

PRODUCTIVIDAD DE HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ DE ENDOSPERMO AMARILLO PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO

PRODUCTIVITY OF NON-CONVENTIONAL MAIZE HYBRIDS WITH YELLOW ENDOSPERM FOR THE HIGH VALLEYS OF MÉXICO

Beatriz Martínez-Yañez¹, Margarita Tadeo-Robledo², Ignacio Benítez-Riquelme³, Gricelda Vázquez-Carrillo⁴, Alejandro Espinosa-Calderón⁴, J. Apolinar Mejía-Contreras³, Consuelo López-López², Francisco Martínez-Díaz²

¹³Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (martinez.beatriz@colpos.mx; riquelme@colpos.mx; mapolina@colpos.mx). ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán, Km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. (tadeorobledo@yahoo.com, francisco.martinez@hotmail.com, con06_08@hotmail.com?), ⁴Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Km 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco. 56250, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. (espinoale@yahoo.com.mx; vazquez.gricelda@inifap.gob.mx).

RESUMEN

México importa cada año 10 millones Mg de grano de maíz amarillo por lo que se debe aumentar la producción, lo cual requiere variedades mejoradas. El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, heterosis y precocidad de 12 híbridos no convencionales de maíz amarillo con variedades mejoradas, líneas y cruces simples como progenitores. Los híbridos no convencionales, así como sus progenitores, se evaluaron en cuatro experimentos uniformes, durante los ciclos primavera verano 2013 y 2014 en los campos experimentales de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México y del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. El análisis de varianza combinado de los cuatro experimentos para rendimiento detectó diferencias altamente significativas para ambientes y genotipos y la interacción fue significativa. La variedad '324 #' con fuente germoplásmica subtropical fue el progenitor con rendimiento mayor (9.1 Mg ha⁻¹), pero similar estadísticamente a los híbridos no convencionales 'V-53A' x '324 #' (8.2 Mg ha⁻¹) y 'V-55A' x '324 #' (8.1 Mg ha⁻¹), aunque estos dos híbridos tuvieron significativamente menores días a floración masculina respecto a la variedad progenitora '324 #'. Dentro de ambientes, los mejores híbridos fueron los no convencionales y principalmente los que tuvieron como progenitor a la variedad '324 #'. Los híbridos mejores 'V-53A' x '324 #', 'V-55A' x '324 #' y 'V-54A' x '324 #'

ABSTRACT

Every year Mexico imports 10 million Mg of yellow maize grain therefore production must be increased, which requires improved varieties. The objective of the present study was to determine the productive capacity, heterosis and precocity of 12 non-conventional hybrids of yellow maize with improved varieties, lines and simple crosses as parents. The non-conventional hybrids, as well as their parents, were evaluated in four uniform experiments during the spring-summer cycles of 2013 and 2014 in the experimental fields of the Faculty of Graduate Studies Cuautitlán, of the National Autonomous University of Mexico and of the Valley of Mexico Experimental Field of the National Institute of Agricultural Forestry and Livestock Research. The combined analysis of variance of the four experiments for yield detected highly significant differences for environments and genotypes and the interaction was significant. The variety '324 #' with subtropical germplasm source was the parent with highest yield (9.1 Mg ha⁻¹), but statistically similar to the non-conventional hybrids 'V-53A' x '324 #' (8.2 Mg ha⁻¹), although these two hybrids had significantly fewer days to male flowering with respect to the parent variety '324 #'. Within environments, the best hybrids were the non-conventional ones and principally those that had the parent variety '324 #'. The best hybrids 'V-53A' x '324 #', 'V-55A' x '324 #' and 'V-54A' x '324 #' presented heterosis with respect to the best parent (-9.9, -14.9 and -11.1 %, respectively), which is explained by the excellent productivity of the variety '324 #'. These three non-conventional hybrids are outstanding and can be used for commercial production in the High Valleys of Mexico because their yield and precocity significantly surpass the varieties in commercial use 'V-54A' and 'V-55A'.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: noviembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 635-647. 2017.

presentaron una heterosis respecto al progenitor mejor (-9.9, -14.9 y -11.1 %, respectivamente), que se explica por la productividad excelente de la variedad '324#'. Estos tres híbridos no convencionales son sobresalientes y su uso comercial es posible en los Valles Altos de México porque su rendimiento y precocidad superan significativamente a las variedades en uso comercial 'V-54A' y 'V-55A'.

