

Formación de un patrón heterótico con líneas templadas y tropicales de maíz*

Formation of a heterotic pattern with temperate and tropical maize lines

Sigifredo Balderrama Castro¹, José Ron Parra^{2§}, José de Jesús Sánchez González², Eduardo Rodríguez Guzmán² y Sergio Adolfo Uhart³

¹Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BEMARENA). Tel: 3336368890. (sigifredobalderrama@gmail.com). ²Instituto de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos-(IMAREFI). Tel: 33 36 82 07 43. (jjsanche@cucba.udg.mx, tutoredrg@gmail.com). Universidad de Guadalajara. Ingeniero Ramón Padilla Sánchez #2100, Las Agujas, Zapopan, Jalisco. C. P. 45101. ³Dow AgroSciences de México, S. A. de C. V. Av. Patria #2085 Piso 4. Fracc. Andares, Zapopan, Jalisco. C. P. 45116. Tel: 33 36 36 89 01. (shuart@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: jron@cucba.udg.mx.

Resumen

En los programas de mejoramiento genético de maíz (*Zea mays* L.) enfocados a la generación de híbridos, es determinante disponer de fuentes de germoplasma y contar con información respecto a grupos y patrones heteróticos que ayuden en la planeación de los cruzamientos. Este trabajo se efectuó con el propósito de formar un patrón heterótico con base en el desarrollo de poblaciones de maíz generadas con dos líneas templadas amarillas (Stiff Stalk (SS) y Non-Stiff Stalk (NSS)) en cruza con dos líneas blancas tropicales (Tuxpeño (TUX) y Cateto (CAT)). Con las líneas se formaron cuatro cruza simples posibles (SS/TUX, SS/CAT, NSS/TUX y NSS/CAT), y con estas se hicieron dos híbridos dobles no emparentados (SS/TUX//NSS/CAT y SS/CAT//NSS/TUX), para identificar en ensayos de rendimiento el de mejor desempeño; el cual, indicaría las mejores combinaciones tropical-templadas. Los ensayos fueron establecidos en cinco localidades del Subtrópico (Zapopan, León, Silao, Irapuato y Villagrán, en el ciclo primavera-verano 2011). El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar. Los resultados mostraron diferente potencial productivo de los híbridos dobles, siendo SS/TUX//NSS/CAT el mejor, destacándose también por la humedad de grano a cosecha, acame de raíz y tallo, mazorcas

Abstract

In breeding programs corn (*Zea mays* L.) focused on the generation of hybrids, it is crucial to have sources of germplasm and have information about groups and heterotic patterns to help in planning the crossovers. This work was carried out with the purpose of forming a heterotic pattern based on the development of maize populations generated with two yellow temperate lines (Stiff Stalk (SS) and Non-Stiff Stalk (NSS)) in crosses with two tropical white lines (Tuxpeño (TUX) and Hick (CAT)). With four possible single crosses lines (SS/TUX, SS/CAT, NSS/TUX and NSS/CAT) were formed, and these two double hybrids unrelated (SS/TUX//NSS/CAT and SS/CAT//NSS/TUX) to identify performance tests the best performance; which would indicate the best tropical-temperate combinations. The trials were established in five locations in the subtropics (Zapopan, Leon, Silao, Irapuato and Villagran, in the spring-summer 2011). The experimental design was a randomized complete block. The results showed different productive potential of double hybrids, with SS/TUX//NSS/CAT best, also highlighted by the grain moisture at harvest, root lodging and stalk, ear rot, *Fusarium* stalk rot and leaf spot *Cercospora*. Based on the results, a heterotic pattern formed by an "A" group

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: abril de 2016

podridas, pudrición de tallo por *Fusarium* y mancha foliar causada por *Cercospora*. Basado en los resultados, se definió un patrón heterótico formado por un grupo "A" que se integra con la combinación de las líneas Stiff Stalk y Tuxpeño y el grupo heterótico opuesto "B" integrado por la cruce de las líneas Non-Stiff Stalk y Cateto.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, patrones heteróticos, variabilidad genética.

Introducción

En los programa de mejoramiento genético dirigido a la producción de híbridos, los fitomejoradores tienen dos importantes decisiones que tomar, principalmente: 1) elegir las fuentes de germoplasma; y 2) decidir sobre los métodos de mejoramiento genético a emplear. En cuanto a las fuentes de germoplasma, mientras mayor sea el conocimiento y clasificación en grupos y patrones heteróticos, mayores serán las posibilidades de éxito al hacer un mejor enfoque en el uso de las fuentes en la generación de híbridos (Goldman, 1998).

La información científica sobre maíz (*Zea mays* L.) en las zonas templadas es mayor que la generada en ambientes tropicales (Paliwal *et al.*, 2001). Los genotipos tropicales de maíz presentan una limitada capacidad para fijar un alto número de granos por metro cuadrado, a diferencia de los templados. Esta diferencia se explica parcialmente por el efecto del mejoramiento genético que ha contribuido a la adaptación de estos últimos a altas densidades poblacionales; lo cual, se refleja en una mayor eficiencia en la formación de granos por unidad de superficie (Andrade *et al.*, 1996). La aparición de híbridos que combinan las características favorables de ambos tipos de germoplasma, han permitido una mejor adaptación a zonas tropicales y subtropicales, así como también en zonas templadas (Nelson y Goodman, 2008).

