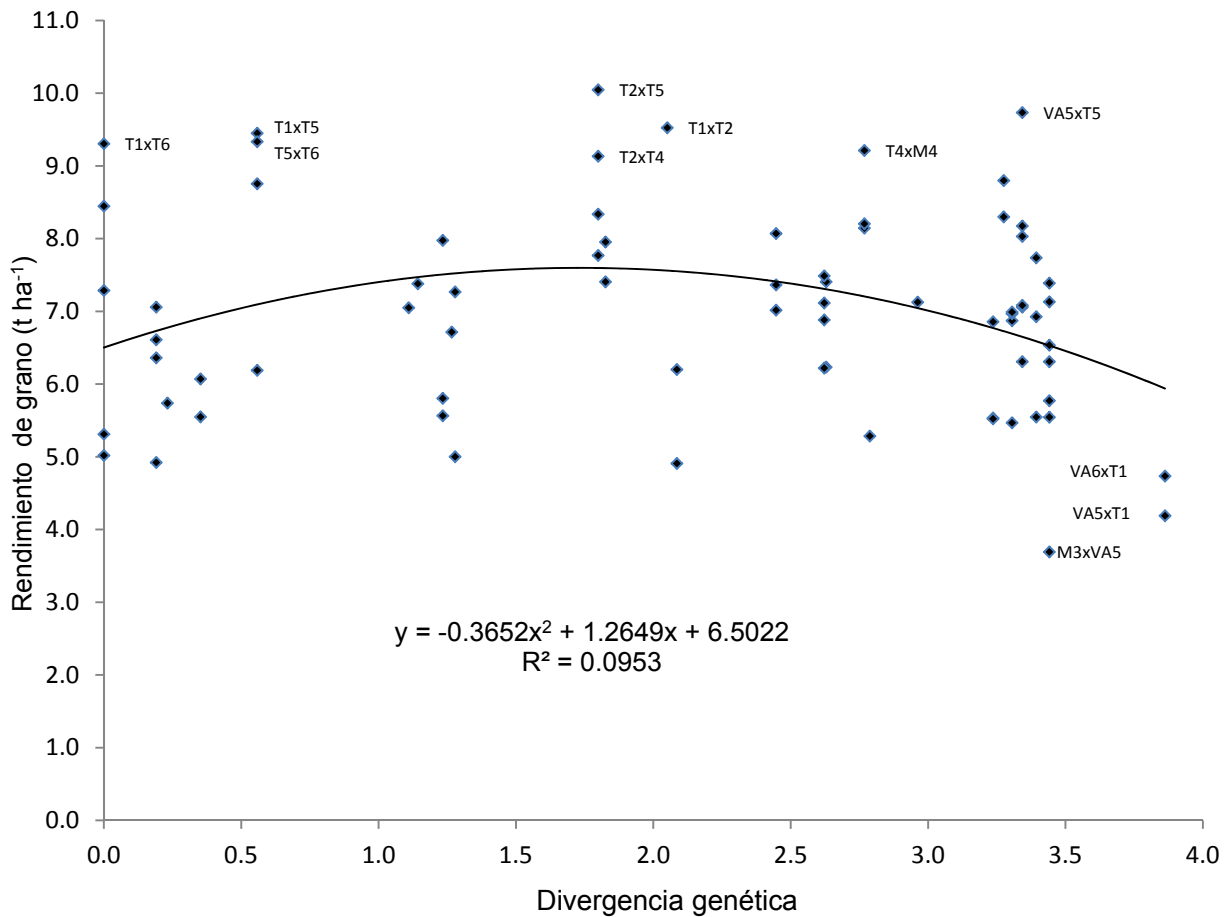


Figura 6. Distribución de las cruces posibles de líneas S<sub>3</sub> derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico con base en el rendimiento de grano y la divergencia genética existente, evaluadas bajo el ambiente del norte de Tamaulipas, Río Bravo, Tamaulipas 2010.

Así, para el norte de Tamaulipas es importante trabajar con las líneas tropicales T1, T2, T4, T5 y T6, que fueron las que presentaron las mejores combinaciones pero poniendo especial atención a la línea M4, de la zona montañosa del estado y la VA5 de los Valles Altos, ya que estas dos líneas permitirían tener mayor diversidad en algunos

caracteres favorables al integrarlas a un programa de mejoramiento genético de maíz para esta zona del país.

#### **4.4.4. Centro de Tamaulipas (CT), en Güémez, Tamaulipas.**

En el centro de Tamaulipas se evaluaron 62 cruzas de diferentes orígenes de las 132 posibles, por lo difícil que es este ambiente debido a sus condiciones climáticas se esperaba una respuesta baja por parte de las cruzas debido a que la selección de las líneas se realizó en una zona contrastante (Valles Altos). En este ambiente se tuvieron los rendimientos de grano más bajos de la evaluación, hasta con 80 % menos que lo expresado en Valles Altos. Aun así, sobresalieron 12 de las 62 que se establecieron, además en este ambiente fueron cinco las cruzas que también sobresalieron en el ambiente NT. Las cruzas T1xT2 y T5xT6 que produjeron en promedio 2.5 t ha<sup>-1</sup>, igualaron el comportamiento de los mejores testigos, el COMP II-UAT de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) y al VS-San Antonio, material mejorado por Dr. Moisés Mendoza Rodríguez<sup>† (qepd)</sup> de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 21).

En este ambiente, al igual que en el del norte de Tamaulipas, destacaron las cruzas de las líneas derivadas de los grupos tropicales (de la zona centro, Tula y la Huasteca) con las combinaciones de alto rendimiento, pero que en combinación con las líneas de los grupos 4 (montaña de Tamaulipas) y 6 (Valles Altos) dieron bajo rendimiento, esto es atribuible a la desadaptación y agobio del germoplasma de la montaña y Valles Altos al exponerlo a las condiciones ambientales de CT. De las cruzas sobresalientes no destacaron combinaciones con las líneas de Valles Altos (2240 msnm) pero es de mencionarse que llaman la atención las cruzas de líneas derivadas de poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas (1600-1800 msnm) pues destacan especialmente

M3xM2 y M2xM4 con buen rendimiento, y estas tres líneas en combinaciones con algunas tropicales, pues tuvieron alto rendimiento para las condiciones del ambiente CT, indicando que debe ser aprovechada la buena aptitud combinatoria existen entre ellas; también en este ambiente se presentaron los valores más bajos en los componentes del rendimiento de grano, con mazorcas de 10 a 14 cm de longitud; las cruzas donde participaron los líneas del grupo 4 (M2, M3 y M4) tuvieron valores bajos de longitud de mazorca comparados con los testigos. Se presentó asociación entre los rendimientos altos con mazorcas de mayor tamaño pero no existieron diferencias estadísticas entre las cruzas evaluadas para el diámetro de mazorca, observándose mazorcas delgadas que no superaron los 4 cm de diámetro (Cuadro 21).

El que las cruzas presentaran mazorcas pequeñas y delgadas se vio reflejado en el bajo peso de las mismas, ya que en este ambiente tanto las cruzas como los testigos tuvieron valores que fluctuaron entre 54 y 88 g. El número de hileras por mazorca fue bajo con promedios de 11 a 14 hileras; el PIG presentó valores bajos en general, pero la mayoría de las cruzas destacaron con respecto a los testigos, los valores encontrados en este trabajo son muy parecidos a los reportados en la evaluación de los grupos de las poblaciones originales (Pecina *et al.*, 2011), aun así, estos valores son bajos comparados con los encontrados en otras investigaciones realizadas en esta misma zona ecológica que mencionan intervalos de 234 a 294 mg (López *et al.*, 2004) y de 290 a 340 mg (Rincón *et al.*, 2006).

El índice de desgrane (IDg) y la profundidad de grano (PrG) tanto de las cruzas como de los testigos indican que las mazorcas tuvieron olotes gruesos y granos pequeños; la pobre expresión en estas variables puede ser por efectos del estrés a la

temperatura alta prevaleciente en este ambiente, que en promedio diario osciló entre 30 y 39 °C, con valores máximos superiores a 40 °C, incidiendo en las etapas de floración y llenado de grano, etapas fenológicas críticas para la producción del rendimiento de grano (Reyes, 1990).

Cuadro 21. Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruzas de líneas S<sub>3</sub> evaluadas en el Centro de Tamaulipas, Güémez 2010.

Cruza	RG	LMz	DMz	NH	PMz	PIG	IDg	PrG	DFM	DFD	AP	Amz	PoMz
	t ha <sup>-1</sup>	cm			g	mg	%	mm	días		cm		
T1xT2	2.57	11.9	3.8	13.7	77	210	80	8.3	77	81	152	60	0.39
T5xT6	2.47	13.7	3.7	12.1	76	218	82	6.1	77	80	174	63	0.36
T5xT4	2.10	13.9	3.6	11.3	75	230	86	7.8	76	78	172	55	0.32
T3 X T1	2.08	12.6	3.8	13.1	77	236	80	8.8	73	75	173	83	0.48
T1xT4	2.06	13.1	3.7	13.1	73	189	82	6.4	76	78	178	85	0.48
M4xT4	1.98	12.9	3.5	11.7	66	210	81	6.2	71	76	168	70	0.41
M3xT5	1.85	11.7	3.8	12.8	65	207	75	5.8	67	74	172	62	0.36
T1xM2	1.63	11.2	3.6	12.1	58	191	81	7.3	68	71	177	88	0.50
M2xT2	1.55	11.8	3.3	11.9	54	214	81	6.2	81	85	155	47	0.30
T2 X T5	1.53	12.5	3.6	12.4	73	264	80	6.3	74	77	168	62	0.36
M3xM2	1.52	11.5	3.3	12.1	57	198	81	5.5	69	73	173	55	0.32
M2xM4	1.51	9.7	3.5	11.5	56	216	83	6.8	67	71	173	78	0.45
<b>Media cruzas</b>	<b>1.20</b>	<b>11.7</b>	<b>3.6</b>	<b>12.6</b>	<b>54</b>	<b>188</b>	<b>79</b>	<b>6.4</b>	<b>73</b>	<b>77</b>	<b>169</b>	<b>68</b>	<b>0.40</b>
Testigos													
COMP II	2.43	15.8	3.6	12.2	82	222	80	6.8	82	84	188	80	0.43
VS-san Antonio	2.36	14.0	4.0	13.0	73	191	77	8.5	77	80	171	67	0.39
COMP HA	2.29	12.8	3.5	11.0	73	219	86	7.8	69	72	144	65	0.45
Pionner 1	2.25	14.1	3.3	12.9	61	168	81	8.0	83	83	152	72	0.47
H-san Gabriel	1.93	13.9	3.9	14.3	77	184	79	6.2	77	80	177	62	0.35
Pionner 2	1.87	14.4	3.2	12.5	62	166	79	6.8	83	86	150	50	0.33
H-439	1.80	15.5	3.9	12.8	88	188	74	7.2	84	86	157	58	0.37
Media Testigos	1.94	14.3	3.6	12.6	73	191	80	7.3	79	82	164	64	0.39
DMS	1.44	3.5	0.6	3.2	31	98	10	5.3	2	2	12	17	0.10

RG = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca (g); PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane (%); PrG = profundidad de grano (mm). DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca.

