

FECHA DE ADQUISICIÓN	
NUM. DE INVENTARIO	00258
PROCEDENCIA	
NUM. CALIFICACIÓN	
PRECIO	
DIST.	



TL00258

SB191
.M2
.L66 2006
TESIS LAG
Ej.1

**COMPORTAMIENTO DE GENERACIONES AVANZADAS
F1, F2 Y F3 DE HIBRIDOS NO CONVENCIONALES
DE MAIZ**

MISAELO LOPEZ LOZANO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
SUBDIRECCION DE POSGRADO**

Torreón, Coahuila, México

JUNIO 2006

COMPORTAMIENTO DE GENERACIONES AVANZADAS F₁, F₂
Y F₃ DE HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ

MISAELO LÓPEZ LOZANO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

Torreón, Coahuila, México

Junio 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

00258

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**COMPORTAMIENTO DE GENERACIONES AVANZADAS F1, F2 Y
F3 DE HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ**

TESIS

POR

MISAEAL LÓPEZ LOZANO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

Dr. Emiliano Gutiérrez Del Río

Asesor:

Dr. Arturo Palomo Gil

Asesor:

Dr. Armando Espinoza Banda

Asesor:

Dr. Hugo Córdova Orellana

Asesor:

Dr. Vicente Hernández Hernández

Asesor:

Dr. Alfredo Aguilar Valdés

Dr. Jefonimo Landeros Flores
Subdirector de Posgrado

M. C. Gerardo Arellano Rodríguez
Jefe del Departamento de Posgrado

AGRADECIMIENTOS

Me es muy difícil trasladar al papel mi agradecimiento por las experiencias vividas durante mi estancia en este posgrado y más aún encontrar la manera de transmitirlo con su significado pleno.

Mi intuición de que Dios apuntaba las horas extras, me ha permitido llegar a este momento. Gracias

Quiero externar mi admiración y agradecimiento al Dr. Emiliano Gutiérrez del Río por la generosidad en sus enseñanzas, a mis maestros y asesores, el Dr. Arturo Palomo Gil, Dr. Vicente Hernández Hernández y al Dr. Alfredo Aguilar Valdés, por su sabiduría práctica y calidez humana, que me transmitieron durante este maravilloso viaje del conocimiento. Un reconocimiento muy especial al Dr. Hugo Córdova Orellana en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo por el derroche en sus enseñanzas y su paciencia. Al Dr. Armando Espinoza Banda, con mi gratitud y cariño, por acompañarme en esta espiral educacional con sus conocimientos y amistad, que me han dado la seguridad de que nunca he estado solo.

La ocasión es altamente propicia para expresar igualmente palabras de agradecimiento hacia el C. P. Rubén Calderón Lujan, Rector de la Universidad Juárez del Estado de Durango, al M. C. Manlio Ramírez Ramírez Director de la

Facultad de Agricultura y Zootecnia, a las autoridades académicas y administrativas de la Universidad por la comprensión y apoyo para el desarrollo de mis estudios de Postgrado.

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a la Unidad Laguna, por el imprescindible apoyo recibido y que ha hecho posible mi superación personal, a sus autoridades y maestros por permitirme tan vivificante experiencia de alternar con personalidades relevantes de mi especialidad, en un área tan significativa como la investigación de este "oro verde" que es el maíz, a sus trabajadores administrativos y de campo. A los primeros, por las facilidades y la formación alcanzada bajo su dirección y sus singulares ejemplos para enfrentar mis retos y a los segundos por sus estímulos y por facilitar a los estudiantes universitarios, esta preparación adquirida, sin olvidar a mis compañeros alumnos, receptivos a modelos de valores y que han sabido tomar lo bueno que esta Universidad nos ofrece.

DEDICTORIAS

Parte de la cosecha la recogemos en breve tiempo, otras veces se demora, y aun es posible que no veamos completo el resultado de nuestro trabajo. Sin embargo, la buena siembra siempre fructifica y tiene trascendencia "Sabiedo que del Señor recibiréis la recompensa de la herencia, porque a Cristo el Señor servís" (Colosenses 3:24). Cuando les anuncié a mis padres el Sr. Josué López Sandate y la Sra. Ofelia Lozano de López; mis padres, que quería ser agrónomo, recibí su apoyo incondicional, sin sugerir jamás que preferían otra profesión. Gracias por haberme dado y por mantenerme siempre en lo más grande para el ser humano que es la Libertad.

A Blanca Alicia, mi mujer que me ha acompañado con su amor, generosidad y paciencia por tantos años, que me ayuda a mantener una familia con convicciones, con fuerza pero con la flexibilidad que exige la época, sin la rigidez ni la sobreprotección, que da oportunidad en la opinión y toma de decisiones, que prioriza la comunicación entre padres e hijos.

A mis hijos: Karlo Misael, Jesús Anwar, Claudia Jocabeth, Rocío y Valeria, por su amor y comprensión. Con la fe de estarles dando alas para volar, raíces para crecer, espacio para sentirse libres, pero límites para ser responsables y que sean ramas fructíferas.

A mis hermanos: Dina Olga, José Roberto (+), María del Refugio y Elizabeth, decirle que los quiero mucho y que han sido muy especiales en mi vida.

A las familias López-Sandate y Lozano-Rodríguez, a mis abuelos (+) que siempre reconocieron quien fue el sostén y sentido de sus vidas, a los que siempre oí recitar a modo de oración, llena de significado y agradecimiento profundos: Señor, tú nos has sido refugio de generación en generación" (Salmo 90:1)

Gracias a todos por haber estado y estar presentes en mi vida, han sido muy importantes para mí.

COMPENDIO

Comportamiento de generaciones avanzadas F_1 , F_2 y F_3 de híbridos no convencionales de maíz

Por

Misael López Lozano

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" Unidad Laguna
Torreón, Coahuila. Junio 2006

Los híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.), se han utilizado para incrementar la base genética, adicionar diversidad, mejorar características agronómicas, aumentar su resistencia a factores adversos y para obtener híbridos no convencionales. Los efectos de alterar los patrones heteróticos en maíz por las cruces de dichos híbridos, aún requiere de estudios. Esta es una alternativa viable que además reduce costos de semilla, aprovecha tecnología ya existente, de bajo costo y hace a los agricultores más competitivos

Este trabajo se hizo para evaluar los efectos en las características agronómicas de importancia, al cruzar híbridos comerciales como progenitores, producir híbridos no convencionales y sus generaciones avanzadas F_1 , F_2 y F_3 y demostrar si se pueden integrar en los programas de mejoramiento como fuente de germoplasma y utilizarse como semilla en siembras comerciales de maíz.

En el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna en la localidad de Torreón, Coahuila, región conocida como Comarca Lagunera, México, se evaluó la cruce de ocho híbridos comerciales, seleccionados entre los que han mostrado una mayor estabilidad y obtenido los mejores rendimientos de forraje, grano y calidad de forraje en evaluaciones anteriores. Se realizaron análisis de varianza, se estimaron los componentes de la varianza, la heredabilidad, los porcentajes de heterosis considerando que los híbridos F_1 participaron como P_1 , se hicieron comparaciones ortogonales de acuerdo a los valores de sus cuadrados medios y significancias, los análisis de correlación entre las variables medidas en las poblaciones, las que se dividieron en cuatro grupos de ocho tratamientos cada uno, avanzándose de P_1 a F_1 , F_2 y F_3 y evaluándose en primavera y verano de 2002 y 2003 respectivamente.

El promedio del rendimiento para los dos ciclos evaluados fue de 9999, 9582, 9532 y 8799 kg ha^{-1} para los progenitores, las F_1 , F_2 y F_3 respectivamente, el rendimiento disminuyó a medida que se avanza de

padres a F_3 . Sin embargo, las disminuciones fueron de 4.3 % en F_1 , 4.7 % en F_2 y 11.8 % en F_3 respecto a la media de los padres, durante los dos ciclos evaluados. Altos valores del cuadrado medio del error dentro de Grupos y Tratamientos dentro de Grupos, estimaron valores negativos y heredabilidad de cero en Rendimiento de grano y baja para Número de granos por hilera. Para Altura de planta, Peso de olote, Número de hileras, Diámetro de mazorca y Longitud de mazorca se encontraron valores de medios a altos. Los promedios de heterosis para los dos ciclos evaluados en relación a los aumentos y disminuciones fueron de +7.4 % y -8.5 % en las F_1 , +6.7 % y -11.7 % en las F_2 y de +0.7 % y -15.5 % en las F_3 . Al analizar los contrastes ortogonales entre los grupos, aún y cuando se esperaba una mayor divergencia en los rendimientos y sus características agronómicas, se presentó una menor variación en todas las generaciones. Se encontró estabilidad fenotípica al usar híbridos altamente seleccionados y adaptados, se redujo la variación en rendimiento y en el resto de las características agronómicas, como respuesta al número de líneas que conformaron los híbridos intervarietales. El rendimiento de grano se correlacionó alta y significativamente con sus componentes, encontrándose no significancia con Altura de planta.

El uso de híbridos altamente seleccionados y adaptados, redujo la variación en rendimiento, como respuesta al número de líneas que conformaron los híbridos no convencionales. Los bajos valores de heterosis encontrados, son un indicador de depresión endogámica, probablemente,

debido a efectos deletéreos de alelos recesivos por una selección balanceada. Variables como Número de hileras y Longitud de mazorca, con alta heredabilidad pueden ser indicadores para propósitos de selección indirecta del rendimiento. El comportamiento de los híbridos en las cruzas realizadas, permiten su empleo como fuente de germoplasma en el reciclaje de líneas, en la formación de híbridos intervarietales y de variedades sintéticas. Esta, es una alternativa viable que pueden utilizar los agricultores para reducir costos de la semilla y por consecuencia aumentar su sostenibilidad en el sistema agrícola.

**Performance of advanced generations F1, F2 and F3 of non-conventional
maize hybrids**

By

Misael López Lozano

DOCTORADO EN CIENCIA AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" Unidad Laguna

Torreón, Coahuila, México. June 2006

Commercial maize hybrids (*Zea mays* L.), have been used to increase the genetic base, add diversity, improve agronomics traits, increase resistance to adverse factors and to obtain non-conventional hybrids. The effects of disrupting heterotic patterns in maize by crossing these hybrids still require studies to elucidate genetic consequences. This is a viable alternative that reduces seed costs, takes advantage of already existing technology, and makes the most competitive agriculturists.

This work was conducted to evaluate the effects in the agronomics traits of importance, when crossing commercial hybrids as progenitors for producing non-conventional hybrids and their advanced generations F₁, F₂

and F_3 and to demonstrate the possibility of integrating improvement programs as source of germplasm and use as seed in commercial maize sowings.

In the experimental field of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna in the locality of Torreón, Coahuila, a region known as Region Lagunera, México, crosses of eight commercial hybrids were evaluated and selected because they showed good stability and obtained the best forage yields, grain and forage quality in previous evaluations. In the analyses of variance we considered the variance components, heritability, percentage of heterosis, orthogonal comparisons were made according to the values of their mean square values and significances, the correlations analyses amongst the variables measured in the populations, divided in four groups of eight treatments each one, advancing P_1 , to F_1 , F_2 and F_3 and evaluated in spring and summer of 2002 and 2003 respectively.

The average of the yield for both cycles was of 9999, 9582, 9532 and 8799 kg ha^{-1} for parents, the F_1 , F_2 and F_3 respectively; grain yield reduces as F_1 was advanced to F_3 . Yield reductions were 4.3 % in F_1 , 4.7 % in F_2 and 11.8 % in F_3 according to the average of the parents during both cycles evaluated. High values of mean square of the error within Groups and Treatments within Groups were negative and heritability near zero for Grain yield and for Kernel number per row. Plant height, Cob weight, Rows/number, Ear diameter and Ear length were values of means to stops.

The heterosis averages for both cycles evaluated were + 7.4 % and -8.5 % in the F₁, + 6.7 % and - 11.7 % in the F₂ and of + 0.7 % and -15.5 % in the F₃. Orthogonal contrast among Groups, were not significant even when a greater divergence in the yields and their agronomics traits was expected, a smaller variation in all the generations appeared. Phenotypic stability using hybrids highly selected and adapted was reduced; the variation in yield and the rest of the agronomics characteristics as response to line number that conformed the intervariety hybrids. The Grain yield was significantly correlated with its components, except Plant height.