Palabras clave: grano amarillo, híbridos no convencionales, variedades mejoradas.

INTRODUCCIÓN

En México es necesario aumentar la producción de maíz (*Zea mays* L.) de grano amarillo para subsanar la demanda y reducir la importación de 10 millones Mg de grano entero y quebrado, para la elaboración de alimentos pecuarios, extracción de almidones, industria cerealera y botanera, y otros destinos industriales. En el país se cultivan anualmente 8.5 millones ha de maíz, con producción de 22.5 millones Mg y un promedio de 2.8 Mg ha⁻¹ (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009).

De la superficie cultivada nacional, 1.5 millones ha están en altitudes de 2200 a 2600 m en los Valles Altos de la Mesa Central, de ellas 800 mil ha se cultivan en seco, con lluvias tardías que limitan la fecha de siembra, la productividad del cultivo y su exposición a la incidencia de heladas tempranas. En estas condiciones, en el Estado de México se siembran 300 mil ha, con una producción de 1.2 Mg ha⁻¹ (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010 a).

El precio internacional de maíz aumentó al incorporarse este recurso alimenticio a la elaboración de etanol (Ortiz *et al.*, 2007). Por lo tanto, el uso de semilla mejorada es un elemento clave para alcanzar niveles competitivos en la producción, pues las condiciones ambientales afectan menos los cultivares mejorados *ex profeso* para una región dada y el uso de insumos que requiere el proceso de producción se optimizan. La semilla mejorada aporta hasta 60 % del rendimiento final, por lo que es un insumo fundamental (Ortiz *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008).

Las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo y ciclo corto, con adaptación a las condiciones agroclimáticas de Valles Altos son V-26 A, Amarillo Zanahoria, V-31 A, V-34 A, V-35 A, pero en esta región la producción mayor de maíz amarillo se sustenta con el uso de variedades nativas. Las variedades

Key words: yellow grain, non-conventional hybrids, improved varieties.

INTRODUCTION

In Mexico it is necessary to increase the production of yellow grain maize (*Zea mays* L.) to satisfy the demand and reduce the importation of 10 million Mg of whole and cracked grain, for the elaboration of livestock feed, extraction of starches, cereal and snack industry, and other industrial uses. Annually 8.5 million ha of maize are cultivated in Mexico, with production of 22.5 million Mg and an average of 2.8 Mg ha⁻¹ (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009).

Of the national cultivated surface, 1.5 million ha are found at altitudes of 2200 to 2600 m in the High Valleys of the Central Plateau; of these 800 thousand ha are cultivated under rainfed conditions, with late rains that limit the planting date, crop productivity and its exposure to the incidence of early frosts. Under these conditions, in the State of Mexico 300 thousand ha are planted, with a production of 1.2 Mg ha⁻¹ (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010 a).

The international price of maize increased when this food resource was incorporated to the elaboration of ethanol (Ortiz *et al.*, 2007). Therefore, the use of improved seed is a key element for achieving competitive levels in production, as the environmental conditions have less effect on the improved cultivars *ex profeso* for a given region and the use of inputs required by the production process are optimized. Improved seed supplies as much as 60 % of the final yield, thus it is a fundamental input (Ortiz *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008).

The improved varieties of yellow grain maize with short cycle, adapted to the agroclimatic conditions of the High Valleys are V-26A, Amarillo Zanahoria, V-31 A, V-34 A, V-35 A, but in this region the highest production of yellow maize is sustained with native varieties. The improved varieties are few; one is V-26A (Cuapiaxtla), which was released in 1980, and is currently in disuse due to the lack of seed production. Another is Amarillo Zanahoria, released in 1990, and is currently in disuse due to lodging and low yield (Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011).