En general las fuentes tropicales muestran buena combinación con los materiales templados del grupo Stiff Stalk Synthetic en comparación con otras fuentes templadas de los Estados Unidos (Ron-Parra y Hallauer, 1997). Las fuentes de germoplasma tropical en Estados Unidos han sido empleadas como fuente de resistencia a enfermedades e insectos, principalmente (Goodman, 1999). Holley y Goodman (1988), reportaron que cruces de materiales tropical por templado han resultado competitivas comparadas con los híbridos templados comerciales en Estados Unidos; de

that integrates with the combination of the lines Stiff Stalk and Tuxpeño and the opposite heterotic "B" formed by the cross of Non-Stiff Stalk lines group was defined and hick.

Keywords: *Zea mays* L., combining abilities, genetic variability, heterotic patterns.

Introduction

In the breeding program aimed at the production of hybrids, plant breeders have two important decisions to make, namely: 1) choose the sources of germplasm; and 2) deciding on breeding methods to be used. As for the sources of germplasm, the greater the understanding and classification into groups and heterotic patterns, the greater the chances of success by making a better approach in the use of sources in generating hybrids (Goldman, 1998).

Scientific information on corn (*Zea mays* L.) in temperate zones is greater than that generated in tropical environments (Paliwal *et al.*, 2001). Tropical maize genotypes have limited ability to set a high number of grains per square meter, unlike temperate. This difference is partly explained by the effect of genetic improvement that has contributed to the adaptation of the latter to high population densities; which it is reflected in greater efficiency in the formation of grains per unit area (Andrade *et al.*, 1996). The appearance of hybrids that combine the favorable characteristics of both types of germplasm, have allowed a better adaptation to tropical and subtropical areas, as well as in temperate zones (Nelson and Goodman, 2008).

Generally tropical sources show good combination with hardened materials Stiff Stalk Synthetic group compared to other temperate US sources (Ron-Parra and Hallauer, 1997). Tropical germplasm sources in the US have been used as a source of resistance to diseases and insects, mainly (Goodman, 1999). Holley and Goodman (1988), reported that crosses tropical tempered materials have proved competitive compared with commercial mild hybrids in the United States; likewise Goodman *et al.* (1990) and Uhr and Goodman (1995) say they have had favorable results with tropical combinations.

One of the ways that favor broadening the genetic base of tropical maize is favorable incorporate characters from exotic germplasm; which the implementation of efficient

igual manera Goodman *et al.* (1990) y Uhr y Goodman (1995) señalan haber tenido resultados favorables con combinaciones tropicales.

Una de las formas que favorecen la ampliación de la base genética del maíz tropical es incorporar caracteres favorables provenientes de germoplasma exótico; lo cual, para lograrse de forma rápida, es necesaria la implementación de métodos eficientes que ayuden a valorar el porcentaje apropiado de germoplasma exótico más conveniente para cada región (Darsana *et al.*, 2004). Hay varias alternativas para la incorporación de caracteres útiles en materiales adaptados, y las metodologías a usar dependen de la heredabilidad, acción génica, número de genes involucrados, heterosis y la interacción genotipo ambiente. De esta manera, cuando se cuenta con germoplasma valioso, hacer mejoramiento incorporando caracteres deseables de germoplasma exótico en fuentes adaptadas es usualmente una técnica recomendada (Eberhart *et al.*, 1995; Ron-Parra y Hallauer, 1997; Hallauer y Carena, 2014).

El uso de germoplasma templado de maíz en programas de mejoramiento tropical ha sido poco documentado, pero en general ha ido creciendo. Actualmente muchos híbridos tropicales contienen parte de germoplasma templado. Según la experiencia de fitomejoradores de ambientes tropicales, el uso de germoplasma templado en cruza con tropical ha contribuido a mejorar la heterosis para rendimiento de grano. Esto puede deberse a que alelos favorables o regiones genómicas de los materiales templados en varios casos han encontrado complementariedad en cruzamientos con fuentes tropicales. También ha sido claro que los materiales templados en regiones tropicales han mostrado susceptibilidad a insectos, enfermedades y baja calidad de grano; por lo que, es necesario diseñar programas de mejoramiento que reduzcan estos aspectos desfavorables a través de combinaciones con fuentes tropicales (Wen *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2013).

Grupos y patrones heteróticos son conceptos relacionados con la formación de híbridos y el fenómeno de la heterosis, el primero se usa para referirse a un grupo de individuos, relacionados o no, que provienen de la misma o diferente población pero que muestran similar comportamiento en aptitud combinatoria y heterosis cuando se cruzan con individuos de otro grupo genéticamente diferente (Melchinger y Gumber, 1998). El conocimiento de grupos y patrones heteróticos facilita la selección de líneas para hacer cruzamientos en programas de hibridación; debido a que, los híbridos se forman cruzando líneas de dos grupos

methods to help assess the appropriate percentage of each region more convenient for exotic germplasm, to be achieved quickly, it is necessary (Darsana *et al.*, 2004). There are several alternatives for the incorporation of useful characters in suitable materials and methodologies to use depend heritability, gene action, number of genes involved, and heterosis genotype environment interaction. Thus, when it has valuable germplasm, making improvements incorporating desirable traits of exotic germplasm sources adapted is usually a recommended technique (Eberhart *et al.*, 1995; Ron-Parra and Hallauer, 1997; Hallauer and Carena, 2014).