The use of hybrids highly selected and adapted, reduced the variation in Grain yield, as a response to line number that conformed the intervariety hybrids. The low values of heterosis are an indicator of inbreeding depression, probably, due to deleterious effects of recessive alleles in a balanced selection. Traits such as Number of rows and Ear length, with high heritability can indicate indirect selection for Grain yield. The performance of hybrids in crosses, allow their use as source of germplasm for recycling lines, formation of intervarietal hybrids and synthetic. This is an alternative that can be used to reduce seed costs.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del cultivo del Maíz	4
Producción de Maíz en el mundo	4
Producción y problemática del Maíz en México	5
El Maíz después de la firma del TLCAN en México	6
Producción de Maíz en la Comarca Lagunera, México	8
Producción y tecnología de semillas mejoradas de Maíz en México	8
Uso de generaciones avanzadas de híbridos comerciales de Maíz	9
Uso de híbridos no convencionales o intervarietales de Maíz	9

Antecedentes del uso de materiales exóticos en el mejoramiento genético del Maíz	11
The Germplasm Enhancement of Maize Project (GEM)	12
Producción de híbridos de maíz	13
Uso de tecnología ya existente en la producción de semillas de Maíz	15
ARTÍCULO I. Generaciones avanzadas de híbridos intervarietales de maíz	17
ARTÍCULO II. Híbridos no convencionales de maíz y sus generaciones avanzadas: tecnología sustentable	33
LITERATURA CITADA	56

INTRODUCCIÓN

En México, en los últimos diez años agricultores comerciales apoyados en tecnología, aportan el 34 % de la oferta interna de maíz, el 44 % proviene de agricultores con menor tecnología, pero con cierto uso de semillas mejoradas combinado con otras prácticas agrícolas, en zonas con potencial de medio a alto principalmente de temporal. Los productores de bajos ingresos, cerca del 67 % del total, cuentan con 42 % de la superficie, representan apenas el 22 % de la producción. Estos dos últimos grupos en conjunto generan el 66 % del total de la producción. Para estos, los riesgos naturales constituyen un factor determinante de la producción e ingresos que alcanzan y, en muchos casos su escaso nivel de capital humano restringe las posibilidades de cambio tecnológico y de diversificación, esto explica en buena medida el estancamiento de la producción y la baja competitividad (Serna, 2006). Las políticas públicas de varias décadas atrás habían apoyado al sector maíz, pero en general no lograron hacerlo competitivo de manera sostenible y generalizada. Uno de los principales factores para lograr esto, es el uso de semilla mejorada, pues desafortunadamente se estima que solo un 26 % a un 33 % de los productores utiliza esta tecnología. El limitado apoyo a la investigación, el desabasto de semilla, la baja producción y comercialización, el desconocimiento en el manejo y conservación de semilla de variedades de polinización libre y los altos costos de la semilla, sobre todo de híbridos, son algunas de las causas por las que no se recurre a materiales mejorados, (González *et al.*, 1993; Espinosa *et al.*,

2002; López, 2003), por lo anterior la investigación deberá enfocarse hacia la búsqueda de tecnologías que disminuyan estas tendencias y hagan más redituable la producción de maíz.

El germoplasma exótico, ya sean poblaciones, líneas, híbridos comerciales y sus generaciones avanzadas ha sido sugerido como una forma de aumentar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento del maíz (Šimić *et al.*, 2003; Glover *et al.*, 2005; Pugh y Layrisse, 2005); en México, lo proponen De la Cruz *et al.*, (2003). El uso de generaciones avanzadas de híbridos comerciales es una práctica común en algunas regiones agrícolas de México, con el consecuente reducción de rendimientos (Valdivia y Vidal, 1995; Coutiño *et al.*, 2004) sin embargo, existen reportes de incremento en rendimiento cuando se han utilizado en cruzas formando híbridos no convencionales (González *et al.*, 1993; Espinosa *et al.*, 1999; De La Cruz *et al.*, 2003; Pugh y Layrisse, 2005) y sugieren su uso para el reciclaje de líneas, en la formación de líneas homocigotas para la formación de híbridos convencionales o para la formación de híbridos intervarietales o variedades sintéticas a corto plazo (Alezones, 2002; Córdova *et al.*, 2002; Mikel y Dudley, 2006). Varios métodos se han propuesto para mejorar el comportamiento de materiales que contienen germoplasma exótico, pero hasta la fecha no existe ninguna teoría experimental verificada que indique la manera óptima de integrar germoplasma inadaptado en poblaciones mejoradas adaptadas (Šimić *et al.*, 2003). Al seleccionar poblaciones adaptadas que no presenten problemas agronómicos ni de

adaptación, se aumentan las probabilidades de éxito en el uso de esta práctica, debido a que muestran mayor heterosis por su diversidad genética al combinarse con materiales locales, (Carrera y Cervantes, 2002).

Formar y producir híbridos convencionales conlleva un tiempo que oscila entre los 8 y 11 años; Zhu y Reid (2000) mencionan que siguiendo métodos de mejoramiento tradicional, se necesitan cerca de 10 años para desarrollar un híbrido que dura de 3 a 5 años en el mercado, por lo que se requiere desarrollar tecnologías, o utilizar las ya existentes, que hagan sustentables las actividades agrícolas (López, 2003; Aguilar y López, 2006).

Este trabajo de investigación, se inicia, bajo la hipótesis de que en el país y en la Comarca Lagunera, México es viable la utilización de cruzas de híbridos comerciales, para obtener híbridos no convencionales o intervarietales y usar sus generaciones avanzadas F_1 , F_2 y F_3 , con el fin de disminuir los costos de producción sin menoscabo de la producción y hacer más competitivos a los agricultores, utilizando tecnología ya existente.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo del maíz

El maíz es el cereal que más se produce en el mundo, seguido del trigo y el arroz. Es parte de muchos productos alimenticios y en muchas regiones del mundo forma parte muy importante en la dieta alimenticia de sus poblaciones y es una de las más importantes fuentes de alimento para el ganado. En adición a esto, el maíz está involucrado en muchos usos industriales, desde la producción de polímeros, almidón y combustibles y lubricantes. Con la introducción de los maíces transgénicos, se está utilizando como fuente de hormonas, vacunas y componentes para diagnósticos médicos (Andow *et al.*, 2004)

Producción de maíz en el mundo

Estados Unidos es el principal productor con 299.9 M t, le sigue China con 128.0 M de t, la Unión Europea con 53.1 M t, Brasil con 39.5 M t representando el 42.5 %, 18.1 %, 7.5 % y el 5.6 % de la producción mundial respectivamente; México para este año produjo 22.0 M t que representa el 3.1 %. En los Estados Unidos es el principal cultivo seguido de la soya; la superficie sembrada en 2005 fue de 81, 759 miles de acres, con una producción de 147.9 bushels por acre, una producción total de 11, 112, 072 miles de bushels con un valor de 21, 040, 707 miles de dólares USA (NASS, 2006).

Producción y problemática del maíz en México

En México se produjeron 21,840.1 miles de t en 2004 con un rendimiento promedio de 3.96 t ha^{-1} con importaciones de EU de 5725 miles de t al cierre de 2003, de una cuota implantada por el TLC de 3360 t (SIAP, 2006).

Se hizo un análisis del efecto de la firma del Tratado de libre comercio con América del Norte (TLCAN) de 1994-2004 en el maíz. Desde el inicio de este tratado, se ha generado un amplio debate en torno a sus alcances y resultados en el crecimiento agropecuario de México. Los sesgos ideológicos, dificultan el examen de las tendencias y los efectos obtenidos en el período 1994-2004.

En la explicación de la evolución agropecuaria y rural de México, influyen, la tendencia histórica declinante de los precios agrícolas que se inició desde la década de los 70's y continúa hasta la fecha, aunque esta tendencia se observa a nivel del comercio internacional tanto en países desarrollados como en desarrollo, lo que afectó a los ingresos rurales. En segundo lugar es imprescindible considerar en el sector agropecuario la crisis de 1994-1995, en particular sobre los precios reales que ya mostraban en muchas de sus actividades baja productividad y poca competitividad internacional, de donde se deduce que esto no se puede imputar al TLCAN en el caso del maíz. En tercer lugar, las políticas públicas de varias décadas atrás habían apoyado al sector, pero, en general no lograron hacerlo competitivo de manera sostenible y

generalizada. Por último, y vinculado con lo anterior, diversos obstáculos estructurales no se modificaron y continuaron manifestándose en el periodo estudiado como la formación de capital humano para elevar la productividad agrícola, los ingresos, el bienestar rurales y otro aspecto es el manejo del riesgo agropecuario por el bajo aseguramiento (Serna, 2006).

El maíz después de la firma del TLCAN en México

En 1994, la producción de maíz grano, fue de 18.2 M de t y de 21.7 M t para el 2004, lo que constituyó un aumento del 1.6 % anual en el caso de la producción para consumo humano, el maíz forrajero creció de 4.3 M t a 9.4 M t en el mismo periodo, lo que estableció un 6.8 % de crecimiento anual. La producción se elevó un 1.2 % anual en las áreas de temporal y 3.4 % anual en las de riego. El aumento en estas áreas fue una respuesta quizás debida a que intensificaron su producción a fin de compensar sus bajos ingresos reales, dados sus limitaciones para cambiar de cultivo. Esto fue complementado con los apoyos gubernamentales a la comercialización y al PROCAMPO. En el periodo, los agricultores comerciales apoyados en tecnología, aportan el 34 % de la oferta interna de maíz gracias a los altos rendimientos; el 44 % proviene de agricultores con menor tecnología, pero con cierto uso de semillas mejoradas, combinado con otras prácticas agrícolas, en zonas con potencial de medio a alto principalmente de temporal. Un tercer grupo de productores de bajos ingresos, cerca del 67 % del total, que cuentan con 42 % de la superficie,

componen apenas el 22 % de la producción. Para estos dos últimos grupos que en conjunto generan el 66 % del total de la producción, los riesgos naturales constituyen un factor determinante de los rangos de producción e ingresos que alcanzan, y en muchos casos su escaso nivel de capital humano restringe las posibilidades de cambio tecnológico y de diversificación, además de los insuficientes rendimientos promedio que se obtienen, esto explica en buena medida el estancamiento de la producción y la baja competitividad. En este periodo, los precios disminuyeron un 5.8 %, las exportaciones crecieron un 2 % y las importaciones aumentaron un 28.3 % anual, la superficie dedicada a la producción de forrajes se incrementó en un 5.2% anual. Mucho se ha debatido acerca de las importaciones de maíz en este periodo. Se afirma que la política de importaciones por arriba del arancel, permitió menores precios, lo cual hizo posible un mayor consumo y produjo efectos antiinflacionarios, sin embargo no se registró una reducción en los bienes producidos como carne, leche y huevo, por ende, no es claro que haya existido este beneficio a los consumidores, saliendo más beneficiados los importadores, la mayor parte de la sociedad y con efectos adversos en los productores y habitantes rurales ya que en este periodo el salario más bajo equivalió a un 60 % del salario real nacional. En 1996 ocho de cada diez personas eran pobres reduciéndose estas tendencias a casi seis en 2004 (Serna, 2006).

Producción de maíz en la Comarca Lagunera, México

En la Comarca Lagunera se siembran 7300 h de maíz bajo riego con rendimientos promedio de 3.6 t ha^{-1} y 23800 h de maíz forrajero con rendimientos de forraje fresco de 43.7 t ha^{-1} con un punto de equilibrio de 8.17 t ha^{-1} y 30.4 t ha^{-1} respectivamente, utilizando híbridos comerciales donde el costo de la semilla va del 17-20 % de los costos de producción. En temporal, con variedades de polinización libre, se reporta una superficie cosechada de 2400 h con una producción de 0.742 t ha^{-1} de grano (SAGARPA, 2006).

Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz en México

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, incluyendo las Instituciones antecesoras, han liberado 221 híbridos y variedades en 62 años de mejoramiento genético en maíz. Estos materiales fueron de adaptación específica a diferentes condiciones ambientales. En mayor proporción, se trabajó con híbridos de cruza dobles y variedades mejoradas de polinización libre. A partir de la desaparición de PRONASE en 1991 creció la participación de empresas privadas de semillas, incluyendo el sector social, sin embargo, el uso de semillas certificadas en el país se estima actualmente en 26 % a 33 % (Espinosa *et al.*, 2002).

Uso de generaciones avanzadas de híbridos comerciales de maíz

El creciente costo de la semilla de maíz, ha obligado a los productores a utilizar semilla de generaciones avanzadas en la regiones temporaleras del estado de Nayarit, México, lo que según Valdivia y Bernal, (1995) provoca disminuciones en el rendimiento del 45.3 % en la F_2 y de 31.5 % en la F_3 en comparación con la F_1 . Los híbridos con mayores reducciones fueron los simples 50.5 % en la F_2 . Los híbridos trilineales y dobles redujeron sus rendimientos en 47.3 y 43.7 % respectivamente. Concluyeron que por el efecto negativo en el rendimiento y otras características agronómicas, no recomiendan su uso; en todo caso se aconsejaría el uso de la F_2 de híbridos con mayor número de progenitores. En el mismo sentido opinan Coutiño *et al.*, (2004) ya que el uso de de semilla F_2 de los híbridos comerciales de maíz, que se siembran ampliamente en La Frailesca, Chiapas, México, causan reducciones del 22.6 % en el rendimiento respecto a su F_1 , lo que reduce las ganancias netas.

Uso de híbridos no convencionales o intervarietales de maíz

Dentro de las razones por las que no se utilizan materiales mejorados en México, se encuentran: el limitado apoyo a la investigación, el desabasto de semilla donde ya existen variedades mejoradas, la baja producción y comercialización, por el descuido o desconocimiento en el manejo y

conservación de semilla, sobre todo en las variedades de polinización libre y otra razón muy importante son los altos costos de la semilla, sobre todo de híbridos, además, por los altos insumos requeridos por estos; González *et al.*, (1993), consideran como una opción en la región Centro de Jalisco, México, la utilización de semilla producto de cruza de híbridos comerciales F_1 , pudiendo usarse inclusive la F_2 , con lo cual se ayudaría a satisfacer la demanda de semilla sin modificar el nivel de rendimiento de los mejores híbridos y a un costo más bajo por concepto de ahorro en la compra de la semilla. Espinosa *et al.*, (1999), reportan que solo el 6 % de los productores usa semilla mejorada en los Valles Altos de México. Ellos evaluaron cruza de variedades mejoradas y nativas con híbridos de crusa simple, superando un 40 % en rendimiento los híbridos no convencionales a las variedades mejoradas y nativas. De La Cruz *et al.*, (2003), consideran que los programas de mejoramiento genético del maíz, comúnmente usan fuentes de germoplasma adaptadas, disponibles dentro de las regiones reconocidas en el mundo como son la Templada, la Tropical, la Subtropical y la de los Valles Altos en los trópicos y subtrópicos, la preferencia de estos programas a determinados grupos de germoplasma élite, ha conducido a un estancamiento en sus avances y en estas circunstancias el mejoramiento con materiales inadaptados o introducidos de otras regiones y el de materiales regionales criollos o nativos, es de vital importancia para garantizar avances genéticos a futuro.