En el Centro de Tamaulipas (CT) se encontró mayor variación en el comportamiento de las cruzas evaluadas para los DFM; se tuvieron las cruzas precoces de 67 días y las más tardías de 81 días, también en DFF hubo cruzas de 71 hasta 85 días (Cuadro 21).



En general, las cruzas sobresalientes en CT fueron más precoces que los testigos de la región. Algunas cruzas mostraron un periodo amplio de asincronía floral (5 a 7 días), que no es deseable mantener; por los grandes efectos de las altas temperaturas de la zona en la polinización y formación de grano; en los testigos la asincronía floral fue de dos a tres días.

La altura de planta que se observó en las cruzas fue baja comparada con la obtenidas en los otros ambientes, algunas cruzas apenas alcanzaron 152 cm y las de mayor altura tuvieron 178 cm, los testigos también redujeron su altura promedio a 164 cm. De igual manera, la altura de la mazorca fue baja, lo que dio como consecuencia que la posición de la mazorca no alcanzara la parte media ideal quedándose con valores desde 0.30 hasta 0.50, incluso los testigos tuvieron valores de 0.39, esta desproporción entre la parte inferior y superior de la planta se pudiera explicar porque en esta región y en este ciclo agrícola (Otoño-Invierno) el establecimiento del cultivo se hace cuando aún los días son frescos (en febrero) y por lo tanto, los primeros entrenudos son cortos, pero con el paso de los días la temperatura se va incrementado y para el mes de abril ya son días con altas temperaturas que aceleran el crecimiento de las plantas y ocasionan un mayor desarrollo de los entrenudos superiores a la ubicación de la mazorca (Aiken, 1977). La importancia de estos valores bajos en este ambiente es que existió una reducción en la expresión del ambiente al cambiar las cruzas de NT a CT, además de que no existe literatura para esta zona que explique este comportamiento, ya que se pudiera pensar en una reducción en el número de hojas por debajo de la posición de la mazorca, pero habría que comprobarlo.

La curva de regresión de la Figura 7 presentó una pendiente pronunciada a medida que la divergencia genética fue mayor entre las cruzas. Al igual que en el ambiente del norte de Tamaulipas, las mejores combinaciones se presentaron entre las líneas tropicales, es importante señalar que las poblaciones nativas que dieron origen a estas líneas también fueron sobresalientes en este ambiente en la evaluación de Pecina *et al.* (2011), de ellas destacó la población C-3001, que es originaria de esta misma zona ecológica (CT) y que derivó la línea T1, misma que participó en las mejores cruzas para este ambiente (CT), entre ellas estuvo la craza T1xT2 que mostró el mayor rendimiento de grano, inclusive superior a los mejores testigos recomendados para la zona; además, esta misma craza también tuvo buen comportamiento en NT, por lo cual sería importante darle el seguimiento adecuado, tanto a la craza como a sus líneas progenitoras que bien podrían integrarse a algún programa de mejoramiento para la región o Estado (Figura 7).

Entre las mejores cruzas para el ambiente CT sobresalieron las de Padilla x Tula (T1xT2), Llera x Padilla (T5xT6), Llera x Llera (T5xT4), Tula x Padilla (T3xT1) y Padilla x Llera (T1xT4), el hecho de que este germoplasma dé buenas combinaciones entre ellos muestra la riqueza genética que aún existe por aprovechar en el Estado, ya que sólo basta recordar que en la historia del mejoramiento de maíz en México el germoplasma de Tamaulipas ha sido reconocido como de alto rendimiento y precisamente fue en esta zona centro del estado en donde se colectaron poblaciones importantes como “Carmen” y “San Juan” que fueron utilizadas en diversos programas de mejoramiento, tanto en el estado de Tamaulipas como en otras zonas del país en

donde se presentan condiciones ambientales similares (Ortega y Barajas, 1994; Gámez *et al.*, 1996).

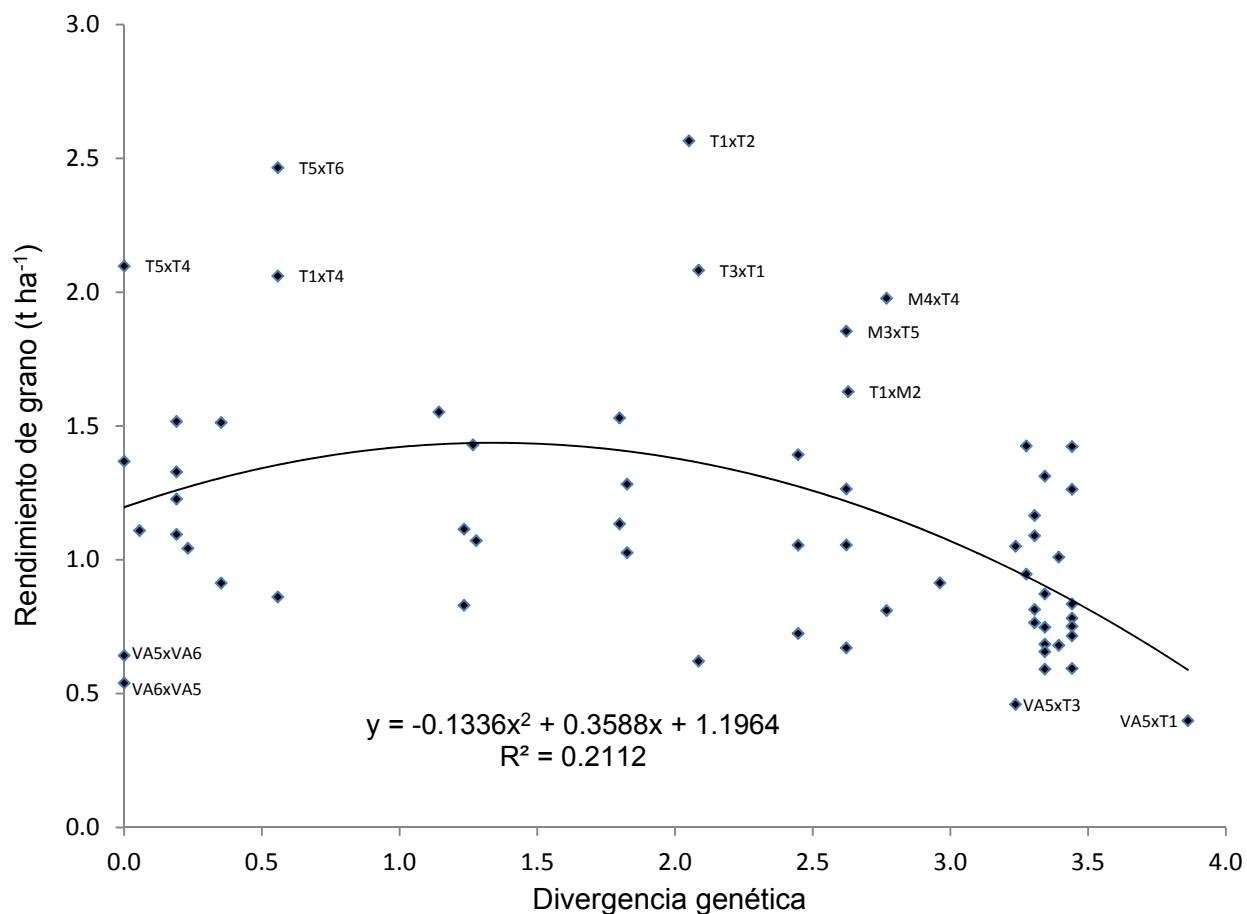


Figura 7. Distribución de las cruzas posibles entre líneas  $S_3$  derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo a la divergencia genética existente entre cada cruza evaluada en el centro de Tamaulipas, Güémez, Tamaulipas 2010.

También en este ambiente (CT) hubo cruzas formadas de material tropical con material de la zona montañosa del estado que presentaron rendimiento aceptable, y cruzas con bajo rendimiento de combinaciones de tropicales y de montaña con las líneas de Valles Altos (VA), que fueron en la Figura 7 las que presentaron la mayor divergencia genética se localizaron en la posición derecha de la curva y fueron las cruzas que menor rendimiento presentaron. Este bajo comportamiento puede ser

atribuido a problemas de desadaptación a las condiciones ambientales extremas de la zona (principalmente de alta temperatura).

Es de resaltarse que las cruzas sobresalientes fueron originadas a partir de líneas de poblaciones nativas de las diferentes zonas ecológicas del estado de Tamaulipas, y que aun cuando el proceso de mejoramiento genético de las líneas se realizó en los Valles Altos se pensaría que podrían presentar desadaptación al regresarlas a las condiciones ambientales de CT, lo cual no fue así ya que tuvieron buen comportamiento, pero esto ¿a qué se debe? ¿Se podría pensar que las líneas seleccionadas se hicieron son tolerantes a las altas temperaturas? Probablemente la respuesta más acertada sea que dentro de las poblaciones nativas existe una amplia variabilidad genética que les ha permitido afrontar las condiciones climáticas de su zona de adaptación y que al integrarlas en programas de mejoramiento en otras zonas, como se hizo en este caso que se derivaron en los Valles Altos Centrales de México, esa estructura genética no se eliminó con la selección en VA con lo cual al regresarlas a las condiciones ambientales desfavorables de CT, expresaron sus niveles de adaptación y buen comportamiento, porque en algún sitio de su estructura genética existen los genes que expresan tolerancia para esas condiciones, esto se puede comparar con los materiales de Valles Altos que no han estado expuestos a las condiciones de CT y que al momento que se siembran en ellas, presentan bajos rendimientos atribuidos a su desadaptación.

#### **4.4.5. Transición (TRN), Mixquiahuala, Hidalgo.**

En el ambiente de transición (2050 msnm) se establecieron 84 cruzas de las 132 posibles del dialélico de 12 líneas, en el Cuadro 22 se presentan 18 cruzas

sobresalientes y los testigos utilizados en este ambiente; destacó entre las cruzas evaluadas T5xT4 que presentó el rendimiento más alto, con  $10.24 \text{ t ha}^{-1}$ , esta cruza se formó con líneas provenientes del grupo 3 (de la Huasteca Tamaulipeca), lo que indicaría que aún entre materiales de una misma zona se pueden obtener buenas combinaciones, que expresan alto potencial de rendimiento inclusive fuera de su ambiente ecológico. Las siguientes dos cruzas de rendimiento más alto fueron VA6xT2 y T4xM3, con  $10.01$  y  $9.96 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente; estas dos cruzas se hicieron con líneas de origen ecológico contrastante ya que en la cruza VA6xT2 participó germoplasma de Valles Altos con otro de la zona montañosa de Tamaulipas. La cruza T4xM3 fue formada con una línea S<sub>3</sub> derivada de material de la huasteca Tamaulipeca con una línea cuya población de origen fue de la zona montañosa de Tamaulipas (Cuadro 22). En este ambiente las líneas que más combinaciones sobresalientes dieron fueron T4, T5 y M3, lo cual da idea de que se trata de líneas que poseen alta aptitud combinatoria y que existe potencial para continuar trabajando con ellas.