To attend the need of yellow grain maize varieties, the Cuautitlán Graduate Studies Department

mejoradas son pocas, una es V-26A (Cuapixtla), liberada en 1980 y está en desuso por falta de producción de semilla, otra es Amarillo Zanahoria, liberada en 1990 y está en desuso por acame y rendimiento bajo (Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011).

Para atender la necesidad de variedades de maíz de grano amarillo, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM), se han generado variedades de ciclo precoz (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2004; Tadeo *et al.*, 2012). En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX-INIFAP) se generaron las variedades de grano amarillo y ciclo precoz 'V-53A', 'V-54A' y 'V-55A', de las cuales 'V-54A' y 'V-55A' poseen Títulos de Obtentor y están inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011).

Las variedades de grano amarillo liberadas por CEVAMEX-INIFAP muestran rendimientos aceptables en siembras retrasadas, tolerancia al acame y ventajas en condiciones de productividad mediana respecto a los testigos. Con el propósito de contar con variedades aún más rendidoras, se realizaron cruzamientos intervarietales entre 'V-53A', 'V-54A' y 'V-55A', y otras variedades, con cruza simples y líneas de germoplasma contrastante que incluyen fuentes subtropicales de los Valles Altos de Jalisco (Ramírez *et al.*, 2013; Ledesma *et al.*, 2015), y se incluyeron líneas y cruza simples no emparentadas con las variedades de referencia y provenientes de regiones ecológicas diversas (Ramírez *et al.*, 2013; Ledesma *et al.*, 2015).

Los híbridos no convencionales se definen como híbridos obtenidos por la combinación de progenitores que no cumplen con la conformación clásica de híbridos de cruza simple, trilineales o dobles, integrados con la participación de dos, tres y cuatro líneas progenitoras, respectivamente. Estos híbridos no convencionales resultan de la combinación de una variedad x variedad, variedad x híbrido o una variedad x línea; por su estructura genética presentan facilidad para la producción de semillas y rendimientos favorables y superiores a los progenitores (Tadeo *et al.*, 2015).

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, la heterosis y la precocidad de 12 híbridos no convencionales de maíz amarillo que utilizan como progenitores variedades mejoradas,

Cuautitlán of the National Autonomous University of Mexico (FESC-UNAM) has generated early cycle varieties (Tadeo and Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2004; Tadeo *et al.*, 2012). In the National Institute of Research of Forestry, Agriculture, and Livestock (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), Experimental Field Valle de México (CEVAMEX-INIFAP) the yellow grain and early cycle varieties 'V-53A', 'V-54-A' and 'V-55A' were generated, of which 'V-54-A' and 'V-55A' have Breeder's Titles and are registered in the National Catalogue of Plant Varieties (Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011).

The yellow grain varieties released by CEVAMEX-INIFAP show acceptable yields in delayed crops, tolerance to lodging and advantages under medium productivity conditions with respect to the controls. For the purpose of generating varieties with higher yield, intervarietal crosses were made between 'V-53A', 'V-54-A' and 'V-55A' and other varieties, with simple crosses and lines of contrasting germplasm which include subtropical sources of the High Valleys of Jalisco (Ramírez *et al.*, 2013; Ledesma *et al.*, 2015), and include lines and simple crosses unrelated to the reference varieties and from diverse ecological regions (Ramírez *et al.*, 2013; Ledesma *et al.*, 2015).

The non-conventional hybrids are defined as hybrids obtained from the combination of parents that do not comply with the classical conformation of simple, three way or double cross hybrids, integrated with the participation of two, three and four parent lines, respectively. These non-conventional hybrids result from the combination of a variety x variety, variety x hybrid or a variety x line; because of their genetic structure they present the facility for seed production and favorable yields superior to their parents (Tadeo *et al.*, 2015).

The objective of the present study was to determine the productive capacity, heterosis and precocity of 12 non-conventional yellow maize hybrids that utilize as parents improved varieties, lines and simple crosses. The hypothesis was that the combinations of non-conventional hybrids of yellow grain maize improve the yield of their respective parents, maintain precocity and express heterosis in yield.