Antecedentes del uso de materiales exóticos en el mejoramiento genético del maíz

Aunque el maíz es invaluable para la economía de los Estados Unidos, menos del uno por ciento del germoplasma base de maíz contenía germoplasma exótico o introducido. Desde principios de los años 60's se veía la urgente necesidad de incorporar materiales exóticos con el fin de disminuir la vulnerabilidad de los materiales genéticos en Estados Unidos dada la documentada reducción de la variabilidad de los híbridos comerciales y sus líneas, ya que se ha demostrado lo que pasa cuando se reduce esa variabilidad y existen cambios en el ambiente como el ataque de patógenos, nuevos insectos plaga e inusuales estreses ambientales que afectan al cultivo. La diversidad genética en el mejoramiento genético es esencial, pero cuando se mejora genéticamente un cultivo, especialmente en materiales que aumentan la producción, decrece la diversidad genética. Así, los híbridos comerciales al mismo tiempo que han aumentado los rendimientos, aumentan su vulnerabilidad. La necesidad de mantener en el mercado a los híbridos, ha promovido los resultados en el más corto tiempo; por ejemplo, estudios demostraron que el 88 % de la semilla que se sembró en Estados Unidos en 1985 incluía germoplasma derivado de una sola variedad de la raza de maíz Reid Yellow Dent. La raza Corn Belt Dent es una de las razas más utilizadas por los mejoradores la cual representa cerca del 2 % del germoplasma aprovechable en el mundo, la producción de híbridos comerciales de maíz

dependía de solo cuatro líneas adaptadas (B73, A632, Oh43 y Mo17) que fueron derivadas de Iowa Stiff Stalk Synthetic originalmente cruzada con unas pocas líneas de Lancaster Sure Crop. Este patrón de comportamiento de las compañías para la formación de híbridos muy cercanos genéticamente, disminuyó la base genética. Otra razón por la que se disminuyó la base genética, es que se encontró, que los programas de mejoramiento han hecho mucho énfasis en el desarrollo de líneas recicladas para mejorar poblaciones o sintéticos, por lo que actualmente, la introgresión de materiales exóticos, en los híbridos comerciales ha ampliado su base genética (Pollak, 2002).

The Germplasm Enhancement of Maize Project (GEM)

Considerando la situación tan vulnerable que guardaban las compañías productoras de semillas en Estados Unidos, nace en 1987 The Germplasm Enhancement of Maize Project (GEM), con el apoyo del Agricultural Research Service (ARS) del United States Department of Agriculture (USDA) con la cooperación de Universidades Agrícolas, la industria privada de semillas, y organizaciones no gubernamentales. GEM es un proyecto para sostener la variabilidad genética, contribuyendo con nuevo germoplasma para aumentar la producción y mejorar otras características que demandan el mercado, incrementar la productividad y calidad, la resistencia a insectos y enfermedades, la tolerancia a diferentes estreses y adicionar características que den valor agregado al grano como almidón, proteínas aceite, etc., y que

tienen que ser mejoradas para el futuro. Se anticipa que esta nueva tecnología facilitará la transferencia de genes útiles desde germoplasma inadaptado a material élite y ayudará en la búsqueda de características genéticas valiosas (GEM, 1987). Este programa no sería posible sin el Latin American Maize Project (LAMP), que ayudó a conservar las llamadas razas de maíz de Latinoamérica, que constituyen un vital reservorio de características que los mejoradores pueden usar para mejorar el maíz y asegurarse contra estreses bióticos y abióticos en el cultivo. Las razas americanas de maíz, son globalmente los más importantes recursos genéticos que actualmente pueden conservarse para el uso de futuras generaciones. Es soportado por el USDA, Japón, United States Aid for International Development (USAID), El Banco Mundial (The World Bank) desde principios de los 90's y dirigido a evitar la alarmante posibilidad de perder la única colección de variedades usadas por los agricultores (Taba, 2005).

Producción de híbridos de maíz

El mejoramiento genético del maíz es una labor intensiva, muy cara y que consume mucho trabajo, está limitado por un germoplasma reducido en características deseables como el rendimiento y sobre todo por la imposibilidad de realizar combinaciones entre éste y alta calidad, resistencia a plagas y enfermedades. El mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares (MAS) se enfoca a uno o pocos caracteres. La ingeniería genética es una

herramienta para transplantar genes ideales dentro del cultivo y lo complicado es mejorar para múltiples genes, ya que los mejores híbridos necesitan de un balance en la acumulación de genes para obtener un buen fenotipo. No se pueden crear buenos híbridos solo con el mejoramiento genético tradicional y las técnicas biotecnológicas; estas, se basan en el uso de materiales obtenidos por métodos tradicionales, son caras y pueden crear problemas de bioseguridad en los alimentos y en los ecosistemas, proponiendo el uso del mejoramiento genético por computadora con el fin de predecir desde los padres buenos caracteres para los híbridos (Zhu y Reid, 2000). El desarrollo de cultivares nuevos es el resultado de un proceso cíclico, cada etapa consiste en: (i) formación y generación de nueva diversidad genética; (ii) selección, prueba e identificación de recombinantes superiores y (iii) lanzamiento, distribución, y comercialización de cultivares nuevos. Sin embargo, tener un genotipo superior no es en sí mismo una garantía del éxito de un cultivar mejorado (Gepts 2002), formar y producir híbridos convencionales conlleva un tiempo que oscila entre los 8 y 11 años; Zhu y Reid (2000) mencionan que siguiendo métodos de mejoramiento tradicional, se necesitan cerca de 10 años para desarrollar un híbrido que dura de 3-5 años en el mercado, por lo que se requiere desarrollar tecnologías, o utilizar las ya existentes, que hagan sustentables las actividades agrícolas (López, 2003; Aguilar y López, 2006).

El permiso otorgado por México a las empresas privadas transnacionales para desarrollar investigación y utilizar las razas existentes en México, y la

apertura al mercado internacional, libre en granos básicos, dio origen a que varios programas de mejoramiento genético en maíz utilizaran libremente sin restricciones germoplasma exótico (De La Cruz *et al.*, 2003). La Ley Federal de Variedades Vegetales en su artículo 4º inciso b, dice que después de 15 años de la expedición del título de obtentor la variedad vegetal, su aprovechamiento y explotación pasarán al dominio público y dice en su artículo 5o.- No se requiere del consentimiento del obtentor de una variedad vegetal para utilizarla: I.- Como fuente o insumo de investigación para el mejoramiento genético de otras variedades vegetales; II.- En la multiplicación del material de propagación, siempre y cuando sea para uso propio como grano para consumo o siembra, conforme al reglamento de esta ley y las normas oficiales mexicanas que establezca la Secretaría, o III.- Para el consumo humano o animal, que beneficie exclusivamente a quien la cosecha (IMPI, 1996).

Uso de tecnología ya existente en la producción de semillas de Maíz

En un creciente número de documentos de los más variados orígenes, unos producidos por la academia, otros por agencias de gobiernos, otros por agencias multilaterales de desarrollo, se insiste en que el siglo XXI es el siglo del conocimiento. Un aspecto vital ha sido el papel que el conocimiento ha tomado en el desarrollo de los procesos productivos de bienes y servicios. En este contexto la capacidad de utilizar el conocimiento para competir se convierte en un imperativo de supervivencia para empresas, regiones y

estados. López, (2003) llega a la conclusión de que en México la comunidad científica dedicada al mejoramiento genético del maíz debe cuestionarse sobre su actuación y responsabilidad en la producción de una mayor cantidad y calidad de híbridos y variedades mejoradas y en conjunto con las políticas de estado en la materia, existe una influencia humana responsable sobre la actual situación del maíz y debido a que no se prevén cambios en las políticas agropecuarias, con los niveles de productividad y calidad actuales no se puede competir ni controlar el mercado, por lo que, se requiere crear una cultura científica creando tecnologías o utilizando las ya existentes, que hagan sustentables nuestras actividades agropecuarias dentro de un proceso de cambios permanentes basados en un sistema científico, ser autosuficientes en tecnología y poder comercializar productos con nuevo valor agregado (Aguilar y López, 2006).

Es necesario romper el paradigma de la incapacidad de participar en la competencia tecnológica internacional, para no convertir nuestro campo en focos de miseria, desesperanza, o violencia imposibles de superar mediante la asistencia y la acción humanitaria. Es necesario multiplicar de manera significativa el rendimiento de las inversiones dedicadas a la investigación y mejorar la economía a corto plazo, transfiriendo tecnología de los países desarrollados a los países en desarrollo, es necesario que las Universidades sirvan a la sociedad respaldando primordialmente su economía y las condiciones de vida de sus ciudadanos, la Universidad debe de pasar de ser la

conciencia de la sociedad, a ser el suministro de recursos humanos calificados para producir conocimiento (Ahumada y Miranda, 2003).

**GENERACIONES AVANZADAS DE HÍBRIDOS INTERVARIETALES DE
MAÍZ
ADVANCED GENERATIONS OF NONCONVENTIONALS MAIZE HYBRIDS**

Misael López-Lozano^{1*}, Emiliano Gutiérrez-Del Río¹, Armando Espinoza-Banda¹,
Arturo Palomo-Gil¹ y Hugo Córdova-Orellana²

¹Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio
Narro-Unidad Laguna. Carretera a Santa Fe y Periférico, C. P. 27000. Torreón,
Coahuila, México. ³ Centro internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
Apdo. postal 6-641, 06600 México, D. F.

* Autor responsable e-mail: misael1179@hotmail.com

RESUMEN. Los híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.), se han utilizado para
adicionar diversidad, incrementar la base genética y mejorar características agronómicas
del germoplasma que aumente su resistencia a factores adversos. Los efectos de alterar
los patrones heteróticos en maíz por las cruza de dichos híbridos, aún requiere de
estudios. En la Comarca Lagunera, México, se evaluó la cruza de ocho híbridos
comerciales, seleccionados entre los que han mostrado una mayor estabilidad y obtenido
los mejores rendimientos de forraje, grano y calidad de forraje en evaluaciones
anteriores. Se estimaron las medias y varianzas genéticas en las poblaciones obtenidas,
las que se dividieron en cuatro grupos de ocho tratamientos cada uno, avanzándose de
 P_1 a F_1 , F_2 y F_3 y evaluándose en primavera y verano de 2002 y 2003 respectivamente.
Los objetivos fueron determinar los efectos en las características agronómicas de
importancia al cruzar híbridos comerciales como progenitores en generaciones F_1 , F_2 y F_3
y demostrar si se pueden integrar en los programas de mejoramiento como fuente de
germoplasma. En las generaciones avanzadas de híbridos comerciales de maíz, el
rendimiento disminuyó a medida que se avanza de padres a F_3 . Sin embargo las
disminuciones, fueron de 4.3 % en F_1 , 4.7 % en F_2 y 11.8 % en F_3 respecto a la media de
los padres, durante los dos ciclos evaluados. Mediante la selección previa de híbridos

adaptados, se logró reducir la tendencia a la disminución en el rendimiento. El comportamiento de los híbridos en las cruzas realizadas, permiten su empleo como fuente de germoplasma en el reciclaje de líneas, en la formación de híbridos intervarietales y variedades sintéticas.

Palabras clave: *Zea mays* L., híbridos comerciales, generaciones avanzadas,

ABSTRACT. Commercial maize hybrids (*Zea mays* L.), have been used to add diversity, to increase the genetic base and to improve agronomics characteristics of germplasm that increases its resistance to adverse factors. The effects of altering the heterotics maize patterns by crosses from these hybrids still require of studies. In the Region Lagunera, Mexico, crosses of eight commercial hybrids, selected among those with great stability and high grain forage yield and quality of forage in previous evaluations. Mean and genetic variances were estimated for populations, which were them divided in four groups of eight treatments each, advancing of P_1 , to F_1 , F_2 and F_3 and evaluating in spring and summer of 2002 and 2003 respectively. The objectives were to determine the effects in important traits agronomics when crossing commercial hybrids as ancestors in generations F_1 , F_2 and F_3 and to demonstrate if it is possible integrate them in the programs of improvement as source of germplasm. In the advanced generations of commercial maize hybrids, the yield diminished in advancing from parents to F_3 . Nevertheless the diminutions were of 4.3 % in F_1 , 4.7 % in F_2 and 11.8 % in F_3 with respect to the average of the parents, during both cycles evaluated. The tendency to yield reduction was managed by previous selection of adapted hybrids. The behavior of the hybrids in the crosses allows using them as source of germplasm in the recycling of lines, in the formation of intervarietal hybrids and synthetic varieties.

Key words: *Zea mays* L., commercial hybrids, advanced generations.

INTRODUCCIÓN

El germoplasma exótico, ya sean poblaciones, líneas, híbridos comerciales y sus generaciones avanzadas ha sido sugerido como una forma de aumentar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento del maíz (Šimić *et al.*, 2003; Glover *et al.*, 2005; Pugh y Layrisse, 2005). En México, entre otros investigadores, lo proponen de La Cruz *et al.*, (2003).

El uso de generaciones avanzadas de híbridos comerciales es una práctica común en algunas regiones agrícolas de México, sin embargo se ha encontrado que se reducen los rendimientos (Valdivia y Vidal, 1995; Coutiño *et al.*, 2004). Cuando se han hecho híbridos intervarietales o no convencionales, algunos han aumentado el rendimiento (González *et al.*, 1993; Espinosa *et al.*, 1999; De La Cruz *et al.*, 2003; Pugh y Layrisse, 2005) y sugieren su uso para el reciclaje de líneas, en la formación de líneas homocigotas para la formación de híbridos convencionales o para la formación de híbridos intervarietales o variedades sintéticas a corto plazo (Alezones, 2002; Córdova *et al.*, 2002; Mikel y Dudley, 2006).