Se observó un cambio en el comportamiento de las cruzas en este ambiente con respecto a lo observado en el ambiente de NT y CT, disminuyendo su rendimiento en la mayoría de las cruzas de líneas TxT, y aumentando en las cruzas donde intervino el germoplasma de la montaña de Tamaulipas (grupo 4) y el de Valles Altos (grupo 6). Se observaron cruzas sobresalientes con mazorcas largas que igualaron a los testigos, destacó la cruza T5xT4 con  $16.7 \text{ cm}$  de longitud de mazorca, pero con  $4.4 \text{ cm}$  de diámetro de mazorca, que fue uno de los valores más bajos entre las cruzas sobresalientes (Cuadro 22). En general las cruzas sobresalientes en este ambiente tuvieron componentes del rendimiento estadísticamente iguales a los testigos, con

mazorcas de 14.8 a 16.7 cm, diámetros de 4.3 a 5.1 cm, en el caso del número de hileras se observó un comportamiento similar al de los otros ambientes ya que tuvieron valores de 10.8 a 14.8, principalmente en las cruzas donde intervinieron en su formación líneas de origen tropical.

En este ambiente se observaron mazorcas con mayor peso que el obtenido en los ambientes de Tamaulipas en casi todas las cruzas sobresalientes, igualando a los testigos; sólo la cruz T4xM2 presentó las mazorcas de menor peso lo cual se podría explicar porque esta cruz presentó hasta 80 % de proliferación; es decir segundas mazorcas que aportaron 40 % al rendimiento total (datos no presentados) por lo tanto, el peso de la primera mazorca disminuyó en cierta medida, pero este carácter de proliferación también debería ser considerado en los programas de mejoramiento genético. En las demás cruzas principalmente en donde participaron líneas tropicales se presentaron índices de proliferación entre 10 y 40 %, característica que fue poco destacada en los testigos.

En este ambiente de transición se tuvieron intervalos de floración masculina de 74 días (precoces) hasta de 80 días (intermedios), la floración femenina varió desde 76 hasta 84 días, la cruz más precoz por sus DFM y DFF fue VA5xT5 (línea de Valles Altos x línea de la huasteca Tamaulipeca), la cruz intermedia T1xT6 (tropical por tropical) entre líneas derivadas de la población C-3001 de la zona centro de Tamaulipas, tuvo comportamiento estadísticamente igual al de los testigos recomendados para la región, que en general fueron intermedios (Cuadro 22). Las diferencias entre la floración masculina y femenina de las cruzas fueron de dos a cuatro días, intervalo muy aceptable, porque no presentan problemas de polinización y

formación de grano, también fueron iguales estadísticamente al promedio de los testigos.

Cuadro 22. Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruzas de líneas S<sub>3</sub> evaluadas en el ambiente de transición, Mixquiahuala, Hidalgo. 2010.

Cruza	RGr	LMz	DMz	NH	PMz	PIG	IDg	PrG	DFM	DFF	AP	AMz	PoMz
	t ha <sup>-1</sup>	cm			g	mg	%	mm	días		Cm		
T5xT4	10.24	16.7	4.4	12.2	159	346	90	10.3	77	80	222	123	0.56
VA6xT2	10.01	14.8	5.1	13.8	181	370	88	10.8	79	81	240	131	0.55
T4xM3	9.96	15.9	4.6	13.4	175	338	88	9.5	77	80	235	134	0.57
T4xM4	9.49	16.1	4.3	11.8	155	335	91	10.2	79	83	231	135	0.59
T5xT6	9.46	16.5	4.5	12.0	157	327	86	8.0	79	81	237	128	0.54
T4xM2	9.39	15.1	4.3	11.8	125	320	88	8.9	79	82	227	120	0.53
T5xT2	9.24	15.2	4.7	12.6	171	359	88	9.8	77	80	216	119	0.55
VA5xM3	9.05	15.6	4.9	14.6	185	354	87	10.5	76	78	213	115	0.54
T1xT6	8.90	14.8	4.9	11.8	160	369	86	9.6	80	84	247	156	0.64
VA6xM3	8.89	15.1	5.1	13.6	168	395	86	10.1	74	76	207	110	0.53
VA5xT4	8.77	15.0	4.7	14.2	167	350	91	11.3	79	82	245	139	0.57
M4xM3	8.49	16.4	4.7	10.8	165	439	88	9.3	76	78	214	114	0.53
M3xT5	8.37	15.2	4.7	13.2	169	355	87	9.6	75	77	210	113	0.54
VA5xT5	8.31	14.8	4.8	13.4	160	377	89	10.8	74	77	217	109	0.50
VA5xT2	8.21	16.3	5.0	13.4	172	346	87	9.8	79	83	223	120	0.54
M3xM2	8.08	15.6	4.6	13.4	149	299	87	9.0	75	78	213	116	0.55
T3xT5	8.06	16.1	4.6	12.8	162	322	89	10.1	77	79	219	128	0.58
VA6xT4	8.01	15.7	4.9	14.8	183	356	89	11.4	78	82	235	120	0.51
<b>Media cruzas</b>	<b>7.28</b>	<b>15.1</b>	<b>4.7</b>	<b>13.2</b>	<b>155</b>	<b>346</b>	<b>88</b>	<b>9.8</b>	<b>76</b>	<b>79</b>	<b>214</b>	<b>117</b>	<b>0.54</b>
Testigos													
Asgrow	10.93	17.1	4.6	13.2	187	354	88	8.4	83	84	194	90	<b>0.47</b>
Pionner 1	9.88	17.1	4.8	13.4	182	340	85	9.1	86	89	238	114	<b>0.48</b>
VS-14 X VS-16	9.74	16.6	5.3	15.8	205	366	88	10.6	77	80	226	118	0.52
VS-14 X CH-IV	9.57	16.8	5.1	15.8	201	365	87	10.6	80	84	225	118	0.53
VS-Sta Barbara	9.51	17.1	5.1	13.4	190	369	87	9.8	79	83	215	100	0.47
VS-San Vicente	9.50	16.5	4.8	14.0	178	344	87	9.3	82	86	247	131	0.53
VS-11 X VS-16	9.37	16.1	5.0	15.8	191	349	86	9.5	80	83	231	124	0.54
Pionner 2	9.33	15.9	4.6	12.8	168	383	86	8.6	81	82	190	75	<b>0.39</b>
H-San Gabriel	9.17	16.3	5.1	14.6	191	352	86	9.5	80	84	239	128	0.54
VS-11 X CH-IV	9.09	16.6	5.0	13.4	187	384	86	10.1	81	84	252	137	0.55
VS-San Antonio	9.07	16.7	4.8	12.6	174	338	85	8.8	83	87	256	158	0.61
CHAP-V	9.04	16.5	5.0	14.0	195	345	88	9.9	79	82	224	113	0.51
<b>Media testigos</b>	<b>9.17</b>	<b>16.6</b>	<b>4.9</b>	<b>13.8</b>	<b>185</b>	<b>367</b>	<b>86</b>	<b>9.5</b>	<b>80</b>	<b>83</b>	<b>230</b>	<b>119</b>	<b>0.51</b>
DMS	4.82	2.9	0.6	3.8	65	111	4	2.8	6	7	48	44	0.14

RG = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca (g); PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane (%); PrG = profundidad de grano (mm). DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca.

La altura de la planta en la mayoría de las cruzas fue estadísticamente igual a la de los testigos, con valores de 207 a 247 cm, sólo la craza de T1xT6 que mostró mayor periodo a floración fue la que presentó plantas de mayor altura, así como mayor altura de mazorca (Cuadro 22). En general la posición de la mazorca fue muy buena en la mayoría de las cruzas ya que presentaron entre 0.50 y 0.64.

En el ambiente de transición que fue representado por la localidad de Mixquiahuala, Hgo., en la Figura 8 se observa la relación entre el rendimiento y la divergencia genética, y no se presentó una curva tan pronunciada como la observada en los dos ambientes de Tamaulipas; para el modelo de esta curva de regresión no existieron diferencias estadísticas significativas. En esta figura, se aprecia que las cruzas sobresalientes tuvieron diferente grado de divergencia, ya que algunas estuvieron muy cercanas entre sí (T5xT4, T1xT6 y T5xT6), también se observaron cruzas con valores de divergencia altos que mostraron buenos rendimientos en este ambiente (TRN), destacaron cruzas donde participaron las líneas de Valles Altos en combinación con las de Tamaulipas, principalmente con las de la zona montañosa de Tamaulipas (líneas M3 y M4).

El comportamiento observado de las cruzas en estos tres ambientes (NT, CT y TRN) es que combinaciones de la línea T1 con las líneas de Valles Altos no son favorables ya que dieron bajos rendimientos de grano; estas combinaciones fueron las que generaron mayor divergencia genética, por ser divergentes geográficamente, pero al parecer poseen baja aptitud combinatoria específica, ya que esas mismas líneas pueden combinar bien con otras, en especial la línea T1 que en los ambientes de Tamaulipas fue sobresaliente al formar parte de las mejores cruzas.