MATERIALES AND METHODS

In the spring-summer cycle of 2012, non-conventional hybrids were formed (Espinosa *et al.*, 2013), for which the

líneas y cruza simples. La hipótesis fue que las combinaciones de híbridos no convencionales de maíz de grano amarillo mejoran el rendimiento de sus progenitores respectivos, mantienen la precocidad y expresan heterosis en rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo primavera verano 2012 se formaron híbridos no convencionales (Espinosa *et al.*, 2013), para lo cual se combinaron las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo 'V-53A', 'V-54A' y 'V-55A', con la línea '351 #' de maíz de grano amarillo, obtenidas en el CEVAMEX en colaboración con la FESC, y la variedad mejorada 324 # del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CEAJAL), con aptitud combinatoria general buena y origen germoplásmico diferente (Ramírez *et al.*, 2013). También se usaron las cruza simples de maíz amarillo 'CML 460xCML 462' y 'CML 461xCML 462', que en combinación con variedades de maíz amarillo expresaron potencial productivo bueno (Espinosa *et al.*, 2013). Además, se incluyeron las variedades 'V-55A' y 'OU2C' obtenidas por recombinación durante dos ciclos de un compuesto balanceado de 21 líneas S2, de semilla amarilla, generadas a partir de siete híbridos de cruce simple. Tres líneas de cada híbrido se seleccionaron al inicio por su precocidad, color amarillo intenso y textura cristalina del grano. Las líneas pertenecen a la raza cónico y se seleccionaron por su rendimiento y precocidad en ensayos de rendimiento efectuados en la FESC-UNAM, en Cuautitlán y por el INIFAP. Después de recombinar el compuesto balanceado por dos ciclos para 'V-55A', se aplicaron dos ciclos de selección masal en el CEVAMEX, INIFAP y para 'OU2C' en la FESC; en ambos casos, para ganar en precocidad a madurez fisiológica, tolerancia al acame y textura cristalina del grano (Espinosa *et al.*, 2011).

Las combinaciones de cruza: variedad x variedad, variedad x línea, variedad x cruce simple, cada progenitor que las integran y el origen están en el Cuadro 1. Experimentos uniformes se establecieron con el material citado, durante el ciclo primavera verano en 2013 y 2014, y en ambos años las siembras se efectuaron en junio en: 1) Santa Lucía de Prías, CEVAMEX-INIFAP, en el municipio de Texcoco, Estado de México (2240 msnm, clima C(Wo)(w)b(i)g templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con veranos frescos y prolongados, temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y oscilación anual de las temperaturas medias mensuales de 5 a 7 °C (García, 2004); 2) Rancho Almaraz de la FESC, Campo 4, de la UNAM (19° 41' 35" N y 99° 11' 42" O, 2274 m de altitud, clima C (wo) (w) b (i) con precipitación anual promedio histórico de 609.2 mm; García, 2004).

La parcela experimental fue un surco de 5 m de largo por 80 cm de ancho y densidad de población de 45 000 plantas ha⁻¹,

improved yellow grain varieties 'V-53-A', 'V-54A' and 'V-55A' were combined, with the line '351 #' of yellow grain maize, which were obtained from CEVAMEX in collaboration with the FESC, and the improved variety 324 # from the Campos Altos de Jalisco Experimental Field (CEAJAL), with good general combinatorial aptitude and different germplasm origin (Ramírez *et al.*, 2013). The yellow maize simple crosses 'CML 460XCML 462' and 'CML 461XCML 462' were also used, which in combination with yellow maize varieties expressed good productive potential (Espinosa *et al.*, 2013).

Furthermore, the varieties 'V-55A' and 'OU2C' were included, obtained by recombination during two cycles of a balanced compound of 21 S2 lines, of yellow seed, generated from seven simple cross hybrids. Three lines of each hybrid were selected at the start for their precocity, intense yellow color and crystalline texture of the grain. The lines pertain to the conical race and were selected for their yield and precocity in yield assays carried out in FESC-UNAM, in Cuautitlán and by INIFAP. After recombining the balanced compound for two cycles for 'V-55A', two cycles of masal selection were applied in CEVAMEX, INIFAP and for 'OU2C' in the FESC; in both cases, to gain in precocity at physiological maturity, tolerance to lodging and crystalline texture in the grain (Espinosa *et al.*, 2011).