Varios métodos se han propuesto para mejorar el comportamiento de materiales que contienen germoplasma exótico, pero hasta la fecha no existe ninguna teoría experimental verificada que indique la manera óptima de integrar germoplasma inadaptado en poblaciones mejoradas adaptadas (Šimić *et al.*, 2003). Al seleccionar poblaciones adaptadas que no presenten problemas agronómicos ni de adaptación, se aumentan las probabilidades de éxito en el uso de esta práctica, debido a que muestran mayor heterosis por su diversidad genética al combinarse con materiales locales, (Carrera y Cervantes, 2002), lo que concuerda con Troyer, (2005) en el sentido de que la adaptación determina superioridad sobre y por encima de la heterosis.

Este estudio comparó la cruce de híbridos comerciales cruce simple y triple, en varias combinaciones del receptor x el donante y sus generaciones avanzadas. Los objetivos del presente trabajo fueron: (i) determinar el efecto de autofecundaciones sucesivas en los híbridos comerciales como progenitores y sus generaciones F1 F2 y F3, en las características agronómicas de importancia (ii) Determinar si los híbridos y/o sus

generaciones avanzadas se pueden integrar en programas de mejoramiento como fuente de germoplasma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma

Se seleccionaron como progenitores, ocho híbridos comerciales, P-1 (8315^a de Gerst®), P-2 (C-908 de Cargill®) P-3 (A-7597 de Asgrow®), P-4 (Z-21 de Zungl®), y P-5 (SB-302 de Berensen®) y tres cruza simple P-6 (Búfalo de Asgrow®), P-7 (Jaguar de Asgrow®) y P-8 (P-3028W de Pioner®). (El tipo de cruza se obtuvo de la etiqueta), seleccionados entre los que han obtenido los mejores rendimientos de forraje, grano y calidad de forraje en la región. Se obtuvieron las generaciones F₁ F₂ y F₃ de las cruza 1x6, 2x3, 2x5, 3x5, 7x2, 7x8, 8x4 y 8x5 (macho x hembra respectivamente) durante los ciclos primavera y verano de 2002 en el Campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (UAAAN-UL). Las cruza se realizaron colectando y mezclando el polen de los machos en floración y polinizando diez plantas hembra en cada generación, la semilla obtenida se mezcló formando un compuesto balanceado quedando para su estudio cuatro grupos (G): P₁, F₁, F₂ y F₃ (G₁, G₂, G₃ y G₄, respectivamente), que constituyeron 32 tratamientos (T).

Evaluación en campo

Los grupos formados, se evaluaron en los ciclos de primavera (21 de marzo) y verano (26 de julio) del 2003 en el Campo Experimental de la UAAAN-UL en la localidad de Torreón, Coah. Esta se localiza en la parte sur oeste del estado de Coahuila, México en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 m.s.n.m. y una evaporación potencial de 2473 mm anuales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Promedio de temperaturas y precipitación pluvial en los últimos 10 años durante los ciclos de cultivo en Torreón, Coahuila, México.

	marzo	abr	mayo	jun	jul	ag	sept	oct
T °C media mensual	20.7	24	26.8	28.3	27.3	27	25	22
pp en mm media mensual	0.8	6.3	23.5	33.3	39.2	39	44.5	18.9

Web: <http://smn.cna.gob.mx>

El material genético se evaluó en un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones por ciclo de siembra. La parcela experimental consistió en cuatro surcos de 5m de largo y 0.80m de ancho, se dejó una distancia de 0.20 m entre plantas para obtener una población de 62,500 plantas ha⁻¹. De los dos surcos centrales se tomaron cinco plantas con competencia completa y sanas en las que se evaluaron: altura de planta (Ap), longitud y diámetro de mazorca (Lm y Dm), número de hileras de grano (NoH) y número de granos por hilera (NGh), el peso de olote (Po) y el rendimiento de grano en kg ha⁻¹ (Rg). Las prácticas agronómicas que se realizaron, son las recomendadas para el cultivo de maíz en la región, manteniéndose libres de plagas y enfermedades (Núñez *et al.*, 2003)

Análisis de datos

Se realizaron los análisis de varianza para cada ciclo (SAS, 1999) de acuerdo al modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + G_j + (G^*R)_{ik} + (T/G)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Para: $i = 1, 2, \dots, r$; $j = 1, 2, \dots, g$; $k = 1, 2, \dots, t$.

Donde Y_{ijk} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; R_i = Efecto de la i -ésima repetición; G_j = Efecto de la j -ésimo grupo; $(G^*R)_{ik}$ = Efecto de la interacción del G -ésimo grupo por la R -ésima repetición; $(T/G)_{jk}$ = Efecto del K -ésimo tratamiento dentro del G -ésimo grupo; ϵ_{ijk} = Error experimental.

Los componentes de la varianza, fueron estimados con los valores de los cuadrados medios y sus esperanzas y resolviéndolo por los componentes deseados, de acuerdo al Cuadro 2.

Cuadro 2. Estructura del análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios.

F V		CM	ECM
Rep	r-1	M_5	$\sigma_e^2 + r\sigma_{g^*r}^2 + tg\sigma_r^2$
Grupo	g-1	M_4	$\sigma_e^2 + r\sigma_{t/g}^2 + t\sigma_{g^*r}^2 + rt\sigma_g^2$
Grupo*Rep	(g-1)(r-1)	M_3	$\sigma_e^2 + t\sigma_{g^*r}^2$
Trat/Grupo	(t-1)g	M_2	$\sigma_e^2 + r\sigma_{t/g}^2$
Error	(r-1)(t-1)g	M_1	σ_e^2
Total	rgt-1		

FV= Fuentes de variación, CM= Cuadrados medios, ECM= Esperanzas de CM.

Estimación de los componentes de varianza:

$$\sigma_{v/g}^2 = M_2 - M_1/r \quad (\text{Varianza de Tratamientos dentro de Grupos})$$

$$\sigma_{g*r}^2 = M_3 - M_1/t \quad (\text{Varianza de Grupos por Repetición})$$

$$\sigma_g^2 = M_4 - M_3 - M_2 - M_1/rt \quad (\text{Varianza de Grupos})$$

$$\sigma_r^2 = M_5 - M_3/tg \quad (\text{Varianza de Repeticiones})$$

$$\sigma_e^2 = M_1 \quad (\text{Varianza del error})$$

A partir de la estimación de los componentes se estimó la heredabilidad en sentido amplio para los caracteres evaluados; utilizando la σ_g^2 como un estimador de la varianza genética total y la $\sigma_{v/g}^2$ como estimador de la varianza de tratamientos:

$$H^2 = \sigma_G^2 / \sigma_F^2 \quad \sigma_F^2 = \sigma_e^2/r + \sigma_{v/g}^2 + \sigma_{g*r}^2/r$$

Donde: H^2 = Heredabilidad en sentido amplio; σ_G^2 = Varianza de Grupos; σ_F^2 = Varianza Fenotípica.

Se hicieron comparaciones ortogonales entre los grupos, de acuerdo a los valores de sus cuadrados medios y significancias, además de las pruebas de DMS ($P = 0.05$) y correlaciones entre las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclo primavera

Los resultados del análisis de varianza en el ciclo primavera, se presentan en el Cuadro 3, en el que se observan diferencias significativas para la fuente de variación Grupos en Altura de planta y altamente significativas para Longitud de mazorca, en el resto de variables no se encontraron diferencias significativas indicando la baja variabilidad en el comportamiento agronómico de los progenitores y sus generaciones avanzadas; esto, no es suficiente evidencia para inferir lo anteriormente descrito, pudiendo deberse a pocas repeticiones, ya que fue estimado en un solo ciclo, al respecto Lee *et al.*, (2003) encuentran que la estabilidad en el rendimiento es influenciada por la estructura genética de la población. A mayor heterogocidad y heterogeneidad son menos afectada por las diferencias ambientales. Respecto a los Tratamientos dentro de Grupos (T/G), se

observaron diferencias estadísticas al 0.01 de probabilidad en las variables Ap, Po, NoH y Lm, lo que sugiere que la variabilidad de algunos tratamientos se centró en éstas caracteres. En Rg, NGh, y Dm no se encontraron diferencias significativas, a diferencia de Alezones (2002) y Pugh y Layrisse (2005) que encuentran diferencias altamente significativas para todas las variables medidas, quienes evaluaron híbridos intervarietales de poblaciones e híbridos intervarietales de híbridos comerciales respectivamente.

A partir de los componentes de varianza se estimó la heredabilidad, así como su error estándar para el conjunto de caracteres, se observan dentro de Grupos y Cruzas dentro de Grupos altos valores del cuadrado medio del error, por consecuencia estimaron valores negativos y heredabilidad de cero en Rg (-0.84) y NGh (0.01). Bernardo, (2003) encontró que el número de poblaciones utilizadas y el tamaño de las poblaciones mejoradas fue secundario, comparado con la habilidad para identificar los padres para hacer las cruas. Sin embargo, el efecto del número de poblaciones mejoradas fue menor, cuando la selección fue practicada entre los padres ó cuando la heredabilidad fue menos que 1.0. Estimaciones de varianza negativas es un resultado que con cierta frecuencia se presenta en la práctica del mejoramiento genético y las explicaciones son de diversa naturaleza, pudiendo deberse a una deficiente técnica de muestreo ó a un inadecuado modelo estadístico (Hallauer y Miranda, 1981). Para Diámetro de mazorca se encontraron valores de heredabilidad de 19.6 y altos para Ap (50.0), Po (56.2), Lm (55.8) según Chávez, (1995). Puesto que la función más importante de la heredabilidad, es su papel predictivo, esta expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo, (Falconer, 1981) por lo que variables como NoH, Po y Lm con alta heredabilidad pueden ser indicadores para propósitos de selección indirecta del rendimiento.

Al contrastar los Grupos, únicamente se tuvieron diferencias significativas (0.05 de probabilidad) entre el G1 (P₁) contra todos los Grupos en Ap. En el resto de las comparaciones no hubo diferencias significativas, lo anterior, se puede deber a que los P₁ presentan caracteres morfológicos muy parecidos, de acuerdo a los valores obtenidos en las variables medidas (datos no presentados), al grado de adaptación de los

progenitores y como consecuencia de sus cruzas y generaciones avanzadas, lo que concuerda con de La Cruz *et al.*, (2003), por el número de líneas que formaron los P₁ y las generaciones avanzadas, lo anterior no esta de acuerdo con lo reportado por Tabanao y Bernardo, (2005) quienes dicen que usando múltiples padres puede ayudar a mantener la variabilidad genética en ciclos avanzados de mejoramiento

El Rg en primavera, fue disminuyendo, mostrando que las F₁ disminuyeron 4.8 %, las F₂ 4.4 % y las F₃ 15.3 % respecto a los padres (P<0.05) atribuyéndose en el presente trabajo a la mayor adaptación de los progenitores, por lo que estas cruzas se pueden recomendar en la producción de semilla, por agricultores que puedan realizar dicho proceso. Estos valores, son similares a los reportados por González *et al.*, (1993), Alezones (2002) encontró que catorce de 21 híbridos intervarietales probados, superaron la media de todos los cruces y tres de ellos superaron a los híbridos comerciales testigos.

Cuadro 3. Cuadros medios, Esperanzas de Cuadros Medios, heredabilidad (H²) y contrastes ortogonales del análisis de varianza para siete variables agronómicas. Primavera 2003

Cuadros Medios								
F de Var	GL	Rg kg ha ⁻¹	Ap (Cm)	Po (g)	NoH	NGh	Dm (cm)	Lm (cm)
Rep	2	394666.7**	0.008	980.8	1.765	103.6**	0.408**	4.294
Grupo	3	71309.6	0.077*	155.4	0.326	42.74	0.091	6.555**
Grupo*Rep	6	26017.3	0.005	1056.2	0.282	13.39	0.106	2.346
Trat (Grupo)	28	32094.2	0.071**	1994.1**	2.817**	21.35	0.100	4.595**
Error	56	32708.3	0.029	825.6	1.157	18.78	0.072	1.706
Total	95							
CV		22.9	8.9	19.7	7.4	12.4	6.2	8.4
Media		9839.7	1.93	145.5	14.8	35.1	4.3	15.6
Esperanzas de Cuadros medios								
Comp. de varianza		11520.3	0.00009	2.36	0.046	2.82	0.009	0.06
σ^2_r		1912.8	0.0012	-64.7	-0.05	1.116	-0.001	0.055
σ^2_g		-836.4	-0.003	28.82	-0.11	-0.67	0.004	0.08
σ^2_{g*r}		-204.7	0.014	389.6	0.553	0.854	0.009	0.963
$\sigma^2_{v/g}$		32708.3	0.029	825.6	1.157	18.782	0.072	1.706
σ^2_e		-0.84	50.0	56.2	56.2	0.01	19.56	55.79
H ²								
Contrastes ortogonales								
G1 VS Resto		84152.5	0.161*	72.0	0.125	61.605	0.069	17.062
G1 VS G2		19481.0	0.030	266.021	0.563	25.375	0.001	8.085
G2 VS G3		28392.2	0.071	264.062	0.640	5.641	0.097	0.840
G3 VS G4		22.975	8.858	19.747	7.366	12.366	6.197	8.377
Rendimiento Medio				P1 (G1)	F1 (G2)	F2 (G3)	F3 (G4)	
				10481.2	9977.5	10025	8876.2	

*, ** Significativos al 0.05 y al 0.01 niveles de probabilidad respectivamente. σ^2_r = Varianza de Repeticiones; σ^2_g = Varianza de Grupos; σ^2_{g*r} = Varianza de la interacción de Grupos por Repeticiones; $\sigma^2_{v/g}$ = Varianza de Tratamientos dentro de Grupos. . G1= Progenitores, G2= F₁, G3= F₂, G4= F₃

Ciclo verano

En el cuadro 4, se presentan los resultados del análisis de varianza para el ciclo de verano, donde se encontraron diferencias altamente significativas entre Grupos para las variables NGh, Dm y Lm; para el resto de las variables no se detectaron. Valores altamente significativos se observan en T/G entre las variables Ap, Po, NGh, Dm y Lm y significativas en NoH, no encontrándose diferencias en Rg. El encontrar diferencias altamente significativas entre Grupos y Tratamientos dentro de Grupos confirma el supuesto de que existen diferencias en los componentes del rendimiento entre el conjunto de Grupos evaluados pero no así para el Rg.