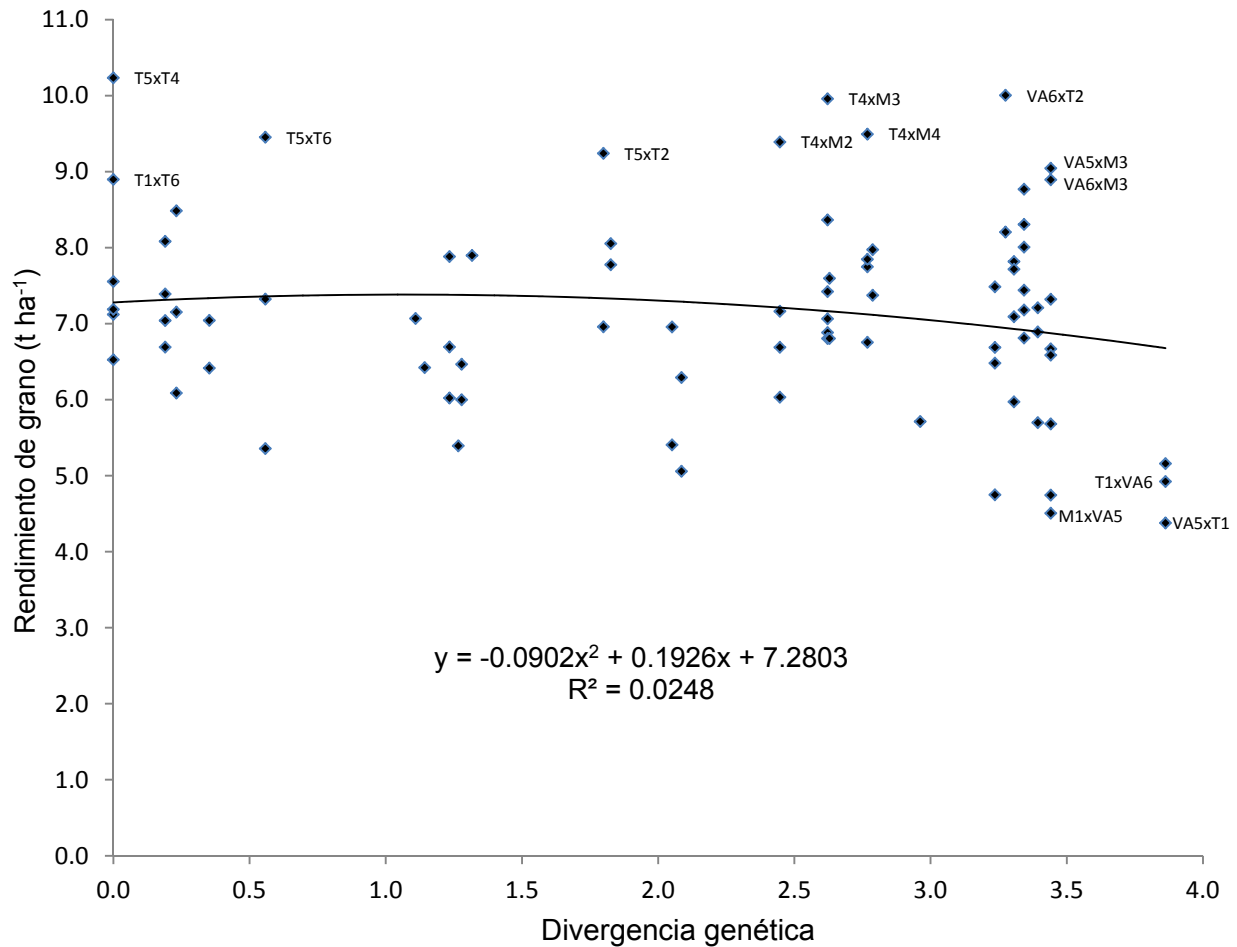


Figura 8. Distribución de las cruzas posibles entre líneas S<sub>3</sub> derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo con la divergencia genética existente entre cada craza, evaluadas en la zona de transición, Mixquiahuala, Hgo. 2010.

La craza T5xT4 fue la del rendimiento más alto en TRN, esta craza fue producto de dos líneas de poblaciones de una misma zona ecológica de Tamaulipas, en específico del municipio de Llera, zona del estado ampliamente reconocida por la variabilidad genética colectada y utilizada en el pasado que ha hecho aportaciones importantes al mejoramiento genético del maíz en México, de esta zona surgieron las variedades Llera I, Llera II y Llera III, que han sido utilizadas en buena parte del estado y que son muy reconocidas por los productores como materiales de buen rendimiento y de tallos fuertes.

En la Figura 8 se observa que las mejores cruzas coincidieron con dos líneas principalmente, T4 y T5, que como ya se mencionó provienen de la zona de la Huasteca, del municipio de Llera, Tam.; estas líneas participaron en la formación de las mejores cruzas de este ambiente, la línea T5 dio las mejores combinaciones con líneas tropicales y la T4 dio buenas combinaciones con diferentes líneas de la zona montañosa de Tamaulipas.

Sería conveniente seguir trabajando con las cruzas sobresalientes bajo este ambiente ya que se trata de nuevo germoplasma que compite bien con los mejores testigos del área igualándolos estadísticamente. Una ventaja que se les vio a las nuevas cruzas es que no presentaron problemas de enfermedades, como el carbón de la espiga (*Sphacelotheca reiliana*) que en los últimos años en esta zona ecológica del país ha atacado fuertemente a los híbridos comerciales que han mostrado alta susceptibilidad y fuertes infestaciones, con lo cual el rendimiento y la calidad de la cosecha se han visto mermados y castigados a la venta la contaminación de los granos ya que al trillar, el equipo colecta muchas espigas que se mezclan con el grano (Pérez *et al*, 2006).

Se recomienda seguir aumentando la endogamia de las líneas sobresalientes para que en generaciones más avanzadas se vuelvan a realizar las cruzas específicas entre las líneas sobresalientes en esta evaluación esperando lograr una mejor respuesta en el híbrido formado, además de que se pueden buscar otras combinaciones entre estas líneas con germoplasma local o algún programa de mejoramiento genético que exista para la zona, e incluso, si no existiera, buscar apoyos o convenios de trabajo de investigación con instituciones públicas ya sea de educación o investigación, para la

formación de germoplasma de alto rendimiento y adaptado a las condiciones agroclimáticas de la zona; sobre todo porque al igual que en muchos lugares del país, la venta de semillas para siembra está en manos de empresas transnacionales, y que por sus precios elevados muchas veces los pequeños productores no pueden tener acceso a ellas y continúan sembrando materiales de bajo potencial que muchas veces no se logran las cosechas con lo cual ponen en riesgo su estabilidad familiar.

#### **4.4.6 Valles Altos (VA), en Montecillo Texcoco, Estado de México.**

En este ambiente se tuvieron los más altos rendimientos en las 117 cruzas evaluadas, aproximadamente 45 cruzas mostraron en promedio rendimientos de grano  $\geq 10 \text{ t ha}^{-1}$ , de ellas se presentan en el Cuadro 23 las 18 más sobresalientes, con el rendimiento superior a  $10.5 \text{ t ha}^{-1}$ . Destacan las cruzas VA5xT4 con  $12.94 \text{ t ha}^{-1}$ , la línea VA5 fue derivada de la población mejorada “VS-Chapingo 3” de Valles Altos y la línea T4 es una línea derivada de la población C-3033 de Llera, Tam. (Huasteca Tamaulipeca), entre estas líneas de poblaciones alejadas geográficamente y posiblemente genéticamente se presentó una buena aptitud combinatoria específica.

Es de señalarse que de las doce líneas utilizadas en la formación del dialélico sólo la línea T2 (línea tropical derivada de la población C-3007 de Tula, Tam.) no sobresalió entre las combinaciones de mejor comportamiento en VA, aunque en los otros tres ambientes siempre estuvo en las mejores cruzas. La línea más sobresaliente en VA fue T4 (línea tropical derivada de la población C-3033 de la huasteca, en Llera, Tam.), la cual participó en las 12 cruzas de mayor rendimiento (Cuadro 23); otras que destacaron fueron las líneas generadas a partir de las poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas, las cuales desde la evaluación de las poblaciones nativas (Pecina *et al.*,

2011) presentaron buena adaptación y potencial de rendimiento en este ambiente. También en VA se tuvieron cruzas sobresalientes provenientes de germoplasma de los diferentes orígenes: Tropical por Tropical (TxT), Tropical por Montaña (TxM), Tropical por Valles Altos (TxVA) y Montaña por Valles Altos (MxVA) en las combinaciones directa y recíproca. En los componentes del rendimiento evaluados se obtuvieron valores iguales a los de los testigos, sólo algunas cruzas en algunas variables tuvieron valores mayores. Las mazorcas fueron largas, oscilando entre las cruzas desde 15.1 cm hasta 18.2 cm; en este caso, las mazorcas más largas las presentó la cruz M4xVA6. En este ambiente de VA se tuvieron mazorcas gruesas, con valores desde 4.4 hasta 5.5 cm de diámetro de mazorca, el valor más alto lo presentó la cruz VA5xVA6, y en otras cruzas donde participaron estas líneas también se tuvieron valores altos. El número de hileras varió desde 11.2 hasta 16.3; en las cruzas donde participaron las líneas de Valles Altos (VA) se tuvieron valores de 14 a 16 hileras (Cuadro 23). En forma general, las cruzas sobresalientes bajo el ambiente de VA tuvieron mazorcas pesadas, con excepción de la cruz T4xM2 que al igual que en el ambiente se transición presentó el peso de mazorca bajo, el cual se puede explicar porque la medición se hizo en mazorcas primarias que compartieron los asimilados formados por la planta con 80 % de mazorcas secundarias que aportaron 40 % del rendimiento total; en lo particular, en algunos híbridos se prefiere que las plantas presenten más de una mazorca por tallo, para lo cual esta cruz sería ideal para ser utilizada, ya que por poseer este carácter se ubicó entre las cinco cruzas de rendimiento alto en este ambiente.

Cuadro 23. Medias de rendimiento de grano y sus componentes y de variables fenológicas y morfológicas de cruza de líneas S<sub>3</sub> evaluadas en el Valles Altos, Montecillo, Estado de México 2010.

Cruza	RGr	LMz	DMz	NHil	PMz	PIG	IDg	PrG	DFM	DFF	APt	AMz	PoMz
	t ha <sup>-1</sup>	cm			g	Mg	%	mm	días		cm		
VA5xT4	12.94	16.7	4.9	14.9	194	336	<b>91</b>	<b>11.6</b>	82	84	287	176	0.61
VA5xVA6	12.64	16.7	<b>5.5</b>	16.3	<b>237</b>	390	88	<b>11.6</b>	75	78	268	135	0.50
T4xM4	12.42	17.1	4.7	12.7	178	357	90	10.9	80	84	276	159	0.58
T5xT4	12.11	16.8	4.5	13.6	178	358	90	10.2	82	84	270	160	0.59
T4xM2	12.01	15.1	4.6	13.3	139	310	87	10.1	85	87	276	173	0.63
M4xT1	11.90	15.9	4.9	11.6	197	<b>463</b>	87	10.9	77	78	275	159	0.58
M2xT4	11.84	16.3	4.4	12.7	164	309	90	9.5	78	79	276	158	0.57
T3xT4	11.81	15.7	4.7	14.3	179	346	90	10.9	85	86	274	156	0.57
T4xT1	11.79	17.4	4.6	12.8	168	327	88	10.2	82	85	266	161	0.61
VA5xM3	11.33	16.5	4.9	15.2	215	342	85	8.9	76	76	279	162	0.58
T4xM1	11.32	16.7	4.7	13.5	174	319	89	10.5	77	79	260	146	0.56
VA5xM4	11.28	16.5	5.1	14.4	219	406	88	11.1	76	78	279	158	0.56
VA6xT4	11.27	17.7	4.9	13.7	203	347	88	10.7	78	81	279	157	0.56
M4xM3	11.20	17.7	4.8	11.2	191	425	86	9.2	75	76	273	155	0.57
T4xM3	11.10	17.7	4.6	12.7	191	343	88	9.9	82	83	282	166	0.59
T5xM3	11.09	17.1	4.8	13.5	194	362	84	8.9	76	78	279	163	0.58
M3xM2	11.06	16.4	4.5	12.8	164	292	86	9.6	76	77	269	153	0.57
M4xT4	11.02	16.2	4.6	11.9	176	408	89	10.3	84	86	287	172	0.60
T3xVA6	10.96	15.9	5.1	14.7	199	348	88	11.4	79	83	284	160	0.56
M4xVA6	10.92	<b>18.2</b>	5.0	13.9	215	395	88	10.6	79	81	267	136	0.51
T6xM1	10.80	15.5	5.1	13.9	183	330	85	9.8	82	84	262	170	0.65
M3xVA5	10.78	15.9	5.1	15.1	217	388	86	10.0	73	74	263	138	0.53
T1xT4	10.66	16.3	4.6	13.2	165	343	87	10.2	<b>86</b>	<b>88</b>	276	167	0.60
T3xM1	10.55	15.3	5.3	16.3	198	378	88	10.7	77	79	268	155	0.58
T5xM2	10.54	16.7	4.7	13.5	183	339	88	10.8	74	75	254	141	0.55
T5xVA5	10.51	15.6	5.0	15.6	194	347	89	11.1	73	75	270	144	0.61
<b>Medias cruza</b>	<b>9.48</b>	<b>15.9</b>	<b>4.9</b>	<b>14.1</b>	<b>182</b>	<b>348</b>	<b>87</b>	<b>10.3</b>	<b>79</b>	<b>81</b>	<b>267</b>	<b>153</b>	<b>0.57</b>
Testigos													
H-SAN JUAN	12.54	16.9	5.2	15.3	219	366	86	10.1	84	88	270	155	0.57
ASP-722	10.37	15.5	5.2	15.3	207	359	88	12.0	71	73	250	140	0.56
<b>Media testigos</b>	<b>11.46</b>	<b>16.2</b>	<b>5.2</b>	<b>15.3</b>	<b>213</b>	<b>362</b>	<b>87</b>	<b>11.0</b>	<b>78</b>	<b>81</b>	<b>260</b>	<b>148</b>	<b>0.57</b>
DMS	3.36	2.5	0.4	2.3	46	98	3	0.21	5	5	33	31	0.10

RG = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); LMz = longitud de mazorca (cm); DMz = diámetro de mazorca (cm); NHM = número de hileras por mazorca; PMz = peso de mazorca (g); PIG = peso individual de grano (mg); IDg = índice de desgrane (%); PrG = profundidad de grano (cm). DFM = días a floración masculina; DFF = días a floración femenina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; PoMz = posición de mazorca.