The use of temperate maize germplasm in tropical breeding programs has been poorly documented, but in general has been growing. Currently many tropical hybrids contain some temperate germplasm. In the experience of breeders of tropical environments, the use of temperate germplasm in crosses with tropical has helped improve heterosis for grain yield. This may be due to favorable alleles, or genomic regions of temperate materials in several cases found in crossbreeding with tropical complementary sources. It has also been clear that the hardened materials in tropical regions have shown susceptibility to pests, diseases and poor quality grain; therefore, it is necessary to design breeding programs to reduce these unfavorable aspects through combinations with tropical sources (Wen *et al.*, 2012; Ramirez *et al.*, 2013).

Groups and heterotic patterns are concepts related to hybrid formation and the phenomenon of heterosis, the first is used to refer to a group of individuals, related or not, who come from the same or different population but show similar behavior in fitness combinatorics and heterosis when crossed with other individual's genetically different group (Melchinger and Gumber, 1998). Knowledge of patterns heterotic groups and facilitates the selection of lines to make crosses in breeding programs; due to, hybrids are formed across two complementary lines heterotic groups, which in turn represent a heterotic pattern. Initially, groups and heterotic patterns were developed empirically by observing crossbreeding with better performance. In the crop corn generally they must defined heterotic patterns as Iowa Stiff Stalk Synthetic (SSS) by Non-SSS for the United States, Crystalline by Jagged for Northern Europe and South America, and Tuxpeños by Non-Tuxpeños for regions of the Tropics and subtropics (Bernardo, 2010).

Ron-Parra and Hallauer (1997) and Reif *et al.* (2003) indicate that to improve heterosis in grain yield in tropical maize, it can be achieved with the incorporation of exotic germplasm

heteróticos complementarios, que a su vez, representan un patrón heterótico. Inicialmente, los grupos y patrones heteróticos fueron desarrollados empíricamente al observar los cruzamientos con mejor desempeño. En el cultivo de maíz, de forma general se tienen definidos patrones heteróticos como Iowa Stiff Stalk Synthetic (SSS) por Non-SSS para Estados Unidos, Cristalinos por Dentados para el Norte de Europa y Sur de América, y Tuxpeños por No-Tuxpeños para las regiones de los Trópicos y Subtrópicos (Bernardo, 2010).

Ron-Parra y Hallauer (1997) y Reif *et al.* (2003), señalan que para mejorar la heterosis en rendimiento de grano en el maíz tropical, se puede lograr con la incorporación de germoplasma exótico con el propósito de aumentar la distancia genética entre las fuentes de grupos heteróticos opuestos. Normalmente el desempeño de las poblaciones que se usan como fuentes de germoplasma es afectado cuando se hace incorporación de germoplasma exótico; debido a que, las poblaciones están adaptadas a su ambiente y el germoplasma exótico no; para reducir esta desventaja, los fitomejoradores hacen retrocruzas para recuperar el buen desempeño de las poblaciones originales poniendo atención en no perder los caracteres deseables del germoplasma exótico empleado (Cowling, 2013).

Tomando en cuenta que en los programas de mejoramiento genético de maíz enfocado a la generación de híbridos, el éxito a lograr está determinado en gran parte por las fuentes de germoplasma que se emplean como base para la generación de las líneas parentales, es necesario implementar estrategias que permitan obtener poblaciones con caracteres deseables y generar la información respecto a grupos y patrones heteróticos que ayuden en la planeación de los cruzamientos para obtener híbridos con alto potencial de rendimiento de grano, sanidad y estabilidad. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue formar un patrón heterótico con base en el desarrollo de poblaciones de maíz generadas con dos líneas templadas amarillas (Stiff Stalk y Non-Stiff Stalk) en cruza con dos líneas blancas tropicales (Tuxpeño y Cateto), buscando las mejores combinaciones tropical-templadas para mantener los grupos heteróticos en las condiciones que generen un mejor potencial productivo en la formación de híbridos.

Materiales y métodos

Se identificaron dos híbridos de maíz sobresalientes (ciclo otoño-invierno, Sinaloa 2009-2010), uno formado por dos líneas amarillas templadas (Stiff Stalk (SS) y Non-Stiff Stalk

in order to increase the genetic distance between sources of opposite heterotic groups. Normally the performance of stocks that are used as sources of germplasm is affected when incorporation of exotic germplasm is made; because the populations are adapted to their environment and not exotic germplasm; to reduce this disadvantage, plant breeders make backcrosses to recover the good performance of the original populations taking care not to lose the desirable traits of exotic germplasm employee (Cowling, 2013).

Taking into account that in breeding programs corn focused on the generation of hybrids, the success achieved is largely determined by the sources of germplasm that are used as the basis for generating parental lines, it is necessary to implement strategies that will generate populations with desirable traits and generate information about groups and heterotic patterns to help in planning for crossbreeding hybrids with high grain yield potential, health and stability. Therefore, the objective of this study was to form a heterotic pattern based on the development of maize populations generated with two yellow temperate lines (Stiff Stalk and Non-Stiff Stalk) in crosses with two tropical white lines (Tuxpeño and Hick) looking for the best tropical-temperate combinations to keep heterotic groups under the conditions that create a better productive potential in the formation of hybrids.

Materials and methods

The outstanding two-hybrid corn (fall-winter cycle, Sinaloa 2009-2010), one formed by two warm yellow lines (Stiff Stalk (SS) and Non-Stiff Stalk (NSS) and the other two were identified by tropical white corn (Tuxpeño (TUX) x Hick (CAT)); and based on the performance of hybrids, the four lines for the formation of maize populations were used. For the formation of the sources of germplasm cross temperate lines were made by tropical lines for the purpose of incorporating favorable characters from exotic germplasm (tempered) in adapted materials (tropical) as indicated by Ron-Parra and Hallauer (1997).