Cuadro 4. Cuadros medios, Esperanzas de Cuadros Medios, heredabilidad (H^2) y contrastes ortogonales del análisis de varianza para siete variables agronómicas. Verano 2003.

FV	GL	Cuadros Medios						
		Rg kg ha ⁻¹	Ap (Cm)	Po (g)	NoH	NGh	Dm (cm)	Lm (cm)
Rep	2	31273.6	0.053	599.1	2.435	0.302	0.134**	1.84
Grupo	3	16785.8	0.005	368.0	0.666	76.238**	0.111**	10.79**
Grupo*Rep	6	2170.8	0.016	168.5	0.084	2.450	0.025	0.75
Trat (Grupo)	28	14649.3	0.047**	1049.3**	1.522*	19.985**	0.078**	4.11**
Error	56	13432.2	0.022	493.0	0.859	10.182	0.027	1.71
Total	95							
CV		15.9	7.5	18.4	6.3	9.3	3.8	9.3
Media		9116.2	1.97	120.8	14.7	34.2	4.4	14.1
Componentes de varianza		Esperanzas de Cuadros Medios						
σ_r^2		909.5	0.00116	13.46	0.073	-0.07	0.003	0.034
σ_g^2		558.2	-0.0015	-14.86	-0.003	1.99	0.001	0.318
$\sigma_{g^*r}^2$		-1407.7	-0.0008	-40.6	-0.097	-0.97	-0.0003	-0.119
$\sigma_{t/g}^2$		405.7	0.008	185.4	0.221	3.27	0.017	0.80
$\sigma_{t/g}^2$		13432.2	0.022	493.02	0.859	10.182	0.027	1.71
H^2		6.39	50.0	51.0	38.1	37.78	56.6	46.5
Contrastes ortogonales								
G1 vs Resto		33033.1	0.002	963.3	0.002	126.5**	0.101	19.7**
G1 vs G2		8424.4	0.001	927.5	0.101	168.0**	0.000	31.1**
G2 vs G3		1682.7	0.012	13.9	1.172	90.8**	0.224	12.1**
G3 vs G4		7708.9	0.002	62.4	1.763	59.4**	0.028	1.2
Rendimiento Medio								
				P1(G1)	F1(G2)	2(G3)	F3(G4)	
				9517.5	9186.2	9038.7	8722.5	

*, ** Significativos al 0.05 y al 0.01 niveles de probabilidad respectivamente. σ_r^2 = Varianza de Repeticiones, σ_g^2 = Varianza de Grupos, $\sigma_{g^*r}^2$ = Varianza de la interacción de Grupos por Repeticiones, $\sigma_{t/g}^2$ = Varianza de Tratamientos dentro de Grupos. G1= Progenitores, G2= F₁, G3= F₂, G4= F₃.

Los P₁ empleados como progenitores, fueron seleccionadas por los resultados obtenidos en evaluaciones anteriores, lo que se considera como la causa principal para que no hubiera diferencias entre los G evaluados ni entre los T/G en Rg. Lo anterior, coincide

con Lee et al., (2003) y Falconer (1981) quien dice que si se parte de un grupo selecto de progenitores, consecuentemente la varianza fenotípica entre los progenitores es menor que la de la población total y menor que la de la progenie. Las generaciones avanzadas mantienen valores similares a los P₁ en el Rg y otras características agronómicas lo que coincide con Espinosa et al., (1999). La varianza genética de Grupos muestra valores negativos, siendo causas muy comunes, valores de varianza aditiva igual a cero, y los altos valores de la varianza del error, por lo que se infiere un uso inadecuado del modelo estadístico (De La Cruz y Sahagún, 1995).

Para Rg, el valor estimado de heredabilidad, es bajo (6.4), lo anterior, coincide con los resultados de De León et al., (2004) quienes encuentran valores de 0.00 en la varianza aditiva y heredabilidad, concluyendo que estas variables están gobernadas mayormente por genes con acción de dominancia. En el mismo sentido, concluyen Wolf *et al.*, (2000). Bolaños y Edmeades (1993) hallaron valores de heredabilidad para rendimiento de grano de 0.5-0.6. Se encontraron valores intermedios para NoH (38.1) y NGh (37.8) y, para Ap, Po, Dm y Lm, (50.0, 51.0, 56.6 y 46.5 respectivamente, son altos de acuerdo con Chávez, (1995), considerándose que poseen mayor cantidad de genes con acción aditiva. Al contrastar el comportamiento de los Grupos involucrados, en el Cuadro 5 se observan diferencias altamente significativas para NGh y Lm entre el Grupo de P₁ contra el resto de los grupos (F₁, F₂ y F₃), lo mismo se observa entre las comparaciones de G1 vs. G2 y G2 Vd. G3 y solo en Lm entre G3 Vd. G4. Lo anterior, coincide con los resultados encontrados en el análisis de varianza para Grupos y Tratamientos o Cruzas dentro de Grupos, en donde las diferencias altamente significativas no se dieron para Rg pero si en sus componentes. En este ciclo, las disminuciones en rendimiento fueron de 3.8 %, 5.0 % y 8.4 % con relación a los progenitores y sus generaciones F₁, F₂ y F₃ respectivamente, lo cual es explicable ya que los progenitores no fueron líneas endogámicas sino híbridos comerciales simples y triples.

En el cuadro 5, se analizó el grado de correlación entre las variables medidas. En el ciclo primavera, se detectaron correlaciones altamente significativas entre Rg y en componentes de rendimiento Po, NoH, NGh, Dm y Lm, pero no con Ap. En el ciclo verano, las correlaciones entre variables se mostraron altamente significativas entre Rg y

Po, NoH, NGh Dm y Lm. Estos resultados coinciden con Hallauer y Miranda (1981) quienes reportan valores de 0.10, 0.24, 0.45, 0.41, 0.38 y 0.26 respectivamente con Rg. Los valores de correlación y significancia son coincidentes en los dos ciclos evaluados y de acuerdo con Falconer (1981), cuando el apareamiento entre los progenitores no es aleatorio sino que se hace de acuerdo con el parecido fenotípico, entonces existirán correlaciones entre los valores fenotípicos de la descendencia.

Cuadro 5. Correlaciones entre variables medidas en los ciclos primavera (**derecha**) y verano (izquierda).

	Rg	Ap	Po	NoH	NGh	Dm	Lm
Rg		0.021NS	0.271**	0.365**	0.678**	0.771**	0.515**
Ap	0.051NS		0.192NS	-0.085NS	0.119NS	0.048NS	-0.038NS
Po	0.528**	0.028NS		0.171NS	0.281**	0.334**	0.199NS
NoH	0.267**	0.047NS	0.115NS		0.262**	0.377**	0.139NS
NGh	0.346**	-0.148NS	0.519**	-0.111NS		0.389**	0.718**
Dm	0.595**	0.341**	0.353**	0.457**	-0.073NS		0.254**
Lm	0.439**	-0.181NS	0.643**	-0.104NS	0.797**	-0.018NS	

*, ** significativos al 0.05 y al 0.01 de probabilidad respectivamente, Rg= Rendimiento de grano, Ap= Altura de planta, Po= Peso de olote, NoH= Número de hileras por mazorca, NGh= Número de granos por hilera, Dm= Diámetro de mazorca y Lm= Longitud de mazorca.

Las tendencias para los dos ciclos fueron consistentes y muy parecidas en las variables estudiadas. El rendimiento de los grupos evaluados en general fue mejor en el ciclo primavera que en el verano, con 725 kg ha⁻¹ debido al comportamiento normal de los progenitores y a las condiciones climáticas más favorables de la Región, lo anterior, coincide con Troyer, (2005) quien dice que la adaptabilidad es lo que ha determinado los más altos rendimientos de maíz en E U A y que ésta, ha sido más importante que la heterosis en los incrementos de la producción y Paterniani (1996) expresa que para fines prácticos, es más deseable utilizar poblaciones que presenten caracteres deseables en grado satisfactorio y que contengan una razonable variabilidad genética; eso asegura progreso significativo a corto plazo.

CONCLUSIONES

Los híbridos intervarietales de maíz disminuyeron el rendimiento en sus generaciones avanzadas utilizando híbridos comerciales. Sin embargo, las disminuciones, fueron de 4.3% en F₁, 4.7% en F₂ y 11.8% en F₃ respecto a la media de los padres, lo que representa una disminución de 418, 468 y 1200 kg ha⁻¹ respectivamente.

Usar híbridos ya adaptados en las cruzas, redujo la variación en rendimiento y mantuvo las características fenotípicas de los progenitores en las generaciones avanzadas, demostrando que la selección es más ventajosa que el vigor híbrido, tomando en cuenta que en ambos ciclos, los análisis de varianza determinaron que la varianza de dominancia fue más importante que la varianza aditiva en el rendimiento de grano. Para otras características la varianza genética aditiva fue más importante.

Las generaciones avanzadas de la cruce de estos híbridos comerciales, se pueden utilizar hasta por dos generaciones con el fin de disminuir los costos de semilla.

Los híbridos comerciales utilizados en las cruzas realizadas, pueden ser empleados como fuente de germoplasma para el reciclaje de líneas, en la formación de híbridos intervarietales y/o variedades sintéticas.

AGRADECIMIENTOS

A la UAAAN-UL por el financiamiento de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alezones, G. J. 2002. Evaluación de la heterosis en un cruzamiento dialélico entre siete poblaciones de maíz blanco (*Zea mays* L.). *Investigación Agrícola* 7:1.
- Bernardo, R. 2003. Parental selection, number of breeding population, and size of each population in inbred development. *Theoretical and applied genetics*. 107: 1252-1256.
- Bolaños, J. and Edmeades, G.O. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Field Crops Res.*, 31: 233-252.
- Carrera-Valtierra, J. A y Cervantes-Santana, T. 2002. Comportamiento *per. sé* y en cruza de poblaciones tropicales de maíz seleccionadas en valles altos. *Agrociencia* 36: 693-701.
- Córdova, H., Castellanos, S., Barreto, H. y Bolaños, J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centro América: Logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana* 13: 73-84.
- Coutiño-Estrada, B., Sánchez-Grajales, G. y Vidal-Martínez, V. A. 2004. El uso de semilla F₂ de híbridos de maíz en La Frailesca, Chiapas reduce el rendimiento y las ganancias netas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27:261-266.
- Chávez, A. J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2. Métodos específicos de plantas alógamas. Primera edición. Editorial Trillas. México.
- De La Cruz-Torres, E. y Sahagún-Castellanos, J. 1995. Determinación de componentes de varianza genética y heredabilidad en caracteres de interés en aguacate. www.avocadosource.com/Journals/CITAMEX/CITAMEX-1995/fitos (20 marzo 2006).
- De La Cruz-Larios L., Ron-Parra, J., Ramírez-Díaz, J. L., Sánchez-González, J. de J. Morales-Rivera, M. M., Chuela-Bonaparte, M., Hurtado-de la Peña, S. A. y Mena-Munguía, S. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 26: 1-10.
- De León-Castillo, H., Sámano-Garduño, D., Rincón-Sánchez, F. y Espinoza-Velázquez, J. 2004. Varianzas y efectos genéticos de seis variables agronómicas en una población de maíz con alta calidad proteínica. www.uaaan.mx/Dir inv/Result/Memoria2004/Maiz (20 marzo 2006).

- Espinosa-Calderón A., Tadeo-Robledo, M. y Tapia-Naranjo, A. 1999. Variedades mejoradas no convencionales de maíz para agrosistemas de mediana productividad. *Agricultura Técnica en México*. INIFAP. Vol 25 Num. 2.
- Falconer, D. S. 1981. *Introducción a la genética cuantitativa*. Décima primera impresión. Editorial CECSA. México.
- Glover, A. M., Willmont, D. B., Darrah, L. L., Hibbard, B. E. and X. Zhu, 2005. Diallel analyses of agronomic traits using Chinese and U.S. maize germplasm. *Crop Sci.* 45: 1096-1102.
- González- Sánchez, C., Ron-Parra, J. y Ramírez-Díaz, J. L. 1993. Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16:30-41.
- Hallauer, A. R., and Miranda, J. B. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, U. S. A. 468 p.
- Lee, E. A., Doerksen, T. K. and Kannenberg, L. W. 2003. Genetic components of yield stability in maize breeding populations. *Crop Sci.* 43: 2018-2027.
- Mikel, A. M. and Dudley, J. W. 2006. Evolution of North American dent corn from public to proprietary germplasm. *Crop Sci.* 46: 1193-1205.
- Nuñez-Hernández G., Faz-Contreras, R. y Contreras-Govea, F. E. 2003. Selección de híbridos de maíz para forraje. Producción y utilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. In: *Producción de forrajes*. INIFAP-CIAN-CAELALA. Versión en CD.
- Paterniani, E. 1996. Factores que afectan la eficiencia de la selección en maíz. Universidad de Sao Paulo, Brasil. *Revista Investigación Agrícola-No 1-DANAC*.
- Pugh, T., A. Layrisse, 2005. Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomía Tropical*. Vol. 55: 102-116.
- SAS Institute Inc. 1999. V. 8. N C 27513, USA.
- Šimić, D., Presterl, T., Seitz, G. and Geiger, H. H. 2003. Comparing methods for integrating germplasm into European forage maize breeding programs. *Crop Sci.* 43: 1952-1959.
- Tabanao, A. D. and Bernardo, R. 2005. Genetic variation in maize breeding populations with different number of parents. *Crop Sci.* 45:2301-2306.