The combination of crosses: variety x variety, variety x line, variety x simple cross, each parent that comprises them and the origin are included in Table 1. Uniform experiments were established with the cited material, during the spring-summer cycle of 2013 and 2014, and in both years the sowing was carried out in June in: Santa Lucía de Prías, CEVAMEX-INIFAP, in the municipality of Texcoco, State of Mexico (2240 m altitude, climate C(Wo)(w)b(i)g temperate with rains in summer, the driest of the sub-humid climates, with cool and prolonged summers, mean annual temperature between 12 and 18 °C, and annual oscillation of the mean monthly temperatures of 5 to 7 °C (García, 2004); 2) Rancho Almaraz of the FESC, Field 4, of UNAM (19° 41' 35" N and 99° 11' 42" W, 2274 m altitude, climate C (wo) (w) b (i) with historic average annual precipitation of 609.2 mm (García, 2004).

The experimental plot was a row 5 m long by 80 cm wide and population density of 45 000 plants ha⁻¹, utilized in plantings of June delayed by limited rainfall (Espinosa *et al.*, 2010 a). The experiments were established according to a design of complete randomized blocks, with four replicates and under dry conditions; the sowing was carried out in June of 2013 and 2014 depositing two seeds every 50 cm., covering the seeds with soil. Later, thinning was performed to achieve a population density of 45,000 plants ha⁻¹; the dose of fertilizer was 80-40-00. In the field, the variables days to male flowering were taken when 50 % of the plants of the plot released pollen, days to female flowering when 50 % of the plants in the plot exposed the stigmas in at

Cuadro 1. Origen de híbridos no convencionales (HNC), variedades (V) y cruza simples (HS) de maíz de grano amarillo en los experimentos uniformes durante los ciclos primavera verano 2013 y 2014.
Table 1. Origin of non-conventional hybrids (NCH), varieties (V), and simple crosses (HS) of yellow maize grain in the uniform experiments during the spring-summer cycles of 2013 and 2014.

Genotipo	Tipo de cruza	Origen	Genotipo	Tipo de cruza	Origen
V-53A x 351 #	HNC	INIFAP [†]	(CML 461x CML 462) x V-54A	HNC	INIFAP
V-54A x 351 #	HNC	INIFAP	(CML 461x CML 462) x V-55A	HNC	INIFAP
V-55A x 351 #	HNC	INIFAP	(CML 461x CML 462) x OU2C	HNC	INIFAP
V-53A x 324 #	HNC	INIFAP	(CML 460x CML 462)	HS	CIMMYT [§]
V-54A x 324 #	HNC	INIFAP	(CML 461x CML 462)	HS	CIMMYT
V-55A x 324 #	HNC	INIFAP	(CML 460x CML 462) x V-53A	HNC	INIFAP
V-53A	V	INIFAP	(CML 461x CML 462) x OP2D	HNC	INIFAP
V-54A	V	INIFAP	(CML 460x CML 462) x V-54A	HNC	INIFAP
V-55A	V	INIFAP	ORO ULTRA 3C	V	FESC-UNAM [‡]
351 #	L	INIFAP	ORO PLUS 2D	V	
324 #	V	INIFAP			

[†]INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; [‡]FESC-UNAM: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, Universidad Nacional Autónoma de México; [§]CIMMYT: Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo ♦ [†]INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; [‡]FESC-UNAM: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, Universidad Autónoma de México and [§]CIMMYT: Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo. HCN: híbrido no convencional; V: variedad de polinización libre; L: línea.; HS: híbrido simple ♦ HCN: non-conventional hybrid; V: variety of free pollination; L: line; HS: simple hybrid.

usada en siembras retrasadas de junio por lluvia limitada (Espinoza *et al.*, 2010 a). Los experimentos se establecieron con un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y en condiciones de secano; las siembras se efectuaron en junio de 2013 y 2014 a tapa pie depositando dos semillas por mata cada 50 cm, después se aclaró para obtener la densidad de población de 45 000 plantas ha⁻¹; la dosis de fertilizante fue 80-40-00. En campo se tomaron las variables días para la floración masculina cuando 50 % de las plantas de la parcela liberaron polen, días para la floración femenina cuando 50 % de las plantas en la parcela expusieron los estigmas en por lo menos 3 cm, la altura de planta se tomó en cinco plantas de la base del tallo al nudo de inserción de la espiga, altura de la mazorca de la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior y expresada en cm.