In the first instance it was not known the best combination to make the crosses of the two lines of yellow corn with temperate tropical two white lines; so, we proceeded to make the four possible crosses (SS/TUX, SS/CAT, NSS/TUX and NSS/CAT). These crosses were performed in the cycle Spring-Summer 2010 in Zapopan, Jalisco (20° 45' 30" north latitude - 103° 32' 50" west longitude).

(NSS)) y el otro por dos de maíz blanco tropical (Tuxpeño (TUX) x Cateto (CAT)); y con base en el desempeño de los híbridos, se utilizaron las cuatro líneas para la formación de poblaciones de maíz. Para la formación de las fuentes de germoplasma se hicieron cruza de las líneas templadas por las líneas tropicales con el propósito de incorporar caracteres favorables provenientes de germoplasma exótico (templado) en materiales adaptados (tropicales) como señalan Ron-Parra y Hallauer (1997).

En primer instancia no se conocía la mejor combinación para hacer las cruza de las dos líneas de maíz amarillo templadas con las dos líneas blancas tropicales; por lo que, se procedió a hacer las cuatro cruza posibles (SS/TUX, SS/CAT, NSS/TUX y NSS/CAT). Estas cruza se realizaron en el ciclo Primavera-Verano 2010 en Zapopan, Jalisco (20° 45' 30" latitud norte - 103° 32' 50" longitud oeste).

En el ciclo otoño-invierno 2010-2011 en Coquimatlán, Colima (19° 13' 13" latitud norte - 103° 47' 50" longitud oeste), con las cuatro cruza simples se hicieron los dos híbridos dobles no emparentados (SS/TUX//NSS/CAT y SS/CAT//NSS/TUX).

En el ciclo primavera-verano 2011 se evaluaron los híbridos dobles en ensayos de rendimiento para identificar el de mejor desempeño; el cual, indicaría las mejores combinaciones tropical-templadas para identificar el patrón y grupos heteróticos, y con base en esto formar las poblaciones de maíz que se usarían como fuentes de germoplasma. Los ensayos fueron establecidos en cinco ambientes subtropicales: Zapopan, Jalisco (20° 45' 30" latitud norte - 103° 32' 50" longitud oeste), León, Guanajuato (21° 03' 55" latitud norte - 101° 43' 23" longitud oeste), Silao, Guanajuato (20° 55' 48" latitud norte - 101° 27' 22" longitud oeste), Irapuato, Guanajuato (20° 39' 21" latitud norte - 101° 17' 18" longitud oeste) y Villagrán, Guanajuato (20° 30' 53" latitud norte - 100° 58' 43" longitud oeste). En los ensayos de rendimiento, junto con los dos híbridos dobles se incluyeron dos híbridos de maíz comercial como testigos (2A120 híbrido amarillo de Dow y 30P16 híbrido blanco de Pioneer), para emplearlos como referencia y valorar el desempeño de las cruza experimentales.

El diseño experimental empleado fue el de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones en cada una de las localidades, quedando la parcela útil conformada por dos surcos de 4 metros de largos. Las variables estudiadas fueron: rendimiento de grano (kg ha⁻¹), humedad del grano

In the autumn-winter 2010-2011 in Coquimatlan, Colima (19° 13' 13" north latitude - 103° 47' 50" west longitude), with four single crosses two double hybrids were unrelated (SS/TUX//NSS/CAT and SS/CAT//NSS/TUX).

In the spring-summer 2011 cycle double hybrids were evaluated in yield trials to identify the best performers; which would indicate the best temperate-tropical to identify the pattern and heterotic groups, and based on this form combinations maize stocks would be used as sources of germplasm. The trials were established in five subtropical environments: Zapopan, Jalisco (20° 45' 30" north latitude - 103° 32' 50" west longitude), Leon, Guanajuato (21° 03' 55" north latitude - 101° 43' 23" west longitude), Silao, Guanajuato (20° 55' 48" north latitude - 101° 27' 22" west longitude), Irapuato, Guanajuato (20° 39' 21" north latitude - 101° 17' 18" west longitude) y Villagran, Guanajuato (20° 30' 53" north latitude - 100° 58' 43" west longitude). In performance tests, along with two double hybrid two-hybrid commercial maize as witnesses (2A120 Hybrid Dow yellow and white hybrid Pioneer 30P16) were included, for use as reference and evaluate the performance of experimental crosses.

The experimental design was the randomized complete block design with three replications in each of the towns, leaving the useful plot consists of two rows of 4 meters long. The variables studied were: grain yield (kg ha⁻¹), grain moisture at harvest (%), root lodging and stalk, ear rot, stalk rot *Fusarium* and leaf spot caused by *Cercospora* (these last 4 variables were recorded with rating from 1 to 9, where 9 is best).

In the spring-summer 2012 in Zapopan, Jalisco (0° 45' 30" north latitude - 103° 32' 50" west longitude) F2 of single crosses that gave rise to two-hybrid best performance was obtained (SS/TUXF2 and NSS/CATF2) to form maize populations that would be used as sources of germplasm in hybrid formation, taking into account the pattern and heterotic groups identified.