Troyer, A. F. 2005. Adaptness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop Sci.* 46:528-543.

Valdivia-Bernal, R. y Vidal-Martínez, V. A. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:69-76.

Wolf, D. P., Paternelli, L. A. and Hallauer, A. R. 2000. Estimates of genetic variance in an F_2 maize population. *Journal of Heredity* 91:384-391.

F₁, F₂ y F₃ de híbridos no convencionales de maíz

Híbridos no convencionales de maíz y sus generaciones avanzadas: tecnología sustentable

Non-conventional maize hybrids and its advanced generations: sustainable technology

Misael López-Lozano , Emiliano Gutiérrez-Del Río,

Armando Espinoza-Banda, Arturo Palomo-Gil,

Hugo Córdova-Orellana

(MLL), (EGR), (AEB), (APG) Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna.

Carretera a Santa Fe y Periférico, 27000. Torreón, Coahuila, México.

misaell79@hotmail.com.mx

(HCO) Centro internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo

(CIMMYT). Apdo. postal 6-641, 06600 México, D. F.

RESUMEN Incorporar híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.) en programas de mejoramiento genético para ampliar la base genética, la diversidad, mejorar sus características agronómicas y para obtener híbridos no convencionales, es una alternativa viable que además reduce costos de semilla, aprovecha tecnología ya existente, de bajo costo y hace a los agricultores más competitivos. Este trabajo se hizo para evaluar el comportamiento agronómico de híbridos no convencionales y sus generaciones avanzadas. Se seleccionaron ocho híbridos

comerciales que fueron utilizados como progenitores. Se obtuvieron las generaciones F₁, F₂ y F₃, se formaron cuatro grupos y se evaluaron durante los ciclos primavera y verano de 2002 y 2003 respectivamente. El promedio del rendimiento para los dos ciclos evaluados fue de 9999, 9582, 9532 y 8799 kg ha⁻¹ para los progenitores, las F₁, F₂ y F₃ respectivamente. El rendimiento disminuyó en primavera, 4.8 % en las F₁, 4.4 % en las F₂ y 15.3 % en las F₃ respecto a los padres (P < 0.05). En verano no hubo diferencias significativas entre los grupos y las disminuciones fueron de 3.8 %, 5.0 % y 8.4 % respectivamente. Los genotipos mostraron buen comportamiento agronómico en las generaciones avanzadas, adaptándose a los ambientes de prueba. El uso de híbridos altamente seleccionados y adaptados, redujo la variación en rendimiento, como respuesta al número de líneas que conformaron los híbridos no convencionales. Esta, es una alternativa viable para reducir costos de la semilla y por consecuencia aumentar su sostenibilidad en el sistema agrícola.

Palabras clave: *Zea mays* L. Generaciones avanzadas, Híbridos no convencionales sustentabilidad.

ABSTRACT To incorporate commercial maize hybrids (*Zea mays* L.) in programs of genetic improvement to extend the genetic base, the diversity, to improve its agronomics characteristics and to obtain non-conventional hybrids, is a viable alternative that in addition reduces seed costs, takes advantage of existing technology already, of low cost and makes the most competitive agriculturists. This work was made to evaluate the agronomics behavior of non-conventional hybrids and its advanced generations. Eight commercial hybrids were used like ancestors, The generations F₁, F₂ and F₃ were obtained from a cross between eight commercial hybrids, four groups formed and spring and summer of 2002 and 2003 were evaluated respectively during the

cycles. Testcross means for grain yield for cycles both evaluated was of 9999, 9582, 9532 and 8799 kg ha⁻¹ for the ancestors, the F₁, F₂ and F₃ respectively. Were diminutions in the yield in spring of 4.8 % in F₁, 4.4 % in F₂ and 15.3 % in F₃ with respect to the parents (P < 0.05). In summer was no significant difference between the groups and the diminutions were of 3.8 %, 5.0 % and 8.4 % respectively. The genotypes showed agronomics good performance in the advanced generations, adapting to test environment. The use of hybrids highly selected and adapted, reduced the variation in yield, like answer to the line number that conformed the non-conventional hybrids. This is a viable alternative to reduce costs of the seed and by consequence of increasing its sustainability in the agricultural system.

Key words: Zea mayz L., Advanced generations, Non-conventional hybrids, sustainability.

INTRODUCCIÓN En la Comarca Lagunera el rendimiento promedio de maíz grano bajo riego es de 3.6 t ha⁻¹ y de forraje fresco de 43.7 t ha⁻¹ con un punto de equilibrio de 8.17 t ha⁻¹ y 30.37 t ha⁻¹ respectivamente utilizando híbridos comerciales donde el costo de la semilla va del 17-20 % de los costos de producción. En temporal, con variedades de polinización libre, se producen 0.742 t ha⁻¹ de grano (SAGARPA 2006).

En México, debido a los altos costos de semilla, agricultores de diferentes sistemas de producción, reciclan semilla de híbridos comerciales para sus siembras, sin embargo, la primera vez que un híbrido es reciclado, la semilla que guarda el agricultor es producida en las plantas F₁, esta semilla, conocida como F₂, debido a la segregación tendrá pocas combinaciones de genes favorables responsables del vigor híbrido en la F₁, observándose normalmente reducciones en el rendimiento. Si esa semilla se sigue reciclando dos o más veces (F₃, F₄, F₅, Etc.) la segregación

continúa, pero el efecto de la depresión endogámica disminuye por la recombinación al azar de alelos favorables. Una ventaja, es que se mantienen rasgos cuantitativos como tamaño, forma, textura y calidad del grano y la tolerancia a diferentes estreses (Morris *et al.* 1999; Coutiño *et al.* 2004).

El desarrollo de cultivares nuevos es el resultado de un proceso cíclico, cada etapa consiste en: (i) formación y generación de nueva diversidad genética; (ii) selección, prueba e identificación de recombinantes superiores y (iii) lanzamiento, distribución, y comercialización de cultivares nuevos. Sin embargo, tener un genotipo superior no es en sí mismo una garantía del éxito de un cultivar mejorado (Gepts 2002), formar y producir híbridos convencionales conlleva un tiempo que oscila entre los 8 y 11 años, Zhu & Reid (2000) mencionan que siguiendo métodos de mejoramiento tradicional, se necesitan cerca de 10 años para desarrollar un híbrido que dura de 3-5 años en el mercado, por lo que se requiere desarrollar tecnologías, o utilizar las ya existentes, que hagan sustentables las actividades agrícolas (López & Aguilar, 2006).

Los híbridos comerciales, pueden ser incorporados y combinados en programas de mejoramiento genético, para ampliar la base genética, la diversidad, y mejorar las características agronómicas (Espinosa *et al.* 1999; Córdova *et al.* 2000; Bernardo, 2001; De La Cruz *et al.* 2003; Pugh & Layrisse, 2005). Las cruzas entre éstos híbridos se comportan diferentes a la autofecundación de híbridos comerciales, de La Cruz *et al.* (2003) encontraron en cruzas de adaptados por exóticos, que la heterosis fue superior (73 %) a la encontrada en adaptados por adaptados (59 %), y exóticos por exóticos (62 %). Para usar híbridos comerciales en la formación de híbridos no convencionales, es recomendable realizar una previa identificación de los que han mostrado un mejor comportamiento agronómico (Carrera & Cervantes 2002) y tomar las medidas necesarias

para que el avance ocurra en ausencia de fuerzas modificadoras de la frecuencia génica, sobre todo en la obtención de semilla para las generaciones subsecuentes (Pugh & Layrisse, 2005). Por otra parte, el comportamiento en rendimiento se ha mostrado diferente cuando se trata de híbridos de cruce simple, doble o triple así como del nivel de endogamia de las líneas parentales usadas (Sahagún & Villanueva, 2003; Melchinger *et al.*, 2003). Varios métodos se han propuesto para mejorar el comportamiento de materiales que contienen germoplasma exótico, pero hasta la fecha no existe ninguna teoría experimental verificada que indique la manera óptima de integrar germoplasma inadaptado en poblaciones mejoradas adaptadas (Šimić *et al.*, 2003).

La estabilidad fenotípica es influenciada en parte por la estructura genética, en este caso del nivel de heterogeneidad y de heterogocidad; poco se conoce de los componentes genéticos para entenderla y así establecer estrategias de mejoramiento genético que determine mayor estabilidad del cultivar (Lee *et al.* 2003). Según Troyer (2005), la adaptabilidad de los mejores híbridos es lo que ha determinado los más altos rendimientos de maíz en E. U. A. y considera que la adaptación determina superioridad sobre y por encima de la heterosis.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el comportamiento agronómico de híbridos no convencionales y sus generaciones avanzadas y buscar fuentes de germoplasma para la producción de semilla más barata.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma. El material genético progenitor consistió de ocho híbridos comerciales adaptados a la región, cinco de cruce triple, P-1 (8315^a de Gerst), P-2 (C-908 de Cargill), P-3 (A-7597 de Asgrow), P-4 (Z-21 de Zung1), y P-5 (SB-302 de Berensen) y tres de cruce simple P-6

(Búfalo de Asgrow), P-7 (Jaguar de Asgrow) y P-8 (P-3028W de Pioneer). Se obtuvieron las generaciones F₁, F₂ y F₃ de las cruzas 1x6, 7x2, 7x8, 2x3, 2x5, 8x4, 8x5 y 3x5 durante los ciclos primavera y verano de 2002 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (UAAAN-UL). Las cruzas se realizaron colectando y mezclando el polen de los machos en floración y polinizando cuando menos diez plantas hembra en cada generación. Con la semilla obtenida se formó un compuesto balanceado quedando para su estudio cuatro grupos: padres (P₁), F₁, F₂ y F₃, que constituyeron 32 tratamientos.

Evaluación en campo. Los grupos formados se evaluaron bajo riego, en los ciclos de primavera (21 de marzo) y verano (26 de julio) del 2003 en el Campo Experimental de la UAAAN-Unidad laguna de Torreón, Coah., de la localidad conocida como Comarca Lagunera, la cual se localiza en la parte oeste del sur del estado de Coahuila, México en las coordenadas 103° 26' 33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 m.s.n.m. y una evaporación potencial de 2473 mm anuales (Tabla 1). Para la evaluación del material genético se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. La parcela total consistió de cuatro surcos de 0.80 m de ancho y 5 m de largo, se dejó una distancia de 0.20 m entre plantas para una población de cinco plantas por metro para obtener una población de 62,500 plantas ha⁻¹. De los dos surcos centrales se tomaron cinco plantas con competencia completa y sanas a las que se les evaluó: altura de planta (Ap), altura de mazorca (Am), longitud de mazorca (Lm), diámetro de mazorca (Dm), número de hileras (NoH), número de granos por hilera (NGh) y rendimiento de grano en kg ha⁻¹ (Rg). Las prácticas agronómicas que se realizaron, son las recomendadas para el cultivo de maíz en la región, manteniéndose libres de plagas y enfermedades (Núñez *et al.* 2003)

Análisis de datos. Se realizaron los análisis de varianza de las variables en estudio para cada localidad (SAS, 1999) de acuerdo al modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + G_j + (G \cdot R)_{jk} + (T/G)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Para $i = 1, 2, \dots, r$; $j = 1, 2, \dots, g$; $k = 1, 2, \dots, t$.

Donde Y_{ijk} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; R_i = Efecto de la i -ésima repetición; G_j = Efecto de la j -ésimo grupo; $(G \cdot R)_{jk}$ = Efecto de la interacción del G -ésimo grupo por la R -ésima repetición; $(T/G)_{jk}$ = Efecto del K -ésimo tratamiento dentro del G -ésimo grupo; ε_{ijk} = Error experimental.

Se hicieron comparaciones ortogonales entre los grupos, de acuerdo a los valores de sus cuadrados medios y significancias y, cuando se detectaron diferencias estadísticas, la comparación de medias se realizó con la prueba de DMS ($P = 0.05$). Con los valores de las medias, de los tratamientos, se calcularon los porcentajes de heterosis, como los híbridos F_1 participaron como P_1 , el por ciento de heterosis se estimó utilizando el promedio de la F_1 , F_2 y F_3 respectiva.

RESULTADOS En la tabla 2, para el ciclo primavera, en el análisis de varianza, se observan diferencias significativas ($P=0.05$) en rendimiento (R_g) respecto a P_1 y sus generaciones avanzadas F_1 , F_2 y F_3 . Al comparar los R_g , se observan disminuciones en relación a la media de los P_1 del 4.8 %, 4.4 % y 15.3 %, con respecto a sus F_1 , F_2 y F_3 , respectivamente.

Comportamiento análogo se observa con L_m , donde la media de P_1 fue similar a F_1 y F_2 pero diferente estadísticamente a F_3 , lo cual se confirma en el contraste (C-1) de los P_1 contra el resto y del contraste (C-2) de los padres Vs la F_1 , con diferencias estadísticas al 0.01 y 0.05 de probabilidad respectivamente. En A_m hubo diferencias significativas al 0.05 de probabilidad

donde Am fue menor para los P₁ pero diferente estadísticamente a F₁, F₂ y F₃. Número de granos por hilera (NGh), fueron estadísticamente iguales F₁, F₂, y F₃ diferentes a P₁, al nivel de 0.05 de probabilidad.