La cosecha fue manual en diciembre en 2013 y 2014. En cada parcela se cosecharon todas las mazorcas, se pesaron (peso de campo) y en una muestra representativa de cinco mazorcas se determinó: porcentaje de humedad del grano con un determinador de humedad eléctrico (Stenlite), el valor se restó a 100 y se expresó como porcentaje de materia seca (% MS); porcentaje de grano por olote mediante el cociente de peso del grano entre el peso de grano más olotes (% G); peso volumétrico; peso de 200 granos; longitud de mazorca; hileras por mazorca; granos por hilera; granos por mazorca. Para obtener el rendimiento de grano se usó la fórmula:

least 3 cm, plant height was taken in five plants from the base of the stem to the insertion node of the spike, height of the ear from the base of the stem to the insertion node of the upper ear and expressed in cm.

The harvest was carried out manually in December in 2013 and 2014. In each plot all of the ears were harvested, weighed (field weight) and in a representative sample of five ears the following was determined: percentage of moisture of the grain with an electric moisture determiner (Stenlite), the value was subtracted to 100 and was expressed as percentage of dry matter (% DM); percentage of grain per cob using the quotient of grain weight divided by the grain weight plus cobs (% G); volumetric weight, weight of 200 grains; ear length; rows per ear; grains per row; grains per ear. To obtain grain yield, the following formula was used:

$$\text{Yield} = (\text{PC} \times \% \text{DM} \times \% \text{G} \times \text{FC}) / 8600$$

where PC: field weight of the total of ears harvested per plot (in kg); FC: conversion factor to obtain yield per ha, which was obtained by dividing 10000 m² by the size of the useful plot in m² (4 m²); 8600: it is a constant value that makes it possible to estimate yield with a uniform moisture of 14 %, in which the seeds are managed commercially.

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} \times \% \text{MS} \times \% \text{G} \times \text{FC}) / 8600$$

donde PC: peso de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela (en kg); FC: factor de conversión para obtener rendimiento por ha, se obtuvo al dividir 10000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m² (4 m²); 8600: es un valor constante que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14 %, en la cual se manejan las semillas en forma comercial.

Los análisis estadístico se hicieron en SAS v 9.0 (SAS Institute Inc, 1996). El análisis combinado de las dos localidades y dos años de prueba consideró como fuentes de variación ambiente, genotipos e interacción ambiente x genotipos. Los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El nivel de heterosis de las combinaciones híbridas respecto al progenitor medio se estimó con las siguientes fórmulas (Márquez, 1988):

$$P = (P_1 + P_2) / 2$$

donde P_1 y P_2 son los valores genotípicos de los padres:

$$H(F1/P) = F1 - P$$

donde F1 es el valor genotípico del híbrido.

La heterosis con base al mejor progenitor se calculó con la fórmula:

$$H = F1 - \text{Mejor progenitor} / \text{Mejor progenitor.}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado detectó diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos en todas las variables (Cuadro 2). La interacción ambiente x genotipo fue significativa para la mayoría de variables y rendimiento de grano, excepto para altura de planta y mazorca y peso de 200 granos. Los coeficientes de variación fueron menores a 16 %, lo que confirmó la calidad alta y el control de la variabilidad experimental. El valor promedio de rendimiento experimental general (6458 kg ha⁻¹) mostró que la producción fue buena, en las siembras atrasadas y superior al promedio nacional (2.8 Mg ha⁻¹) (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009) y del Estado de México (1.2 Mg ha⁻¹) (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010 a).