Results and discussion

In the Tables 1 and 2 show the results of temperate and tropical white yellow hybrids are shown; respectively, they were identified as outstanding materials; and of which the parental lines for generating populations of maize for use as germplasm sources were used.

a cosecha (%), acame de raíz y tallo, mazorcas podridas, pudrición de tallo por *Fusarium* y mancha de la hoja causada por *Cercospora* (estas 4 últimas variables fueron registradas con calificación de 1 a 9, donde 9 es lo mejor).

En el ciclo primavera-verano 2012 en Zapopan, Jalisco (20° 45' 30" latitud norte - 103° 32' 50" longitud oeste) se obtuvo la F2 de las cruza simples que dieron origen al híbrido doble de mejor desempeño (SS/TUXF2 y NSS/CATF2) para formar las poblaciones de maíz que serían empleadas como fuentes de germoplasma en la formación de híbridos, tomando en cuenta el patrón y grupos heteróticos identificados.

Resultados y discusión

En los Cuadros 1 y 2 se muestran los resultados de los híbridos amarillo templado y blanco tropical; respectivamente, que fueron identificados como materiales sobresalientes; y de los cuales, se utilizaron las líneas parentales para la generación de poblaciones de maíz para emplearse como fuentes de germoplasma.

The results of grain yield of double hybrids and two witnesses established in the five locations are shown in Table 3. The combined analysis of variance for grain yield showed significant differences between hybrids ($p \leq 0.01$) and between localities ($p 0.01$), and showed no significant differences for the interaction Hybrid Towns ($p = 0.36$). The results indicate that the productive potential of hybrids is significantly different, and according to the comparison of means (DMS $\alpha = 0.05$) two double hybrids have different production potential, with SS/TUX//NSS/CAT best; which, compared to controls employees (2A120 and 30P16) no observed significant differences. These results demonstrate that in the hybrid formation, combinations of tropical germplasm mild hybrids can generate high grain yield potential. In this regard, Oyervides *et al.* (1985), the evaluation of crosses between populations developed in Mexico and US populations, found good heterotic response tests established in Mexico for combinations Stiff Stalk Synthetic and Lancaster crossed by ETO and Tuxpeño.

Similarly Wen *et al.* (2012) to make combinations with lines from the project called Improvement of Maize Germplasm (GEM acronym) with lines developed at CIMMYT (CMLs)

Cuadro 1. Resultados de evaluación de híbridos de maíz amarillo de donde se seleccionó la cruza SS/NSS para emplear sus líneas en la formación de fuentes de germoplasma. Sinaloa (Los Mochis, Juan José Ríos, Angostura y Culiacán). Otoño - invierno 2009-2010.

Table 1. Results of evaluation of yellow corn hybrids where the SS/NSS crossing selected lines for use in forming germplasm sources. Sinaloa (Los Mochis, Juan Jose Rios, Angostura and Culiacan). Autumn - Winter 2009-2010.

Híbrido	Rendimiento grano (t ha ⁻¹)	DK2030Y (%)	Humedad grano (%)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Muerte prematura (1 a 9)
2A120 (testigo)	9.50	87	13	250	135	4
DK2030Y (testigo)	10.96	100	12	242	134	7
31G66 (testigo)	8.82	80	13	255	135	7
CAT/CAR	8.71	79	15	275	175	7
CAT/SUW	11.22	102	14	269	160	6
CAT/TUX	8.71	79	14	256	145	7
MAI/CAT	9.31	85	15	278	170	6
MAI/NSS	10.57	96	13	267	155	5
MAI/SS	9.99	91	11	262	149	4
SS/NSS	11.77	107	11	252	131	6
TUX/SUW	9.31	85	17	250	140	8
Media	9.90		13	260	148	6
DMS (0.05)	1.65		2	21	16	1
CV (%)	13		5	4	7	7

La muerte prematura se registró con calificación de 1 a 9, donde 9 es lo mejor. S= Stiff Stalk; NSS= Non-Stiff Stalk; TUX= Tuxpeño; CAT= Cateto; CAR= Caripeño; MAI= Maia y SUW= Suwan.

Cuadro 2. Resultados de evaluación de híbridos de maíz blanco de donde se seleccionó la cruza TUX/CAT para emplear sus líneas en la formación de fuentes de germoplasma. Sinaloa (Los Mochis, Guasave y Culiacán). Otoño- invierno 2009-2010.

Table 2. Results of evaluation of white maize hybrids where the TUX / CAT crosses was selected for use in forming lines of germplasm sources. Sinaloa (Los Mochis, Guasave and Culiacan). Autumn-Winter 2009-2010.

Híbrido	Rendimiento grano (t ha ⁻¹)	Cebú (%)	Humedad grano (%)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Muerte prematura (1 a 9)
DAS2305 (testigo)	15.56	106	14	264	158	8
30P49 (testigo)	15.18	103	12	247	135	8
Cebú (testigo)	14.69	100	13	242	138	7
DK2030 (testigo)	14.35	98	14	247	145	7
SS-5/NSS-6	13.29	90	13	231	120	7
SS-18/NSS-64	11.44	78	11	230	129	4
SS-18/NSS-82	11.36	77	11	233	132	5
SS-18/NSS-87	13.79	94	12	238	133	5
TUX/CAT	15.70	107	13	256	136	8
TUX/MAI-16	11.35	77	11	230	116	3
TUX/NSS	11.19	76	15	219	122	6
TUX/SUW	13.39	91	15	233	125	6
Media	13.44		13	239	132	6
DMS (0.05)	2.77		2	22	18	1
CV (%)	11		6	5	7	6

La muerte prematura se registró con calificación de 1 a 9, donde 9 es lo mejor. SS= Stiff Stalk; NSS= Non-Stiff Stalk; TUX= Tuxpeño; CAT= Cateto; SUW= Suwan y MAI= Maia.