Las comparaciones ortogonales entre el grupo formado por los padres y el resto de generaciones (C-1) mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el carácter Ap y altamente significativas ($P \leq 0.01$) en Lm. En el contraste de los P₁ contra las F₁ (C-2), solo hubo diferencia significativa en Lm; entre los otros grupos no se detectaron diferencias significativas (Tabla 2).

En la tabla 3 se presenta la heterosis estimada para las diferentes generaciones, en la misma se observa que al comparar la F₁ con respecto a la media de los progenitores destacan las cruzas 1x6 y 8x4 con heterosis positiva del 7.8 % y 12.7 %, respectivamente. El resto de las cruzas mostraron valores negativos

En la F₂, se distinguen con heterosis positiva las cruzas 1x6 con 5.1 %, 7x2 con 3.6 % y 2x5 con 10.3 % y con valores negativos el resto de las cruzas. En la F₃ prácticamente se puede decir que no hubo efectos heteróticos, ya que tuvieron heterosis positiva solo las cruzas 1x6 con 2.1 % y 7x8 con 0.6 %, el resto fue negativo. En la generación F₃ se observaron los valores negativos de mayor magnitud, tal es el caso de 7x2 con -37.1 %, 2x5 con -34.6 %, 8x5 con -26 % y 3x5 con -23.6 %.

En la tabla 4, se observan los resultados del ciclo de verano, en el que NGh es diferente estadísticamente ($P \leq 0.05$), P₁ y F₂ son estadísticamente iguales, al igual que F₁ y F₃. En Lm hubo diferencias significativas entre los grupos, siendo iguales P₁, F₂ y F₃ pero diferentes a F₁ ($P \leq 0.05$).

Al analizar los contrastes (C) entre las generaciones, se observó diferencia significativa para Am ($P \leq 0.05$) y altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables NGh y Lm, cuando se compararon P_1 VS F_1 , F_2 y F_3 (C-1), mismo resultado se observó cuando se comparan, P_1 VS F_1 (C-2), F_1 VS F_3 (C-3) y, en el contraste de F_2 VS F_3 (C-4), solo se observó esta diferencia estadística para NGh, como la que se observó en C-3 con Dm.

En la Tabla 5, para el ciclo de verano, se manifiesta heterosis en Rg respecto a P_1 en la F_1 en las cruzas 8x4, 2x3 y 8x5 con 1.0 %, 7.0 % y 5.8 % respectivamente. En la F_2 la heterosis fue de 11.8%, 5.0 %, 4.9 % y 6.3 % en las cruzas 1x6, 2x3, 2x5 y 8x5 respectivamente, en el resto hubo heterosis negativa con menores valores que las cruzas 8x4 con -12.5 % y 3x5 con -14.9 %.

Todas las F_3 presentaron heterosis negativa en rendimiento respecto a la media de sus padres, con valores de -2.6 %, en la 1x6, -5.8 % en la 2x3, -0.9 % en la 7x8, -7.7 % en la 2x5 y -6.6 % en la 8x5.

En este ciclo se destacan las cruzas 2x3 que mostró valores de 7%, 5% y -5.8% al igual que la 8x5 con 5.8 %, 6.3 % y -6.6 % y con heterosis negativa 7x8 con -2.3 %, -2.6 % -0.9 % y la 7x2 con -8.2 %, -6.2 % y -13.8 % en F_1 , F_2 y F_3 respectivamente (Tabla 5)

En la Tabla 6, se observan los resultados de correlacionar el Rg con las otras variables agronómicas evaluadas. No hubo correlación para ningún de los dos ciclos entre el Rg y la Ap, pero si se presentaron correlaciones altamente significativas de Rg con NGH y Lm. Los valores de correlación observados entre Rg con NGh y Lm, fueron más altas en primavera que en verano.

DISCUSIÓN Las diferencias significativas encontradas en el ciclo primavera para el rendimiento, coinciden con los resultados obtenidos por Espinosa *et al.*, (1999), no obstante en su trabajo se cruzan híbridos cruce simple con variedades mejoradas y nativas y los rendimientos de los híbridos no convencionales fueron 40 % más elevados. Engelen *et al.*, (2004) encontraron, que los rendimientos de algunas F_1 no fueron significativamente diferentes del de sus progenitores y Alezones, (2002) encontró que siete de 21 híbridos intervarietales muestran disminuciones en las F_1 . De La Cruz *et al.*, 2003 hallaron que en la cruce de híbridos adaptados, su heterosis no fue alta en la F_2 , ya que el rendimiento *per se* de los progenitores fueron los más elevados. Respecto a los componentes de Rg, NGh, Dm y Lm, tuvieron parecido comportamiento, disminuyendo sus valores a medida que avanzan sus generaciones y estos coinciden con los más altos hallados por De La Cruz *et al.* (2003) e incluso, Espinosa, (1999) refiere que se mejoraron estas características agronómicas en las F_1 .

Al analizar los contrastes ortogonales entre los grupos, aún y cuando se esperaba una mayor divergencia en los rendimientos y sus características agronómicas, se presentó una menor variación en todas las generaciones. En este ciclo, participaron los progenitores 1, 2, 4 y 5, los cuales son comercialmente cruces triples y los progenitores 6, 7 y 8 cruces simples de distintas compañías semilleras, evidenciando que si se realiza una preselección de los híbridos participantes en las cruces, los rendimientos de las generaciones avanzadas se mantienen cercanos a los progenitores, aún cuando dos de las ocho F_1 mostraron heterosis, independientemente del número de líneas que los formaron lo que coincide con lo observado por Dias *et a.* (2004). Los bajos valores de heterosis, son un indicador de depresión endogámica, probablemente, según Charlesworth & Charlesworth, (1999), debido a efectos deletéreos de alelos recesivos por una selección balanceada, aunque esto puede ocurrir cuando los

progenitores están emparentados o que la fuente de donde se derivó el progenitor tiene el mismo origen, a diferencia de De La Cruz *et al.*, (2003) quienes mencionan aumentos de heterosis en rendimiento en cruzas de híbridos comerciales adaptados por adaptados del 183 %, en cruza entre templados del 83 % y de tropical por subtropical del 23 %, solo que la heterosis fue calculada en base a la F_2 de los progenitores.

En el ciclo del verano, en el análisis de varianza del cuadro 4, los resultados nos indican un comportamiento muy similar para Rg, Ap, Am y Dm, lo que se comprueba al observar los resultados de los contrastes ortogonales, encontrándose las diferencias más marcadas entre los grupos evaluados en NGh y Lm. Se encontraron disminuciones del rendimiento, de 4.3 % en las F_1 , 4.7 % en las F_2 y 11.9 % en las F_3 respecto a los padres. El ciclo primavera fue más benigno que el verano, lo que se expresó con 322, 1295, 939 y 154 kg ha⁻¹ más en el rendimientos de los P_1 , en F_1 , F_2 y F_3 respectivamente. La estabilidad fenotípica es influenciada en parte por la estructura genética, en este caso del nivel de heterogeneidad y de heterogocidad y el efecto del mejor ambiente, se acentúa en el ciclo primavera. Los promedios de heterosis para los dos ciclos evaluados en relación a los aumentos y disminuciones fueron de +7.4 % y -8.5 % en las F_1 , +6.7 % y -11.7 % en las F_2 y de +0.7 % y -15.5 % en las F_3 . Este comportamiento, se pueden deber a que entre los progenitores existe poca variabilidad genética en las características agronómicas evaluadas, ya que sus generaciones avanzadas se parecen a poblaciones genéticas en equilibrio (Pugh & Layrisse, 2005). En otras investigaciones, se tuvieron valores de heterosis mucho más altos y en algunos casos más bajos, siendo indicativo de las diferencias de origen en las líneas que formaron los progenitores, a que comparten un fondo genético común de patrones y grupos heteróticos, a que son cruzas entre o dentro de grupos heteróticos, (González *et al.* 1993; Bernardo, 2001; De León *et al.* 2004) y según Melchinger *et al.*, (2003) y Dias *et al.*, (2004),

recombinar un selecto grupo de genotipos, juega un papel clave en el mejoramiento de plantas y en la generación de una nueva población base. Queda claro que el uso de híbridos altamente seleccionados y adaptados, redujo la variación en rendimiento, como respuesta al número de líneas que conformaron los híbridos intervarietales, (Sahagún & Villanueva, 2003; Melchinger *et al.*, 2003) por lo que sembrar estos híbridos intervarietales o no convencionales en F_1 y F_2 , son una alternativa viable, debido a que se aprovecha tecnología ya existente, de bajo costo, que reduce los costos de producción y hace más competitivos a los agricultores. Estas cruza, fueron eficientes, según consideran Witcombe & Virk (2001), en el sentido de que, el genotipo ideal es aquel que es capaz de utilizar más eficientemente los recursos disponibles produciendo el rendimiento más alto y en este caso, la adaptación determinó superioridad sobre la heterosis, lo que coincide con Troyer, (2005) quien expresa que la adaptabilidad de los mejores híbridos es lo que ha determinado los más altos rendimientos de maíz y que ésta, ha sido más importante que la heterosis en los incrementos de producción. Andrade & Abbate, (2005) también coinciden, ya que encuentran respuestas diferentes en la producción de grano, en función de la plasticidad vegetativa y reproductiva de la especie a cultivar. Lo anterior, es congruente con los resultados que se observan en la Tabla 6, en donde el R_g , se correlacionó alta y significativamente ($P \leq 0.01\%$) con sus componentes, que son en gran medida responsables del rendimiento, la no significancia de A_p y los valores de correlación encontrados coinciden con los reportados por Halauer & Miranda (1981), lo que permite inferir que la adaptación al medio ambiente es responsable del comportamiento del rendimiento en éstos resultados. El punto de equilibrio en rendimiento (8.17 t ha^{-1}), habla claro de lo costoso que es la producción de maíz grano bajo riego y en especial la semilla híbrida, comparativamente por generaciones, solo una cruza en F_1 y F_2 , y

cuatro en F₃ en primavera y una en F₁, F₂ y F₃ respectivamente en verano, no alcanzaron este parámetro, pero todas superaron la media regional (3.6 t ha⁻¹), lo que confirma la utilidad de esta tecnología en la sostenibilidad de los agricultores.

AGRADECIMIENTOS

A la UAAAN-UL por el financiamiento de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alezones G J (2002) Evaluación de la heterosis en un cruzamiento dialélico entre siete poblaciones de maíz blanco (*Zea mays* L.). Investigación Agrícola 7:1.
- Andrade H F, Abbate P E (2005) Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. Agron. J. 97:1263-1269.
- Bernardo R (2001) Breeding potential of intra-and interheterotic group crosses in maize. Crop Sci. 41: 68-71.
- Carrera VJ A, Cervantes S T (2002) Comportamiento *per se* y en cruas de poblaciones tropicales de maíz seleccionadas en valles altos. Agrocencia 36: 693-701.
- Córdova H, S Castellanos, H Barreto, J Bolaños (2002) Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centro América: Logros y estrategias hacia el año 2000. Agronomía Mesoamericana 13(1): 73-84.
- Coutiño E B, Sánchez G G, Vidal M V A (2004) El uso de semilla F₂ de híbridos de maíz en La Frailesca, Chiapas reduce el rendimiento y las ganancias netas. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27 (3):261-266.
- Charlesworth B, Charlesworth D 1999 The genetic basis of inbreeding depression. Genet. Res., Camb. 74: 329-340.

- De La Cruz L L, Ron P J, Ramirez DJ L, Sánchez G J de J, Morales R M M, Chuela B M, Hurtado de la P S A, Mena M S (2003) Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26 (1): 1-10.
- De León C H, Sámano G D, Rincón S F, Espinoza V J (2004) Varianzas y efectos genéticos de seis variables agronómicas en una población de maíz con alta calidad proteínica. [www.uaaan.mx/Dirinv/Result/Memoria 2004/Maiz](http://www.uaaan.mx/Dirinv/Result/Memoria%202004/Maiz)
- Dias dos S L A, de Toledo P E A, Barros R R, Couto A A (2004) *A priori* choice of hybrid parents in plants. *Genet. Mol. Res.* 3 (3): 356-368.
- Engelen S, Rhuel D, De Cauwer B (2004) The quantitative and qualitative difference between a F1 hybrid of maize and its F2 generation. *Common Agric Appl Biol Sci.* 69: 41-7.
- Espinosa C A, Tadeo R M, Tapia N A (1999) Variedades mejoradas no convencionales de maíz para agrosistemas de mediana productividad. *Agricultura Técnica en México.* INIFAP. Vol. 25 Num. 2.
- Gepts P (2002) A Comparison between Crop Domestication, Classical Plant Breeding and Genetics Engineering. *Crop Sci.* 42: 1780-1790.
- González S C, Ron P J, Ramirez D J L (1993) Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16:30-41.
- Hallauer, A. R., Miranda, J. B. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding.* Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, U. S. A. 468 p.
- Lee E A, Doerksen T K, Kannenberg L W (2005) Genetic components of yield stability in maize breeding populations. *Crop Sci.* 43: 2018-2027.