Entre localidades (Cuadro 3) la mayoría de las diferencias significativas del comportamiento del

The statistical analyses were made in SAS v 9.0 (SAS Institute Inc., 1996). The combined analysis of the two locations and two years of testing considered as sources of variation environment, genotypes and interaction environment x genotypes. The averages were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The level of heterosis of the hybrid combinations with respect to the mean parent was estimated with the following formulas (Márquez, 1988):

$$P = (P_1 + P_2) / 2$$

where P_1 and P_2 are the genotypic values of the parents:

$$H(F1/P) = F1 - P$$

where F1 is the genotypic value of the hybrid.

Heterosis based on the best parent was calculated with the following formula:

$$H = F1 - \text{Best parent} / \text{Best parent.}$$

RESULTS AND DISCUSSION

The combined analysis of variance detected statistical differences ($p \leq 0.01$) among environments and genotypes in all of the variables (Table 2). The interaction environment x genotype was significant for most of the variables and grain yield, except for plant and ear height and weight of 200 grains. The coefficients of variation were lower than 16 %, which confirmed the high quality and the control of the experimental variability. The average value of general experimental yield (6458 kg ha⁻¹) showed that production was good, in the delayed plantings and higher than the national average (2.8 Mg ha⁻¹) (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009) and of the State of Mexico (1.2 Mg ha⁻¹) (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010a).

Between locations (Table 3) most of the significant differences of the yield behavior (Figure 1) and the other variables were due to the differential of precipitation between the years and some meteorological incidents, such as hail in CEVAMEX in 2014 which stimulated flowering and events of rainfall distribution during the crop cycle and low temperatures in the grain fill stage. Thus, for example, in the Almaraz meteorological station, of the FESC, in June of the 2014 cycle, rainfall of

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis combinado para rendimiento y otras variables en híbridos no convencionales de maíz y sus progenitores en dos localidades de Valles Altos en los ciclos primavera verano de 2013 y 2014.

Table 2. Mean squares of the combined analysis for yield and other variables in non-conventional maize hybrids and their parents in two locations of the High Valleys in the spring-summer cycles of 2013 and 2014.

Variables	Ambiente (Amb)	Repetición dentro de ambientes	Genotipo (Gen)	Interacción Amb x Gen	Media	C.V. (%)
Rend	47294426 **	6470685.9 *	25677206.1 **	2453842.6 **	6458	16.27
FM	533.3 **	7.09	59.98 **	5.08 *	77	2.16
FF	1019.0 **	3.62	67.47 **	6.74 *	79	2.68
AP	149488.1 **	1049.1 *	1249.6 **	185.3	215.6	6.44
AM	28693.3 **	413.44	1540.1 **	204.7	95.6	13.10
PHEC	72669.4 **	162.3	3946.5 **	1123.9 **	757	2.40
200G	1920.3 **	62.6	802.2 **	53.9	62.8	11.49
%MS	1448.9 **	11.8 *	23.5 **	4.4 *	81.0	2.07
%GR	69.6 **	16.5 *	31.3 **	4.4 *	83.5	1.95

* $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$. Rend: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; PHEC: peso por hectolitro; 200G: peso de 200 granos; % MS: porcentaje de materia seca; % GR: porcentaje de grano ♦ * $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$. REND: yield; FM: male flowering; FF: female flowering; AP: plant height; AM: ear height; PHEC: weight per hectoliter; 200G: weight of 200 grains; % MS: percentage of dry matter; % GR: percentage of grain.

rendimiento (Figura 1) y las otras variables se debieron al diferencial de precipitación entre los años y algunos incidentes meteorológicos, como una granizada en CEVAMEX en 2014 que estimuló la floración y eventos de distribución de la precipitación durante el ciclo de cultivo y las temperaturas bajas en la etapa del llenado de grano. Así, por ejemplo, en la estación meteorológica Almaraz, de la FESC se registró, en junio del ciclo 2014, precipitación de 211.9 mm y temperatura máxima de 24.1 °C; al contrario, en junio del ciclo 2013, la precipitación fue 117 mm y

211.9 mm was measured along with maximum temperature of 24.1 °C; in contrast, in June of the 2013 cycle, rainfall was 117 mm and the maximum temperature 25.3 °C. The availability of moisture in the soil during germination was higher in 2014 and affected yield (Figure 2).