Las cruzas sobresalientes presentaron valores desde 292 hasta de 463 mg de PIG, estadísticamente igual al de los testigos. La cruz M4xT1 tuvo 463 mg, que representa 26.5 % mayor que el PIG del mejor testigo; el valor más bajo lo presentó la cruz M3xM2 con 292 mg; sin embargo, se trata de un grano de tamaño grande comparado con lo que reporta López *et al.* (2000) para granos grandes de su estudio. La relación grano-olote (IDg) fue aceptable ya que la mayoría de las cruzas evaluadas mostraron valores desde 84 hasta 91 %, lo que indicó que son materiales con olotes delgados; valores similares obtuvo Pecina *et al.* (2011) en la evaluación de las poblaciones que dieron origen a las líneas utilizadas en las cruzas evaluadas, el comportamiento observado indica que existe variación en la relación grano-olote entre las cruzas (Hernández y Esquivel, 2004). La profundidad de grano en la mayoría de las cruzas fue  $\geq 10.0$  mm; es decir, se trata de granos grandes que se reflejaron en que coinciden con las cruzas de mayor rendimiento de grano (Cuadro 23).

Las cruzas sobresalientes bajo el ambiente de VA se pueden agrupar como precoces e intermedias porque su floración fluctuó entre 73 y 86 DFM y de 74 a 88 DFF (Cuadro 23); estas floraciones son muy aceptables para este ambiente ya que para enfrentar el cambio climático en los últimos años (incremento en la temperatura, temporales erráticos, heladas tempranas, etc.) se busca tener materiales precoces con alto rendimiento, y estas nuevas cruzas integran tales características lo cual las hace atractivas para su aprovechamiento. La altura de planta y de mazorca en las cruzas fue estadísticamente igual a la de los testigos, a pesar de ser plantas altas no se tuvieron problemas de acame de tallo ni de raíz. Cabe señalar que en este trabajo se observó el mayor valor de posición de la mazorca en la planta, comparado con el de los ambientes

de Tamaulipas que estuvieron por debajo del 50 % y en transición se aumentó a 50 y 55 % en promedio, pero en Valles Altos se tuvieron valores entre 55 y 60 %, llama la atención que se incrementa conforme se incrementa la altitud y se reduce la temperatura en los ambientes.

En VA se tuvieron los más altos rendimientos, no encontrándose una relación clara entre el rendimiento de grano y el origen de las poblaciones ya que la tendencia obtenida con la línea de regresión fue casi horizontal (Figura 9), sólo se observó un ligero incremento a medida que se presentó una mayor divergencia genética, ya que en este ambiente las cruzas con valores de distancia euclidiana altos también presentaron buenos rendimientos, tendencia que no se observó en los otros tres ambientes.

En los Valles Altos las cruzas se clasificaron tres grupos de alto rendimiento: entre cruzas de orígenes comunes como VA5xVA6, que dio entre líneas de Valles Altos y era de esperarse ya que están en su ambiente de selección y además son líneas de alto rendimiento. Al respecto Eagles y Hardacre (1990) mencionan en su trabajo que el germoplasma del Altiplano Mexicano debe ser un recurso valioso para los programas de selección, tanto para México como para otras zonas del mundo que tengan regiones frías y templadas donde se produzca maíz. Otra craza de orígenes comunes fue T5xT4 constituida por líneas de la zona de la huasteca de Tamaulipas, craza que ya había sido sobresaliente en el ambiente de Transición con el más alto rendimiento de grano. En otro grupo se tuvieron las cruzas sobresalientes entre líneas de diferentes orígenes ecológicos con valores de divergencia gené alta, se observaron buenas cruzas de líneas tropicales con líneas de las poblaciones de la zona montañosa de Tamaulipas, pero la craza de más alto rendimiento en este ambiente fue VA5xT4 (de 12.94 t ha<sup>-1</sup>) la

cual está formada por una línea de Valles Altos con una de la Huasteca de Tamaulipas (Figura 9), las dos líneas mostraron buena aptitud combinatoria ya que participaron en las cruzas con los más altos rendimientos en el ambiente de Valles Altos, por lo cual se deben seguir trabajando para aprovechar al máximo el potencial genético que poseen.

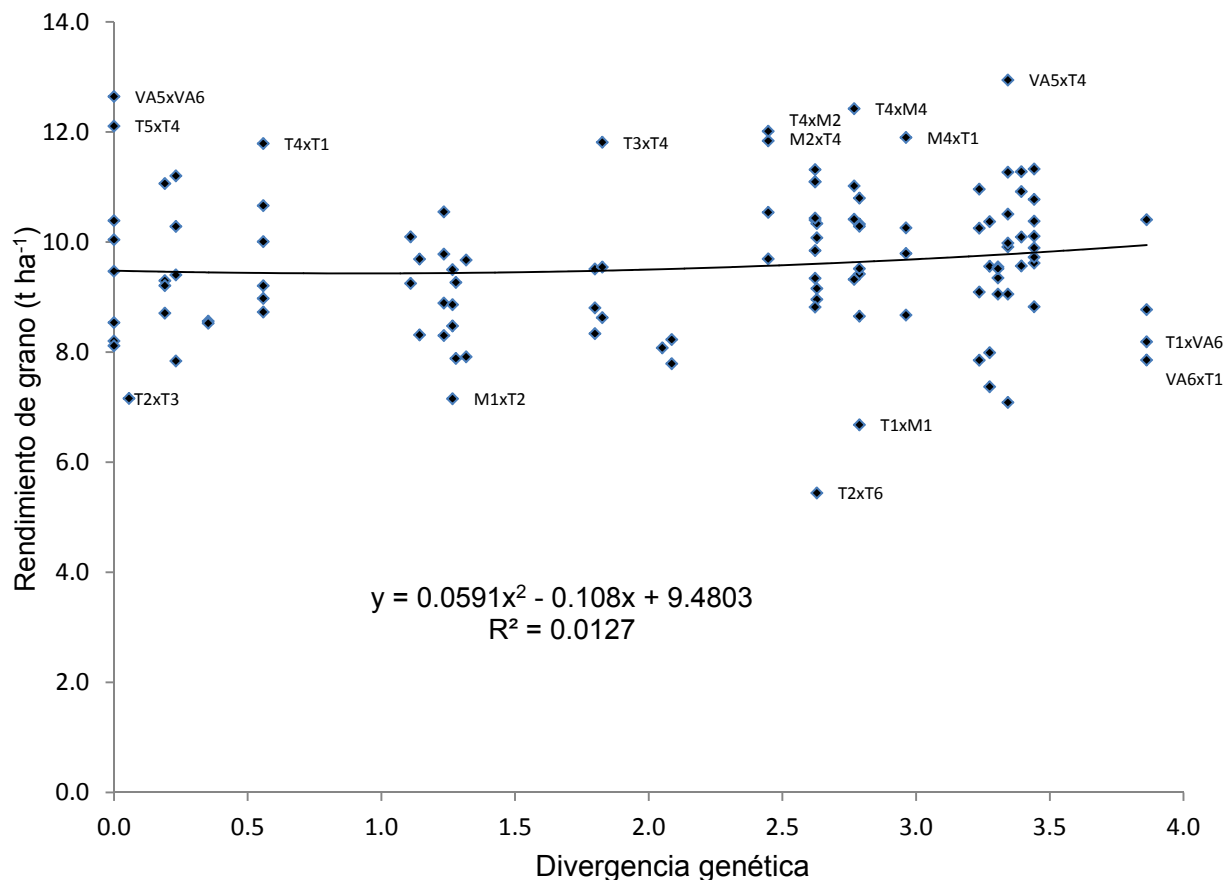


Figura 9. Distribución de las cruzas entre líneas  $S_3$  derivadas de poblaciones de diverso origen ecológico de acuerdo con la divergencia genética existente entre cada craza, evaluada en Valles Altos, Montecillo, Estado de México 2010.

En general, las cruzas sobresalientes en VA tuvieron mazorcas largas con alto número de granos por hilera, olotes delgados, buen rendimiento de grano y alto índice de desgrane, lo que pone de manifiesto que las líneas derivadas de las poblaciones nativas de Tamaulipas han aportado diversidad genética y caracteres agronómicos



deseables y que deben ser aprovechados en la mejora de la producción de este grano para diversos ambientes del país y posiblemente hasta del mundo.

Una utilidad inmediata de las cruzas sobresalientes en los Valles Altos, podría ser seguir trabajando con las cruzas al nivel de endogamia actual, buscando que el comportamiento que mostraron en esta evaluación sea validado y que en un futuro inmediato pudieran ser liberadas como híbridos de crusa simple, por el alto rendimiento y demás atributos que poseen; de igual manera, algunas cruzas, principalmente las tropicales presentaron plantas altas con alto número de hojas, tallos gruesos y fuertes, que tienen alto potencial para la producción de forraje, recomendación que en algún momento se hizo para el aprovechamiento de las poblaciones nativas (Pecina-Martínez *et al.*, 2009).

Se ha reconocido que líneas endogámicas derivadas de germoplasma tropical no sólo son una fuente útil para aumentar la diversidad genética, sino también que al cruzarse con materiales de áreas templadas pueden producir híbridos de alto rendimiento y caracteres agronómicos aceptables (Montenegro *et al.*, 2002; Carrera y Cervantes, 2006), lo cual en este trabajo se está reafirmando con los resultados obtenidos en el ambiente de Valles Altos. Además, Hallauer y Malithano (1976) mencionan que el germoplasma exótico debe recibir mayor atención, sobre todo cuando muestra alto potencial para ser utilizado en programas de mejoramiento genético.