Los resultados de rendimiento de grano de los híbridos dobles y los dos testigos establecidos en las cinco localidades se muestran en el Cuadro 3. El análisis de varianza del combinado para rendimiento de grano mostró diferencias significativas entre híbridos ($p \leq 0.01$) y entre localidades ($p \leq 0.01$), y no mostró diferencias significativas para la interacción Híbridos por Localidades ($p = 0.36$). Los resultados indican que el potencial productivo de los híbridos es significativamente diferente, y según la comparación de medias (DMS $\alpha = 0.05$) los dos híbridos dobles tienen diferente potencial productivo, siendo SS/TUX//NSS/CAT el mejor; el cual, comparando con los testigos empleados (2A120 y 30P16) no observó diferencias significativas. Estos resultados demuestran que en la formación de híbridos, las combinaciones de germoplasma tropical con templado pueden generar híbridos con alto potencial en rendimiento de grano. Al respecto, Oyervides *et al.* (1985), en la evaluación de cruza entre poblaciones desarrolladas en México y poblaciones de Estados Unidos, encontraron buena respuesta heterótica en las pruebas establecidas en México para las combinaciones Stiff Stalk Synthetic y Lancaster cruzadas por ETO y Tuxpeño.

found that the incorporation of the temperate lines (GEM) in crosses with the tropical (CMLs) improved heterosis for grain yield; which may be due to favorable alleles, or genomic regions of temperate materials in several cases found in crossbreeding with tropical complementary sources. In this regard, also Ron-Parra and Hallauer (1997) and Reif *et al.* (2003) indicate that to improve heterosis in grain yield in tropical maize, can be achieved with the incorporation of exotic germplasm in order to increase the genetic distance between sources of opposite heterotic groups; which it is reflected in the results obtained in this study.

The results for the agronomic and phytosanitary characters combined analysis are shown in Table 4. Analysis of variance showed significant differences among hybrids for the variables evaluated: grain moisture ($p \leq 0.01$), lodging ($p \leq 0.01$), ear rot ($p \leq 0.01$), *Fusarium* stalk rot ($p \leq 0.01$) and *Cercospora* leaf spot caused by ($p \leq 0.01$). Based on the comparison of means (DMS $\alpha = 0.05$) of the two double hybrids, the SS/TUX//NSS/CAT showed better productive potential, also noted for its earliness (13.8% moisture at harvest) and his best behavior for variables flattens root

Cuadro 3. Rendimiento de grano de los híbridos dobles y testigos establecidos en cinco ambientes del Subtrópico en el ciclo Primavera- verano de 2011.

Table 3. Grain yield of double hybrids and witnesses set in five environments subtropics in the 2011 spring-summer cycle.

Híbrido	Combinado (t ha ⁻¹)	Zapopan Jalisco (t ha ⁻¹)	León Guanajuato (t ha ⁻¹)	Irapuato Guanajuato (t ha ⁻¹)	Silao Guanajuato (t ha ⁻¹)	Villagrán Guanajuato (t ha ⁻¹)
SS/CAT//NSS/TUX	12.01 C	7.87	13.37	12.32	14.82	11.69
SS/TUX//NSS/CAT	13.03 AB	8.40	14.03	12.96	17.26	12.48
2A120 (testigo)	12.28 BC	8.77	13.16	12.97	14.76	11.73
30P16 (testigo)	13.64 AB	9.75	14.56	13.20	18.70	11.99
Media	12.74	8.70	13.78	12.86	16.38	11.97
DMS (0.05)	0.92	1.86	2.38	2.41	3.33	2.09
CV (%)	10	11	9	9	10	9

Las letras A, B y C son utilizadas para señalar grupos en la comparación de medias, donde lestras iguales indican pertenencia al mismo grupo (estadísticamente iguales). SS= Stiff Stalk; NSS= Non-Stiff Stalk; TUX= Tuxpeño y CAT= Cateto.

De igual manera Wen *et al.* (2012) al hacer combinaciones con líneas provenientes del proyecto denominado Mejoramiento de Germoplasma de Maíz (GEM, por sus siglas en inglés) con líneas desarrolladas en el CIMMYT (CMLs) encontraron que la incorporación de las líneas templadas (GEM) en cruza con las tropicales (CMLs) mejoraron la heterosis para rendimiento de grano; lo cual, puede deberse a que alelos favorables o regiones genómicas de los materiales templados en varios casos han encontrado complementariedad en cruzamientos con fuentes tropicales. Al respecto, también Ron-Parra y Hallauer (1997) y Reif *et al.* (2003), señalan que para mejorar la heterosis en rendimiento de grano en el maíz tropical, se puede lograr con la incorporación de germoplasma exótico con el propósito de aumentar la distancia genética entre las fuentes de grupos heteróticos opuestos; lo cual, se refleja en los resultados obtenidos en este estudio.