- López L M, Aguilar V A (2006) Como lograr que la ganadería lechera mexicana sea competitiva a nivel internacional. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 18: 862-874.
- Melchinger A E, Geiger H H, Utz H F, Schnell F W (2003) Effect of recombination in the parent populations on the means and combining ability variances in hybrid populations of maize (*Zea mays* L.). *Theory Appl Genet*. 106 (2):332-40.
- Morris M L, Risopoulos J, Beck D (1999) Genetic Change in Farmer-Recycled Maize Seed: A Review of the Evidence. CIMMYT Economics Working Paper No. 99-07. México, D. F.: CIMMYT.
- Núñez H G, Faz C R, Contreras G F E (2003) Selección de híbridos de maíz para forraje. Producción y utilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. In Producción de forrajes. INIFAP-CIAN-CAELALA. Versión en CD.
- Pugh, T, Layrisse A (2005) Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomía Tropical*. Vol. 55 (1): 102-116.
- SAGARPA (2006) SAGARPA, FIRA In: Resumen económico anual de la Comarca Lagunera. Sector agropecuario. Edición especial, El Siglo de Torreón.
<http://www.elsiglodetorreon.com.mx/>
- Sahagún C J, Villanueva V C (2003) Coeficiente de endogamia de las variedades sintéticas de cruza dobles. *Agrociencia* 37: 641-653.
- SAS (1999) SAS Institute Inc. V.8. Cary, NC, USA.
- Šimić D, Presterl T, Seitz G, Geiger H H (2003) Comparing methods for integrating germplasm into European forage maize breeding programs. *Crop Sci*. 43: 1952-1959.
- Troyer A F (2005) Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop Sci*. 46: 528-543.

Witcombe, J. R., D. S. Virk, (2001). Number of crosses and populations size for participatory and classical plant breeding. *Euphytica* 122 (3): 451-462.

Zhu, X, Reid L M (2000). Computer Breeding for Corn. 8th Interregional Corn Conference.

<http://corn2.agron.iastate.edu/NCR167/Minutes/2000 NCR167 minutes.pdf>

Relacion de tablas

Tabla 1. Promedio mensual de temperaturas y precipitación pluvial en los últimos 10 años durante los ciclos de cultivo en Torreón, Coahuila, México.

Table 1. Monthly average of temperatures and pluvial precipitation in the last 10 years during the cycles of culture in Torreón, Coahuila, Mexico.

Tabla 2. Análisis de varianza y significancia (DMS 0.05), valores medios de variables y comparaciones ortogonales entre grupos. Ciclo primavera 2003.

Table 2. Analysis of variance and significance (DMS 0.05), average values of variables and orthogonal comparisons between groups. Cycle spring 2003.

Tabla 3. Heterosis en el rendimiento (kg ha^{-1}) en los grupos y tratamientos evaluados. Primavera 2003.

Table 3. Heterosis in the yield (kg ha^{-1}) in the evaluated groups and treatments. Spring 2003.

Tabla 4. Análisis de varianza y significancia (DMS 0.05), valores medios de variables y comparaciones ortogonales entre grupos. Verano 2003.

Table 4. Analysis of variance and significance (DMS 0.05), average values of variables and orthogonal comparisons between groups. Summer 2003.

Tabla 5. Heterosis en el rendimiento (kg ha^{-1}) en los grupos y tratamientos evaluados Verano 2003.

Table 5. Heterosis in the yield (kg ha^{-1}) in the evaluated groups and treatments summer 2003.

Tabla 6. Correlaciones entre variables medidas en los ciclos primavera (derecha) y verano (izquierda).

Table 6. Correlations between variables measured in the cycles Spring (right) and summer (left).

Tabla 1. Promedio mensual de temperaturas y precipitación pluvial en los últimos 10 años durante los ciclos de cultivo en Torreón, Coahuila, México. Table 1. Monthly average of temperatures and pluvial precipitation in the last 10 years during the cycles of culture in Torreón, Coahuila, Mexico.

	marzo	abr	mayo	jun	jul	ag	sept	oct
Temperatura °C	20.7	24.0	26.8	28.3	27.3	27.0	25.0	22.0
Precipitación Pluvial en mm	0.8	6.3	23.5	33.3	39.2	39.0	44.5	18.9

Web : <http://smn.cna.gob.mx>

Tabla 2. Análisis de varianza y significancia (DMS 0,05), valores medios de variables y comparaciones ortogonales entre grupos. Ciclo primavera 2003. Table 2. Analysis of variance and significance (DMS 0,05), average values of variables and orthogonal comparisons between groups. Cycle spring 2003.

Var	CV	DMS	P ₁	F ₁	F ₂	F ₃	C-1	C-2	C-3	C-4
Rg*	23	105	10481	9978	10025	8876	84153	19481	176	101384
Ap	9	0.10	2.0	2.0	1.9	1.9	0.16*	0.03	0.05	0.01
Am*	10	0.06	1.0	1.1	1.0	1.1	0.01	0.01	0.01	0.01
NGh*	12	2.51	36.4	35.0	35.5	33.3	61.6	25.4	25.4	61.01
Dm	6	0.16	4.4	4.4	4.3	4.2	0.17	0.01	0.01	0.11
Lm*	8	0.76	16.3	15.5	15.5	15.1	17.06**	8.09*	0.02	1.83

Rg = Rendimiento en kg ha⁻¹, Ap = Altura de planta en m, Am = Altura de mazorca en m, NGh = Número de granos por hilera, Dm = Diámetro de mazorca en cm, Lm = Longitud de mazorca en cm. CV = Coeficiente variación en %, Comparaciones ortogonales *, ** significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad respectivamente en C-1 (P₁ vs Resto), C-2 (P₁ vs F₁), C-3 (F₁ vs F₂) y C-4 (F₂ vs F₃).

Tabla 3. Heterosis en el rendimiento (kg ha^{-1}) en los grupos y tratamientos evaluados. Primavera 2003. Table 3. Heterosis in the yield (kg ha^{-1}) in the evaluated groups and treatments. Spring 2003.

Cruzas	P ₁	P ₂	F ₁	h	F ₂	h	F ₃	h
1x6	9117	10642	10646	+7.8	10375	+5.1	10079	+2.1
7x2	10871	11796	11000	-3.1	11742	+3.6	7133	-37.1
8x4	11083	10025	11292	+12.7	9842	-6.8	9896	-6.2
2x3	11796	10179	11117	-1.2	8229	-25.2	10080	-8.4
3x5	10179	10133	7621	-25.1	9658	-4.9	7758	-23.6
7x8	10871	11083	9142	-16.7	9358	-14.8	11042	+0.6
2X5	11796	10133	8838	-19.4	12096	+10.3	7171	-34.6
8X5	11082	10133	10163	-4.2	8450	-20.4	7850	-26.0
Medias	11083	10133	9978		10025		8876	

h=heterosis respecto a la media de los padres. P₁= Progenitor masculino, P₂= Progenitor femenino.

Tabla 4. Análisis de varianza y significancia (DMS 0.05), valores medios de variables y comparaciones ortogonales entre grupos. Verano 2003. Table 4. Analysis of variance and significance (DMS 0.05), average values of variables and orthogonal comparisons between groups. Summer 2003.

Var	CV	DMS	P ₁	F ₁	F ₂	F ₃	C-1	C-2	C-3	C-4
Rg	16	67.1	9518	9186	9039	8723	33033	8424	1683	7709
AP	8	0.1	2.1	2.1	2.1	1.9	0.01	0.01	0.01	0.01
AM	11	0.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.05*	0.05*	0.01	0.01
NGh*	9	1.9	36.2	32.5	35.2	32.9	126.4**	168*	90.8**	59.4**
Dm	4	0.1	4.5	4.5	4.3	4.4	0.11	0.01	0.22**	0.03
Lm*	9	0.8	14.9	13.2	14.2	13.9	19.7**	31.1**	12.2**	1.21

Rg = Rendimiento en kg ha⁻¹, Ap = Altura de planta en m, Am = Altura de mazorca en m, NGh = Número de granos por hilera, Dm = Diámetro de mazorca en cm, Lm = Longitud de mazorca en cm. CV = Coeficiente variación en %, Comparaciones ortogonales *, ** significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad respectivamente en C-1 (P₁ vs Resto), C-2 (P₁ vs F₁), C-3 (F₁ vs F₂) y C-4 (F₂ vs F₃).

Tabla 5. Heterosis en el rendimiento (kg ha⁻¹) en los grupos y tratamientos evaluados Verano 2003. Tab
 Heterosis in the yield (kg ha⁻¹) in the evaluated groups and treatments summer 2003.

Cruzas	P ₁	P ₂	F ₁	h	F ₂	h	F ₃	h
1x6	7661	10517	7742	-14.8	10158	+11.8	8849	-
7x2	10680	9378	9204	-8.2	9407	-6.2	8645	-1
8x4	9135	10009	9672	+1.0	8374	-12.5	7823	-1
2x3	9378	9070	9865	+7.0	9688	+5.0	8688	-
3x5	9070	9693	8817	-6.0	7885	-14.9	8357	-1
7x8	10680	9135	9679	-2.3	9655	-2.6	9817	-4
2X5	9378	9693	8551	-10.3	10006	+4.9	8800	-7
8X5	9135	9693	9963	+5.8	10006	+6.3	8797	-6
Medias	9390	9648	9186		9039		8723	

h=heterosis respecto a la media de los padres, P₁= Progenitor masculino, P₂= Progenitor femenino.

Tabla 6. Correlaciones entre variables medidas en los ciclos Primavera (derecha) y verano (izquierda).
 Table 6. Correlations between variables measured in the cycles Spring (right) and summer (left).

	Rg	Ap	NGh	Lm
Rg		0.02 NS	0.68**	0.51**
Ap	0.05NS		0.12NS	-0.04NS
NGh	0.35**	-0.15NS		0.14NS
Lm	0.44**	-0.18NS	0.80**	

** Altamente Significativo al 0.01 de probabilidad, NS= No significativo, Rg= Rendimiento
 Ap= Altura de planta, NGh = Número de granos por hilera, Lm = Longitud de mazorca.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, V. A. y López, L. M. 2006. Cómo lograr que la ganadería lechera mexicana sea competitiva a nivel internacional. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 18: 862-874.
- Ahumada, B. J. y Miranda, F. M. 2003. *Ciencia, Tecnología y Sociedad: Algunas reflexiones*. Documento preparado para la OEA. Bogotá, Colombia.
- Alezones, G. J. 2002. Evaluación de la heterosis en un cruzamiento dialélico entre siete poblaciones de maíz blanco (*Zea mays* L.). *Investigación Agrícola* 7:1.
- Andow, D., Lamkey, K., Daniel, H., Nafziger, E., Gepts, P. and Stayer D. 2004. A growing concern protecting the food supply in an era of pharmaceutical and industrial crops. Union of Concern Scientists. USA.
- Carrera, V. J. A. y Cervantes, S. T. 2002. Comportamiento *per se* y en cruizas de poblaciones tropicales de maíz seleccionadas en valles altos. *Agrociencia* 36: 693-701.

- Córdova, H., Castellanos, S., Barreto, H. y Bolaños, J. (2002). Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centro América: Logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana* 13: 73-84.
- Coutiño, E. B., Sánchez, G. G. y Vidal, M. V. A. (2004) El uso de semilla F₂ de híbridos de maíz en La Frailesca, Chiapas reduce el rendimiento y las ganancias netas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27:261-266.
- De La Cruz, L. L., Ron, P. J., Ramírez, D. J. L., Sánchez, G. J. de J., Morales, R. M. M., Chuela, B. M., Hurtado, de la P. S. A y Mena, M. S. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26: 1-10.
- Espinosa, A., Sierra, M. M. y Gómez, N. M. 2002. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana* 14: 117-121.
- GEM, 1987. The Germplasm Enhancement of Maize Project (GEM). USDA-ARS. USA. http://www.iastate.edu/~usda-gem/GEM_Project/GEM_Project.htm

- Gepts, P. 2002. A Comparison between Crop Domestication, Classical Plant Breeding and Genetics Engineering. *Crop Sci.* 42: 1780-1790.
- Glover, A. M., Willmont, D. B., Darrah, L.B., Hibbard, E. and X. Zhu, 2005. Diallel analyses of agronomic traits using Chinese and U.S. maize germplasm. *Crop Sci.* 45: 1096-1102.
- González, S. C., Ron, P. J. y Ramírez, D. J. L. 1993. Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16:30-41.
- IMPI, (1996). Ley Federal de Variedades Vegetales. Decreto del "Congreso de los Estados Unidos Mexicanos". México, D.F., a 3 de Octubre de 1996.
- López, L. M. 2003. El cultivo de maíz en México y la contribución del fitomejorador para favorecer la autosuficiencia. 12:596-606.
- Mikel, A. M. and J. W. Dudley, 2006. Evolution of North American dent corn from public to proprietary germplasm. *Crop Sci.* 46: 1193-1205.
- NASS, 2006. National Agricultural Statics Service. www.usda.nass.gov (21 de mayo de 2006)

Pollak, M. L. 2002. The history and success of the public-private project on enhancement of maize (GEM). USDA-ARS Corn insect and crop genetic research unit department of agronomy. Iowa State University. Ames, IA 50011.

Pugh, T y Layrisse A (2005) Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomía Tropical*. Vol. 55: 102-116.

SAGARPA, 2006. In: Resumen económico anual de la Comarca Lagunera. Sector agropecuario. Edición especial, El Siglo de Torreón. <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/>

Serna, H. B. 2006. México: Tendencias, Desafíos y Obstáculos al crecimiento agropecuario. CEPAL/México. Organización de Naciones Unidas (ONU). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

SIAP, 2006. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP) de la SAGARPA. www.siap.sagarpa.com.mx (21 de mayo 2006).

Šimić, D., Presterl, T., Seitz, G. and Geiger, H. H. 2003. Comparing methods for integrating germplasm into European forage maize breeding programs. *Crop Sci.* 43: 1952-1959.

Taba, S. 2005. Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, In: Situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding; Proceedings of a Workshop held at CIMMYT. April 3-7 2003. México, D. F.: CIMMYT.

Valdivia, B. R. y Vidal, V. A. M. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:69-76.

Zhu, X. and Reid L. M. 2000. Computer Breeding for Corn. 8th Interregional Corn Conference. [http://corn2.agron.iastate.edu/NCR167/Minutes/2000NCR167 minutes.pdf](http://corn2.agron.iastate.edu/NCR167/Minutes/2000NCR167%20minutes.pdf). (21 mayo 2006).