Se ha documentado que el cruzamiento de materiales locales con exóticos es útil en la formación de híbridos, debido a la heterosis que se genera por la alta divergencia genética (Ghaderi *et al.*, 1984), por lo que es conveniente continuar generando

conocimientos sobre las respuestas heteróticas del germoplasma tropical x templado, sobre todo porque en los programas de fitomejoramiento de maíz en los trópicos para el desarrollo de híbridos sólo se ha usado una parte de la diversidad genética y de las combinaciones heteróticas disponibles en el germoplasma tropical, de modo que aún hay razas y un sinnúmero de poblaciones que deben ser estudiadas, y no sólo basar sus programas en los modelos heteróticos y combinaciones ya conocidas (Paterniani, 1990), ya que ante las actuales condiciones de cambio climático, esas combinaciones se han visto superadas y en muchas ocasiones no cumplen con los requerimientos de los productores. De lo anterior radica gran parte de la importancia de continuar evaluando el potencial de las poblaciones nativas e integrarlas a programas de mejoramiento genético para hacer un aprovechamiento integral de las cualidades que poseen esas poblaciones y las progenies que de ellas se deriven bajo el sistema de mejoramiento que elija el fitomejorador.

#### **4.5 Conclusiones**

Existe variabilidad y potencial genético en las líneas evaluadas, ya que se encontraron cruzas de alto rendimiento, precocidad y sanidad en los cuatro ambientes de evaluación y otras con especificidad para alguno de ellos.

Las líneas que formaron las mejores cruzas pueden ser aprovechadas en el futuro inmediato formando híbridos de cruzas simples tanto para el estado de Tamaulipas como para zonas de Transición y Valles Altos.

Para Tamaulipas las cruzas sobresalientes fueron entre líneas tropicales, destacando para el centro (CT) T1xT2 y T5xT6, y para el norte (NT) T2xT5 y T1xT2, además de la craza VA5xT5 que también mostró buenos atributos.

Para los ambientes de Transición y Valles Altos destacaron cruzas entre líneas tropicales, tropicales por montaña de Tamaulipas y cruzas entre tropicales por Valles Altos, en ambos sentidos directo o recíproco.

En Tamaulipas las líneas superiores fueron T1, T2 y T5, ya que participaron en las mejores combinaciones, para transición y Valles Altos destacaron las líneas T4, T5, M4 y VA5 con las mejores combinaciones, por lo que se tendría que seguir trabajando con estas líneas para que en un futuro inmediato se tengan nuevas generaciones de híbridos que apoyen a la producción de maíz en las diferentes zonas productoras del país.

#### **4.6 Bibliografía**

- Aitken, Y. 1977. Conceptos agronómicos y producción foliar. *Agrociencia* 28: 115-143.
- Carrera V, J. A., T. Cervantes S. 2006. Respuesta a densidad de población de cruzas de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 331-338.
- De la Cruz L., L., J. Ron P., J. L. Rodríguez D., J. J. Sánchez G., M. M. Morales R., M. Chuela B., S. A. Hurtado P., S. Mena M. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:1-10.
- Duvick, D. 1996. Plant breeding and evolutionary concept. *Crop Sci.* 36:539-548.
- Eagles, H. A., A. K. Hardacre. 1990. Genetic changes from introgression of highland Mexican germplasm into a Corn Belt Dent population of maize. *T. A. G.* 79:543-549.
- Falconer, D. S. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics.* 3th ed. Longman, Inc., New York. 499 p.
- Gómez V., A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., A. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. INIFAP. Toluca, México. Publicación Especial No 16. 102 p.
- Ghaderi, A., M. W. Adams, A. M. Nassib. 1984. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry bean and faba bean. *Crop Sci.* 24:37-42.
- Gutiérrez R., E., A. Palomo G., A. Espinoza B., E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 271-277.
- Hallauer, A. R., D. Malithano. 1976. Evaluation of maize varieties for their potential as breeding populations. *Euphytica* 25: 117-127.
- Hernández C., J. M., G. Esquivel E. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:27-31.
- López S., J. A., C. A. Reyes M., S. Castro N., F. Briones E. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(No. Especial 1): 23-26.
- López S., J. A., J. Ortíz C., M. C. Mendoza C. 2000. Componentes del crecimiento de grano de líneas de maíz de peso contrastante de grano. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 141-152.

- Malik, H. N., S. Malik, S. R. Chughtai, H. I. Javed. 2004. Estimates of heterosis among temperate, subtropical and tropical maize germplasm. *Asian Journal of Plant Sciences* 3: 6-10.
- Moll, R. H., W. S. Salhuana, H. F. Robinson. 1962. Heterosis and Genetic Diversity in Variety Crosses of Maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Montenegro T., H., F. Rincón S., N. A. Ruiz T., H. de León C., G. Castañón N. 2002. Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:135-142.
- Ortega P., R. A. y J. Barajas V. 1994. Variedades locales de maíz en el centro de Tamaulipas: Pasado y Presente. *En: P. Ramírez V., 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. Chapingo, México. pp. 343.*
- Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. *Crit. Rev. Plant Sci.* 9:125-154.
- Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Pecina-Martínez, J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez, J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* 34:85-92.
- Pérez C., J. P., M. Bobadilla M., R. Garza G. 2006. Manejo tecnológico en maíz de riego en el valle del Mezquital, Hgo. Folleto para Productores No. 11, INIFAP. 17 p.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D. F. 460 p.
- Reyes M., C. A., M. A. Cantú A. 2006. Maíz. *In: 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., A. J. Huerta., C. Trejo L., F. Briones E. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton* 75:31-40.
- SAS Institute Inc. 1996. SAS User's Guide. Statistics. Release 6.12 ed. Cary, NC, USA. 1028 p.
- Serratos H., J. A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. *Greenpeace. México. 36 p.*
- Vacaro, E., J. F. Barbosa N., D Girardi P., C. Natalino N., L. D. Haa C. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 67-72.
- Vasal, S. K., G. Srinivasan, F. González C., D. L. Beck, J. Crossa. 1993. Heterosis and combining ability of CIMMYT's quality protein maize germplasm: II. Subtropical. *Crop Sci.* 33: 51- 57.

## CAPÍTULO V.DISCUSIÓN GENERAL

La evaluación de genotipos a través de ambientes contrastantes, es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevas variedades e híbridos a los productores de una región; este mismo procedimiento ha sido uno de los principales objetivos en los Programas de Mejoramiento Genético tanto de las empresas que se dedican a la venta de germoplasma como de las instituciones estatales. La interacción Genotipo-Ambiente sucede cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con los ambientes en donde se realizan las evaluaciones.

Esta interacción merece gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción, por lo que es preciso integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de los híbridos evaluados a través de distintos ambientes. La adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para aprovechar los estímulos del ambiente, en cuanto que la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para mostrar un comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental (Márquez, 1991).

Con el presente estudio se evidencia que 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, en conjunto con al rendimiento de grano que ha sido el criterio de selección más utilizado (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011).

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, 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 que se puede contribuir con esos genes al mejoramiento de germoplasma de maíz de otras áreas. Igualmente, permite 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.

Con lo anteriormente indicado y la problemática que presentan las poblaciones nativas 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 de 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 aquéllos que restringen la adaptación de las poblaciones a condiciones ambientales distintas a las de su origen (Turrent *et al.*, 2012).

Con base en los trabajos de Pecina *et al.* (2009) y Pecina *et al.* (2011), se considera que las poblaciones nativas de maíz estudiadas presentaron alta diversidad genética, lo cual sugiere que en el estado de Tamaulipas las poblaciones nativas, de recientemente recolección tienen alto potencial para ser aprovechadas localmente y en otros

ambientes. Por tanto, se debe procurar la preservación y uso racional de la diversidad genética de maíz encontrada en dicha región. Se ha reconocido el potencial de rendimiento de las poblaciones nativas de Tamaulipas, éste no se ha aprovechado plenamente, debido a la falta de continuidad en el trabajo de investigación, específicamente en el mejoramiento genético de maíz que se ha realizado en la entidad, sobre todo en los últimos 30 años (Reyes y Cantú, 2006).

Por lo anterior y por seguir explorando en las poblaciones nativas de Tamaulipas, en el año del 2006, pensando en el potencial que tuvieron y su posible aprovechamiento, se planteó iniciar un programa de mejoramiento genético con estas poblaciones, el cual ha abordado diferentes aspectos:

En un primer paso se comenzó con la derivación de líneas por medio de autofecundaciones obteniéndose las  $S_1$  en 2006, con un nivel de endogamia de 50%, y en el año del 2007 se formaron mestizos con las mejores líneas  $S_1$ , de aproximadamente 200 que se formaron sólo se utilizaron 35 que tenían mejor comportamiento per se, la base de la selección de esas líneas fue que el peso de grano fuera  $\geq 150$  g; al final en la evaluación entre ambientes sólo se utilizaron 18 mestizos que fueron los que presentaron mejor y mayor cantidad de semilla. El objetivo del trabajo fue evaluar y seleccionar a través de mestizos las mejores líneas  $S_1$  de maíz para continuar con su proceso de endogamia. En 2008, en tres ambientes contrastantes (dos en Tamaulipas y en los Valles Altos Centrales de México) se evaluaron los 18 mestizos formados con líneas  $S_1$  derivadas de poblaciones nativas de cuatro zonas ecológicas de Tamaulipas y un probador de Valles Altos. Se tuvieron mestizos que presentaron rendimiento y componentes del rendimiento altos y

características agronómicas favorables, algunos con mejor comportamiento en el Norte de Tamaulipas, principalmente los formados con líneas tropicales de los grupos 1 y 2 (Padilla y Tula, Tamaulipas, respectivamente) que provienen de climas cálidos y secos; caso contrario, en Valles Altos éstos presentaron menor respuesta, comparados con los mestizos de los grupos 3 y 4 (Huasteca Tamaulipeca y Montaña de Tamaulipas, respectivamente).

Del grupo 1 destacó el mestizo de la línea I-C3001-2915-2 con rendimiento alto en los ambientes Centro y Norte de Tamaulipas (2.4 y 5.8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). En Valles Altos sobresalieron mestizos del grupo 3 (provenientes de poblaciones de la Huasteca Tamaulipeca, zona con clima cálido húmedo) que presentaron rendimientos de 7.4 a 8.5 t ha<sup>-1</sup>; y del grupo 4, el mestizo de la línea IV-C4031-2939-5(C) que rindió 8.8 t ha<sup>-1</sup> (Pecina et al., 2012). Con los resultados obtenidos en este trabajo se demostró que existe potencial en las líneas evaluadas, ya que hubo mestizos con rendimiento alto y precocidad, indicando buena aptitud combinatoria de las líneas derivadas de las poblaciones nativas de Tamaulipas.