Los resultados para los caracteres agronómicos y fitosanitarios del análisis combinado se muestran en el Cuadro 4. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre híbridos para las variables evaluadas: humedad del grano ($p \leq 0.01$), acame ($p \leq 0.01$), mazorcas podridas ($p \leq 0.01$), pudrición de tallo por *Fusarium* ($p \leq 0.01$) y mancha foliar causada por *Cercospora* ($p \leq 0.01$). Con base en la comparación de medias (DMS = 0.05), de los dos híbridos dobles, el SS/TUX//NSS/CAT que mostró mejor potencial productivo, también se destacó por su precocidad (13.8% de humedad a la cosecha) y por su mejor comportamiento para las variables acame de raíz y tallo, mazorcas podridas, pudrición de tallo por *Fusarium* y mancha de la hoja causada por *Cercospora*. El buen

and stem, ear rot, *Fusarium* stalk rot and leaf spot caused by *Cercospora*. The good performance of this hybrid combinations shows that in temperate tropical germplasm, as well as increasing heterosis for grain yield, also be achieved maintain good adaptation; which it is reflected in the results of agronomic and phytosanitary variables. With respect to the variable grain yield and earliness, it is confirmed that found by Ramirez *et al.* (2013) to evaluate the central-western region of Mexico you cross diallel formed between populations of tropical origin and tempered in the sense that the temperate germplasm can make important contributions to improve heterosis for grain yield and shorter cycle.

The good performance shown by two double hybrids with respect to witnesses confirms that there is generally good response to make crosses tropical germplasm tempered, as point out Goodman *et al.* (1990), Uhr and Goodman (1995), Ron-Parra and Hallauer (1997), De Leon *et al.* (2005), Nelson and Goodman (2008), Wen *et al.* (2012), Ramirez *et al.* (2013), Esquivel *et al.* (2013) and Hallauer and Carena (2014). In the case of this study, seeking the best combination in the crossing of maize lines selected for the formation of sources of germplasm, the good performance of two hybrid SS/TUX//NSS/CAT shown in the results indicates that the pattern heterotic formed is integrated by a heterotic group (a) made by combining lines Stiff Stalk x Tuxpeño and its counterpart (group B) by the combination of the Non-Stiff Stalk and Hick lines.

desempeño de este híbrido demuestra que en combinaciones de germoplasma templado con tropical, además de aumentar la heterosis para rendimiento de grano, también se puede lograr mantener una buena adaptación; la cual, es reflejada en los resultados de las variables agronómicas y fitosanitarias. Con respecto a las variables rendimiento de grano y precocidad, se confirma lo encontrado por Ramírez *et al.* (2013) al evaluar en la región Centro-Occidente de México cruza dialélicas formadas entre poblaciones de origen tropical y templado en el sentido de que el germoplasma templado puede hacer contribuciones importantes al mejorar la heterosis para rendimiento de grano y con ciclo más corto.

Conclusions

The analysis of the results of grain yield, agronomic and phytosanitary characters of the two double hybrids indicates that the incorporation of temperate germplasm in tropical can increase heterosis without losing adaptation, and the formation of maize populations for use as sources germplasm is important to seek the best combination of original materials to keep the heterotic groups under the conditions that will generate a better productive potential in the formation of hybrids.

Cuadro 4. Combinado de los caracteres agronómicos y fitosanitarios de los híbridos dobles y testigos establecidos en cinco ambientes del Subtrópico en el ciclo primavera- verano de 2011 (Zapopan, Jalisco; León, Silao, Irapuato y Villagrán, Guanajuato).

Table 4. Combined agronomic and phytosanitary characters of double hybrids and witnesses set in five environments subtropics in the spring-summer cycle of 2011 (Zapopan, Jalisco, Leon, Silao, Irapuato and Villagran, Guanajuato).

Híbrido	Humedad grano (%)	Acame raíz + tallo (1 a 9)	Mazorcas podridas (1 a 9)	<i>Fusarium</i> (1 a 9)	<i>Cercospora</i> (1 a 9)
SS/CAT//NSS/TUX	14.6 B	6.6 B	6.1 C	6.3 B	6.0 B
SS/TUX//NSS/CAT	13.8 C	7.6 A	7.7 A	7.7 A	7.0 A
2A120 (testigo)	14.8 B	7.2 A	7.5 A	5.9 B	4.9 C
30P16 (testigo)	18.6 A	7.5 A	7.0 B	7.9 A	6.0 B
Media	15.4	7.2	7.1	6.9	6.0
DMS (0.05)	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5
CV (%)	4	8	8	12	11

Las variables acame de raíz y tallo, mazorcas podridas, pudrición de tallo por *Fusarium* y mancha de la hoja causada por *Cercospora* fueron registradas con calificación de 1 a 9, donde 9 es lo mejor. Las letras A, B y C son utilizadas para señalar grupos en la comparación de medias, donde letras iguales indican pertenencia al mismo grupo (estadísticamente iguales). SS= Stiff Stalk; NSS= Non-Stiff Stalk; TUX= Tuxpeño y CAT= Cateto.

El buen desempeño mostrado por los dos híbridos dobles con respecto a los testigos confirma que en general hay buena respuesta al hacer cruzamientos de germoplasma tropical por templado, como señalan Goodman *et al.* (1990), Uhr y Goodman (1995), Ron-Parra y Hallauer (1997), De León *et al.* (2005), Nelson y Goodman (2008), Wen *et al.* (2012), Ramírez *et al.* (2013), Esquivel *et al.* (2013) y Hallauer y Carena (2014). En el caso de este estudio, buscando la mejor combinación en el cruzamiento de las líneas de maíz seleccionadas para la formación de fuentes de germoplasma,

Based on the hybrid double SS/TUX//NSS/CAT showed the best performance a heterotic pattern formed by an "A" group that integrates with the combination of lines Tuxpeño and Stiff Stalk and the opposite heterotic group defined "B" consists of the crossing of the line Non-Stiff Stalk and the line Hick.

End of the English version



el buen desempeño del híbrido doble SS/TUX//NSS/CAT mostrado en los resultados indica que el patrón heterótico formado queda integrado por un grupo heterótico (A) hecho por la combinación de las líneas Stiff Stalk x Tuxpeño y su contraparte (grupo B) por la combinación de las líneas Non-Stiff Stalk y Cateto.

Conclusiones

El análisis de los resultados del rendimiento de grano, caracteres agronómicos y fitosanitarios de los dos híbridos dobles indica, que la incorporación de germoplasma templado en tropical puede aumentar la heterosis sin perder adaptación, y en la formación de poblaciones de maíz para empleo como fuentes de germoplasma es importante buscar la mejor combinación de los materiales originales para mantener los grupos heteróticos en las condiciones que generarán un mejor potencial productivo en la formación de híbridos.

Basado en que el híbrido doble SS/TUX//NSS/CAT mostró el mejor desempeño, se definió un patrón heterótico formado por un grupo "A" que se integra con la combinación de las líneas Stiff Stalk y Tuxpeño y el grupo heterótico opuesto "B" integrado por la cruce de la línea Non-Stiff Stalk y la línea Cateto.

Literatura citada

- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S. y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo del maíz. Dekalb Press. Buenos Aires. Argentina. 292 p.
- Bernardo, R. 2010. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press. Woodbury, Minnesota, USA 311-313 pp.
- Cowling, W. A. 2013. Sustainable plant breeding. *Plant Breed.* 132(1):1-9.
- Darsana, P.; Samphantharak, K. and Silapapun, A. 2004. Genetic potential of exotic germplasm introduced from different latitudes for the improvement of tropical maize (*Zea mays* L.). *Kasetsart J. Natural Sci.* 38:1-10.
- De-León, C. H.; Rincón, S. F.; Reyes, V. M. H.; Sámano, G. D.; Martínez, Z. G.; Cavazos, C. R. y Figueroa, C. J. D. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):135-143.
- Eberhart, S. A.; Salhuana, W.; Sevilla, R. and Taba, S. 1995. Principles for tropical maize breeding (Latin America). *Maydica.* 40(4):339-355.
- Esquivel, E. G.; Castillo, G. F.; Hernández, C. J. M.; Santacruz, V. A.; García, S. G. y Acosta, G. J. A. 2013. Aptitud combinatoria en maíz con divergencia genética en el altiplano mexicano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(1):5-18.
- Goldman, I. L. 1998. From out of old fields comes all this new corn: An historical perspective on heterosis. *In: Concepts and breeding of heterosis in crop plants.* Lamkey, K. R. and Staub, J. B. (Eds.). Madison, Wisconsin, USA. 1-12 pp.
- Goodman, M. M. 1999. Broadening the genetic diversity in maize breeding by use of exotic germplasm. *genetics and exploitation of heterosis in crops.* ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA. 139-148 pp.
- Goodman, M. M.; Castillo, F. and Moreno, J. 1990. Choosing and using exotic maize germplasm. *Proc Annu Illinois. Corn Breeders School.* 26:148-171.
- Hallauer, A. R. and Carena, M. J. 2014. Adaptation of tropical maize germplasm to temperate environments. *Euphytica.* 196(1):1-11.
- Holley, R. N. and Goodman, M. M. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. *Crop Sci.* 28(2):213-218.
- Melchinger, A. E. and Gumber, R. K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In: Concepts and breeding of heterosis in crop plants.* Lamkey, K. R. and Staub, J. E. (Eds.). Madison, Wisconsin, USA. 29-44 pp.
- Nelson, P. T. and Goodman, M. M. 2008. Evaluation of elite exotic maize inbreds for use in temperate breeding. *Crop Sci.* 48(1):85-92.
- Oyervides, G. M.; Hallauer, A. R. and Cortez, H. 1985. Evaluation of improved maize populations in Mexico and the U.S. corn belt. *Crop Sci.* 25(1):115-120.
- Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. 334 p.
- Ramírez, D. J. L.; Vidal, M. V. A.; Ledesma, M. A.; Chuela, B. M.; Peña, R. A.; Ruiz, C. J. A. y Ron-Parra, J. 2013. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de Transición de México. I. Método y formación de poblaciones. *Fitotecnía Mex.* 36(3):189-199.
- Reif, J. C.; Melchinger, A. E.; Xia, X. C.; Warburton, M. L.; Hoisington, D. A.; Vasal, S. K.; Srinivasan, G.; Bohn, M. and Frisch, M. 2003. Genetic distance based on simple sequence repeats and heterosis in tropical maize populations. *Crop Sci.* 43(4):1275-1282.
- Ron-Parra, J. and Hallauer, A. R. 1997. Utilization of exotic maize germplasm. *Plant Breed. Rev.* 14:165-187.
- Uhr, D. V. and Goodman, M. M. 1995. Temperate maize inbreds derived from tropical germplasm: I. Testcross yield trials. *Crop Sci.* 35(3):779-784.
- Wen, W.; Guo, T.; Chavez-Tovar, V. H.; Li, H.; Yan, J. and Taba, S. 2012. The strategy and potential utilization of temperate germplasm for tropical germplasm improvement: a case study of maize (*Zea mays* L.). *Molecular Breed.* 29(4):951-962.