Durante el periodo 2006-2009, se continuó con el proceso de endogamia formando progenies autofecundadas hasta S<sub>3</sub>, las cuales en 2010 en Montecillo, Estado de México, se evaluaron tanto la versión original y tres progenies derivadas por autofecundación (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>) de cinco poblaciones nativas, representativas de diferentes zonas ecológicas del estado de Tamaulipas (tres tropicales y dos de montaña) y uno de Valles Altos. Con esta evaluación se encontró que todos los genotipos mostraron cambios significativos, los más evidentes se encontraron en los derivados de las tres poblaciones tropicales, ya que sus líneas redujeron los días a



floración desde 8 hasta 20 días, lo cual fue favorable ya que se logró en poco tiempo comparado con otros métodos de mejoramiento que señalan de 8 a 12 ciclos de selección para lograr cambios significativos en las poblaciones (Pérez-Colmenares *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2002); Pérez-Colmenares *et al.*, 2007). En las poblaciones de montaña y de Valles Altos la reducción en las floraciones fue significativamente menor (1 y 6 días). Esta expresión de precocidad se pudo explicar por la reducción en el número total de hojas por planta, ya que dos de las poblaciones tropicales presentaron hasta cinco hojas menos comparadas con la población original; y una población tropical no mostró cambios significativos.

En las poblaciones tropicales C-3001 y C-3012 los cambios mostrados fueron más altos que en las otras poblaciones estudiadas, infiriéndose que fueron debidos a una mejor adaptación a las condiciones de Valles Altos; estas poblaciones en sus progenies tuvieron plantas vigorosas, precoces, tasas de llenado de grano más altas y mayor producción de grano.

Otra evaluación para conocer el potencial de las progenies fue formar y evaluarlas cruza posibles de líneas  $S_3$  derivadas de poblaciones de maíz nativas de Tamaulipas, con el objetivo de que en un futuro se pudieran utilizar en la formación de híbridos o variedades sintéticas. Se utilizaron 12 líneas: seis tropicales, cuatro de la zona montañosa de Tamaulipas y dos de Valles Altos. Durante 2010 se evaluaron las cruza posibles y sus progenitores en cuatro ambientes contrastantes en altitud, latitud y temperatura, Norte de Tamaulipas (Río Bravo, Tamaulipas), Centro de Tamaulipas (Güémez, Tamaulipas), Transición (Mixquiahuala, Hidalgo) y Valles Altos (Montecillo, Estado de México).

En el Norte y Centro de Tamaulipas, sobresalieron cruzas TxT principalmente. En Transición sobresalieron las cruzas TxT y TxM con rendimientos de 9.2 a 10.2 t ha<sup>-1</sup>. En Valles Altos todas las cruzas mostraron la mejor expresión, comparadas con los demás ambientes, encontrándose algunas con alto rendimiento en todos los tipos de cruzas (TxT, TxM, TxVA y MxVA, directas y recíprocas) con rendimientos de las mejores desde 10.0 hasta 12.9 t ha<sup>-1</sup>.

Algunas cruzas presentaron buen comportamiento entre ambientes, una de ellas fue la T5xT4 que fue sobresaliente en todos los ambientes, otras como T1xT2 fue la mejor en CT y mostró buen comportamiento en NT, pero en los otros ambientes de mayor altitud no sobresalió; hubo otras muy específicas como VA5xT4 que mostró el rendimiento más alto en VA con 12.94 t ha<sup>-1</sup>, pero en los otros ambientes no estuvo entre las mejores. Existieron combinaciones de TxT con buena adaptación a los VA, pero para las condiciones del trópico seco (Tamaulipas) las cruzas de MxVA mostraron bajos rendimientos, atribuibles a su desadaptación. Esto da idea de que es más fácil adaptar germoplasma tropical a las condiciones de VA, que germoplasma de VA a las condiciones del Trópico.

En el Cuadro 24 se presenta el rendimiento obtenido en cada craza y el comportamiento de cada línea en el ambiente de Valles Altos; con estos datos se realizó el cálculo de heterosis con base en el progenitor medio (Cuadro 25), estas cruzas ya fueron analizadas en cada uno de los ambientes de evaluación y se observaron algunas sobresalientes, reflejadas en un mayor crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor de las plantas; en este caso las cruzas sobresalientes presentaron alta expresión heterótica (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Cuadro 24. Rendimiento de grano de cruzas directas y recíprocas y líneas S<sub>3</sub> de diferentes orígenes (Tropical, Montaña y Valles Altos) evaluadas en Montecillo, Estado de México 2010.

línea	T1	T2	T3	T4	T5	T6	M1	M2	M3	M4	VA5	VA6
T1	7769	8079	8230	10663	8731	8115	6680	9156	10286	8675	-	8190
T2	8960	3697	7159	9512	-	5441	8863	9692	9500	7916	7372	9560
T3	7790	-	8070	11814	8629	-	10548	10096	8301	9268	10252	10962
T4	11790	8805		5463	9472	9205	11316	12014	11095	12423	-	9912
T5	8978	8337	9546	12107	9423	10008	8821	10539	11095	10414	10508	7088
T6	8537	-	-	-	-	4556	10798	-		10257	-	-
M1	10327	7154	9781	10400	9847	8652	7232	9298	8202	7839	9619	10380
M2	10078	8313	9249	11840	9693	10335	9210	6929	8709	8563	9350	9055
M3	9420	8476	8892	10436	9342	9517	10043	11064	3795	9402	10776	8826
M4	11902	9675	7885	11020	9324	9794	10283	8527	11202	7826	10093	10919
VA5	8774	10373	9093	12944	9055	-	10107	9549	11327	11278	7538	12644
VA6	7858	7991	7855	11269	9982	10405	9727	9516	9895	9565	10390	7935

En el Cuadro 25, se observan los valores de heterosis en las diferentes cruzas, existieron valores bajos e incluso negativos en algunas combinaciones, y en otras valores altos como en la craza T2xM3 que presentó el valor de heterosis más alto (154 %), pero no el más alto rendimiento ya que incluso no se incluyó en el Cuadro 23 porque tuvo un rendimiento menor a 10 t ha<sup>-1</sup>. En las cinco cruzas con el mayor rendimiento de grano en este ambiente ( $\geq 12$  t ha<sup>-1</sup>) se presentaron valores de heterosis entre 63 y 99 %. La variación encontrada en esta investigación es comparable con lo obtenido por Malik *et al.* (2004) al evaluar cruzas entre germoplasma templado, tropical y subtropical, al haber obtenido valores entre 18.5 y 38.3% de heterosis. Otros investigadores mencionan que en mejoramiento genético de maíz el nivel deseable para el buen aprovechamiento de la heterosis en una craza es cuando se obtienen valores al menos de 20 % (Gutiérrez *et al.*, 2002; De la Cruz *et al.*, 2003).

Cuadro 25. Heterosis (%) calculada sobre el progenitor medio de cruza entre líneas S<sub>3</sub> de diferentes orígenes (Tropical, Montaña y Valles Altos) evaluadas en Montecillo, Estado de México 2010.

línea	T1	T2	T3	T4	T5	T6	M1	M2	M3	M4	VA5	VA6
<b>T1</b>	0	41	4	61	2	32	-11	25	78	11	-	4
<b>T2</b>	56	0	22	108	-	32	62	82	154	37	31	64
<b>T3</b>	-2	-	0	75	-1	-	38	35	40	17	31	37
<b>T4</b>	78	92	-	0	27	84	78	94	140	87	-	48
<b>T5</b>	4	27	9	63	0	43	6	29	68	21	24	-18
<b>T6</b>	39	-	-	-	-	0	83	-	-	66	-	-
<b>M1</b>	38	31	28	64	18	47	0	31	49	4	30	37
<b>M2</b>	37	56	23	91	19	80	30	0	62	16	29	22
<b>M3</b>	63	126	50	125	41	128	82	106	0	62	90	50
<b>M4</b>	53	69	0	66	9	59	37	16	93	0	32	39
<b>VA5</b>	15	85	17	99	7	-	37	32	100	47	0	63
<b>VA6</b>	0	37	-2	68	15	67	28	28	69	21	34	0

El valor de un genotipo depende de su potencial per se y de su capacidad de combinarse; de las líneas S<sub>3</sub> utilizadas en las cruza nueve de ellas presentaron rendimientos superiores a 5.0 t ha<sup>-1</sup>, sólo T2, T6 y M3 presentaron valores inferiores. El comportamiento alto per se de estas líneas es atribuible a los criterios de selección que se han utilizado, donde uno de ellos ha sido el que presenten alto rendimiento de grano y con los resultados se avala que la selección sí ha funcionado. La evaluación de germoplasma es un aspecto decisivo en programas de mejoramiento genético de maíz, ya que dicha evaluación permite a los mejoradores concentrar sus esfuerzos sólo en las poblaciones que tienen potencial para producir progenies superiores (Vacaro *et al.*, 2002).

Con los resultado obtenidos en esta investigación se pone de manifiesto el potencial de rendimiento que tienen algunas poblaciones nativas de Tamaulipas y que es factible utilizarse en programas de fitomejoramiento, ya que a esta actividad, al menos para Tamaulipas, le ha falta de continuidad sobre todo en los últimos 30 años (Reyes y

Cantú, 2006). Por eso es necesario retomar los estudios sobre este germoplasma para completar la exploración y colecta de la variabilidad genética del Estado y aprovechar y conservar la ya existente, y con ella generar tecnología para México, demostrando que este germoplasma ha mostrado adaptación a nuevos ambientes, lo cual le permitirá generar nuevas fuentes de germoplasma para ser utilizadas en programas de mejoramiento e incluso crear nuevos programas, sobre todo, ante los nuevos retos del Cambio Climático Global (Pecina *et al.*, 2009; Pecina *et al.*, 2011; Castro-Nava *et al.*, 2011).

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES

Al partir de poblaciones genotípicamente heterogéneas, se tuvo la posibilidad de adaptarlas a un ambiente, y al estar sujetas a diferentes criterios de selección les permitió mostrar una respuesta diferencial a los diferentes tipos de ambientes donde fueron evaluadas.

Con la evaluación de las poblaciones originales y sus progenies se determinaron cambios fenológicos (floraciones), morfológicos (menos hojas por planta, mayor longitud de entrenudos, reducción de la altura de la planta, etc.) y de componentes del rendimiento de grano importantes (algunas con aumentos en su producción por mazorca, mazorcas largas y gruesas, con mayor peso individual de grano) en todas las poblaciones estudiadas, teniendo en las progenies  $S_3$ , líneas uniformes y con buen potencial para ser usadas en programas de fitomejoramiento o como híbridos comerciales

Por el potencial que han expresado estas poblaciones y las líneas que de ellas fueron generadas, se debe procurar la preservación y uso racional de la diversidad genética encontrada en Tamaulipas y evitar la introducción de material transgénico, ya que por el intercambio dinámico de material genético que se da por los agricultores sería muy fácil y rápido contaminar las poblaciones nativas existentes.

## CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFIA DE INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL

- Acquaah, G. 2007. Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell Publishing. Oxford, UK. 569 p.
- Arrellano V., J. L. 1983. Avance generacional. *En*: Resúmenes de las ponencias sobre metodologías de investigación en maíz. SARH. INIA. México, D. F. pp. 17-21.
- Beck L. D., S. K. Vasal, J. Crossa. 1991. Heterosis and combining ability among subtropical and temperate intermediate-maturity maize germoplasm. *Crop Sci.* 31:68-73.
- Bernardo, R. 2001. Breeding potential of intra- and interheterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41:68-71.
- Betran, F. J., J. M. Ribaut, D. Beck, D. González L. 2003. Genetic diversity, specific combining ability and heterosis in tropical maize under stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 43:797-806.
- Brewbaker, J. L. 1974. Continuous genetic conversions and breeding of corn in a neutral environment. *In*: Proc. 29th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf. Washington, DC, ASTA. pp. 118-133.
- Burow, M. D., J. G. Coors. 1994. DIALLEL: A Microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agronomy J.* 86:154-158.
- Carvalho, M., J. Teixeira, I. Abreu, N. Sousa, T. Marqués, M. Vieiria. 2008. Evaluation of the maize (*Zea mays* L.) diversity on the Archipiélago of Madeira. *Genet. Res. Crop Evol.* 55:221-233.
- 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.
- Castro-Nava, S., V. H. Ramos-Ortiz, C. A. Reyes-Méndez, F. Briones-Encinia, J. A. López-Santillán. 2011. Preliminary field screening of maize landrace germplasm from Northeastern Mexico under high temperatures. *Maydica* 56 (4):77-82.
- Conde, C., R. Ferrer, S. Orozco. 2006. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmosfera* 19(3): 181-194.
- De la Cruz, L. E., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G., S. Rodríguez H. 2003. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 279-284.
- 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, R. P. Cantrell. 1996. Maize in the third world. CIMMYT Westview Press. 268 p.
- Eberhart, S. A., W. Salhuana, R. Sevilla, S. Taba. 1995. Principles for tropical maize breeding. *Maydica* 40:339-355.

- Efron, Y. 1985. Use of temperate and tropical germplasm for maize breeding in the tropical area of Africa. *In*: A. Brandolini, F. Salamani (Eds.). Breeding Strategies for Maize Production Improvement in the Tropics. Istituto Agronomico per L'Oltremare. Rome, FAO, Florence, Italy. pp. 105-131.
- Esquinas, J. T. 1982. Los recursos fitogenéticos una inversión segura para el futuro. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (F.A.O.)- I.N.I.A. Madrid. p. 1-44.
- Fan, X. M., J. Tan, H. M. Chen, J. Y. Yang. 2003. Heterotic grouping for tropical and temperature maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica* 48:251-257.
- Font Quer, P. 1953. Diccionario de Botánica. Ed. Labor, S. A. Barcelona, España.
- Fritcher M., M. 1997. El maíz en el contexto internacional. *En*: G. Torres S., M. Morales I. (Eds). Maíz tortilla. Políticas y alternativas. PUAL. UNAM. 240.
- Gómez V., A. J., M. A. Ávila P., H. Ángeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., A. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. INIFAP. Toluca México. Publicación Especial No 16. 102 p.
- González-Chávez, H., A. Macías-Macías. 2007. Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. *Desacatos* 12:47-78.
- Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: Status, prospects and remedies. *Io. St. J. Res.* 59:497-527.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez del R., E., A. Palomo G., A. Espinoza B., E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:271-277.
- Hallauer, A. R. 1990. Germplasm sources and breeding strategies for line development in the 1990s. *In Proc. 45th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., Chicago, IL, USA, ASTA.* pp. 64-79.
- Hallauer, A. R. 2000. Quantitative genetics and breeding methods. *In*: A. Gallais (ed). Biometrics in Plant Breeding. Eucarpia. Paris. pp. 127-138.
- Hallauer, A. R., W. A. Russell, K. R. Lamkey. 1988. Corn breeding. *In*: G. F. Sprague, J. W. Dudley (Eds.). Corn and Corn Improvement. A. S. A. Madison, WI, USA. pp. 463-564.
- Han, G. C., S. K. Vasal, D. L. Beck, E. Elias. 1991. Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Maydica* 36: 57-64.
- Hertel, T. W., M. B. Burke, D. B. Lobell. 2010. The poverty implications of climate induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change* 20(4):577-585
- Hoegenmeyer, T. C., A. R. Hallauer. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16:76-80.
- Jenkins, M. T. 1935. The effects of inbreeding and of selection within inbred lines of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. *Io. St. Coll. J. Sci.* 9:429-450.
- Jones, E. H. 2007. A comparison of simple sequence repeat and single nucleotide polymorphism marker technologies for the genotypic analysis of maize (*Zea mays* L.). *T. A. G.* 115:361-371.



- Jones, P. G., P. K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13(1):51-59.
- Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Limusa. México. pp. 39-42.
- Kim, S. K. 1990. Breeding of temperate maize germplasm for tropical adaptation. *In: C. De Leon, G. Granados, M. D. Read (Eds.). Proc. 4th Asian Reg. Maize Workshop, Islamabad, PARC, Bangkok, CIMMYT-ARMP.* pp. 208-227.
- Kosman, E., K. J. Leonard. 2005. Similarity coefficients for molecular markers in studies of genetic relationships between individuals for haploid, diploid, and polyploid species. *Molecular Ecology* 14:415-424.
- Lewis, R. S., M. M. Goodman. 2003. Incorporation of tropical maize germplasm into inbred lines derived from temperate x temperate-adapted tropical line crosses: agronomic and molecular assessment. *T. A. G.* 107:798-805
- Luna M., B. M., M. A. Hinojosa R., Ó. J. Ayala G., F. Castillo G., J. A. Mejía C. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:1-7.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez, C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. *Climate Research* 9(1-2):107-114.
- Malik, H. N., S. Malik, S. R. Chughtai, H. I. Javed. 2004. Estimates of heterosis among temperate, subtropical and tropical maize germplasm. *Asian J. Plant Sci.* 3:6-10.
- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo II. Editor AGT. México. 563 pp.
- Márquez S., F. 1991. Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo III. Editor AGT. México, D. F. 500 pp.
- Melchinger, A. E., R. K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In: K. R. Lamkey, J. E. Staub. (Eds). Concepts and Breeding of Heterosis in crop Plants. Madison, Wisconsin.* pp. 29-44.
- Menkir, A., B. Badu-Apraku, A. Adepoju. 2003. Evaluation of heterotic patterns of IITA'S lowland white maize inbred lines. *Maydica* 48:161-170.
- Mickelson R., H., H. Córdova, K. Pixley, M. Bjarnason. 2001. Heterotic relationships among nine temperate and subtropical maize populations. *Crop Sci.* 41:1012-1020.
- Molina G., J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. *En: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez Chihuahua, México. SOMEFI. Chapingo, Méx.* pp. 344
- Montenegro T., H., F. Rincón S., N. A. Ruiz T., H. de León C., G. Castañón N. 2002. Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:135-142.
- Nestares, G. E., E. Frutos, G. Eyherabide. 1999. Combining ability evaluation in orange flint lines of maize. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34:1399-1406.
- Ortega P., R. A., J. Barajas V. 1994. Variedades locales de maíz en el centro de Tamaulipas: Pasado y presente. *En: P. Ramírez V., F. Zavala G., N. E. Treviño H., E. Cárdenas C. y M. Martínez R. (comp.). Memorias del 11º congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. México.* pp. 343.

- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., 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., M. Livera M. (eds.). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Paliwal, R. 1986. CIMMYT's expanded maize improvement program. *In*: R. N. Wedderburn, C. de Leon (Eds.). Proc. 2nd Asian Reg. Maize Workshop, Indonesia, Mexico, DF, CIMMYT. pp. 125-140.
- Paliwal, R. 2001. FAO. Retrieved Noviembre 2009, from Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s13.htm>
- Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. *Crit. Rev. Plant Sci.* 9:125-154.
- Pérez C., A., J. D. Molina G., 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:435-441.
- Pérez C., A., J. Molina G., A. Martínez G., P. García M., D. Reyes L. 2007. Selección masal para adaptación a clima templado de razas tropicales y sub-tropicales de maíz de México. *Bioagro* 19: 133-141.
- Pérez-Colmenarez, A., J. D. Molina-Galán, A. Martínez-Garza. 2000. Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Pinto, R. de M. C., C. L. de Souza Jr., L. A. Carlini-Garcia, A. A. F. Garcia, A. Pereira de S. 2003. Comparison between molecular markers and diallel crosses in the assignment of maize lines to heterotic groups. *Maydica* 48:63-73.
- Preciado O., R. E., A. D. Terrón I., N. O. Gómez M., E. I. Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoamer.* 16:145-151.
- Reyes M., C. A., 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.
- SAGARPA. 2004. Sistema de información agrícola de consulta (SIACON 1980-2004). México, D. F. En línea: [http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ax\\_comanuar.html](http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ax_comanuar.html).
- SAGARPA. 2010. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. México, D. F. En línea: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)
- Salhuana, W., 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, C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43-59.
- Serratos H., J. A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace. México. 36 p.
- Sleper, D. A., J. M. Poehlman. 2006. *Breeding Field Crops*. Fifth Edition. Blackwell Publishing. Ames, Io. EE. UU. 424 p.
- Smith, J. S., O. S. Smith. 1987. Associations among inbred lines of maize using electrophoretic, chromatographic and pedigree data. Multivariate and cluster analysis from 'Lancaster Sure Crop' derived lines. *T. A. G.* 73:654-664.
- Soengas, P., B. Ordás, R. A. Malvar, P. Revilla, A. Ordás. 2003. Performance of flint maize in crosses with testers from different heterotic groups. *Maydica* 48:85-91.

- Souza, S., V. Carpentieri-Pipolo, C. Fátima, V. Carvalho, M. Ruas, C. Gerage. 2008. Comparative analysis of genetic diversity among the maize inbred lines (*Zea mays* L.) obtained by RAPD and SSR Markers. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 1:183-192.
- Sprague, G. F., L. A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Tinoco-Rueda, J. A., J. D. Gómez-Díaz, A. I. Monterroso-Rivas. 2011. Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana* 29(2):161-168.
- Trifunovic, S., H. Córdova, J. Crossa, S. Pandey. 2003. Head-to-head and stability analysis of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Maydica* 48:263-269.
- Turrent F., A., T. A. Wise, E. Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. *Mexican Rural Development Research Report. Reporte* 24. 36 p.
- Vacaro, E., J. F. Barbosa N., D Girardi P., C. Natalino N., L. D. Haa C. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37:67-72.
- Vasal, S. K., B. S. Dhillon, G. Srinivasan, S. D. McLean, J. Crossa, S. H. Zhang. 1995. Effect of S<sub>3</sub> recurrent selection in four tropical maize populations on their selfed and randomly mated generations. *Crop Sci.* 35:697-702.
- 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.
- Vaz, M., Z. Satovic, S. Pego, P. Fevereiro. 2004. Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germplasm using microsatellite markers. *Euphytica* 137:63-72.
- Vega U., A. 1988. Mejoramiento genético de plantas. Editorial América. Maracay, Venezuela. 200 pp.
- Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. *In*: D. B. Walden (ed.). *Maize Bre. Ge. J.* Wiley & Sons. New York, USA. pp. 59-84
- Zhang, Y., M. S. Kang. 1997. Diallel-SAS: A SAS Program for Griffing's Diallel Analyses. *Agron. J.* 89:176-182.