The increment of rainfall and temperature in August-September, according to the data of the Almaraz meteorological station, favored the synchrony of male and female flowering. In contrast, in 2014, lack of moisture in flowering caused 5 d

Cuadro 3. Comparación de medias entre ambientes del análisis combinado de localidades durante los años 2013 y 2014.

Table 3. Behavior of means among environments of the combined analysis of locations during the years 2013 and 2014.

AMB	Año	Rend (kg ha ⁻¹)	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	% GR
CEVAMEX	2014	7207 a	73 d	75 d	266 a	113 a	84.4 a
FESC	2013	6950 a	76 c	77 c	203 c	102 b	84.1 a
FESC	2014	6076 b	79 a	84 a	165 d	70 d	82.5 b
CEVAMEX	2013	5598 c	77 b	78 b	228 b	97 c	82.9 b
D.S. H. (0.05)		419	0.66	0.84	5.55	4.99	0.65

AMB: ambiente; Rend: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; % GR: porcentaje de grano ♦ AMB: environment; Rend: yield; FM: male flowering; FF: female flowering; AP: plant height; AM: ear height; % GR: percentage of grain.

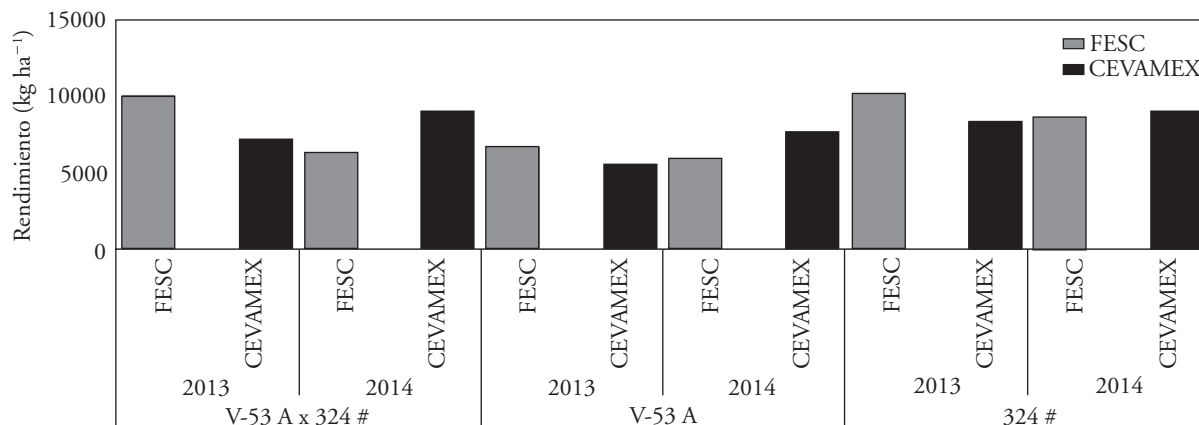


Figura 1. Rendimiento del híbrido no convencional V-53 A x 324 # y sus progenitores a través de cuatro ambientes de evaluación. Ciclo primavera verano 2013-2014.

Figure 1. Yield of the non-conventional hybrid V-53 A x 324 # and its parents through four evaluation environments. Spring-summer cycle 2013-2014.

la temperatura máxima 25.3 °C. La disponibilidad de humedad en el suelo durante la germinación fue mayor en el 2014 y repercutió en el rendimiento (Figura 2).

El incremento de la precipitación y la temperatura en agosto-septiembre, según los datos de la estación meteorológica Almaraz, favoreció la sincronía de la floración masculina y femenina. En contraste, en 2014, la falta de humedad en floración motivó 5 d

of asynchrony between male and female flowering; this reduced grain yield in this location. The lack of moisture before and during flowering also affected plant height (Table 3). The significant behavior of the percentage of rain coincided with grain yield; that is, the most productive locations were associated with higher percentages of grain. This coincided with what was reported by Ramírez *et al.* (2013), Espinosa *et al.* (2013) and Tadeo *et al.* (2015).

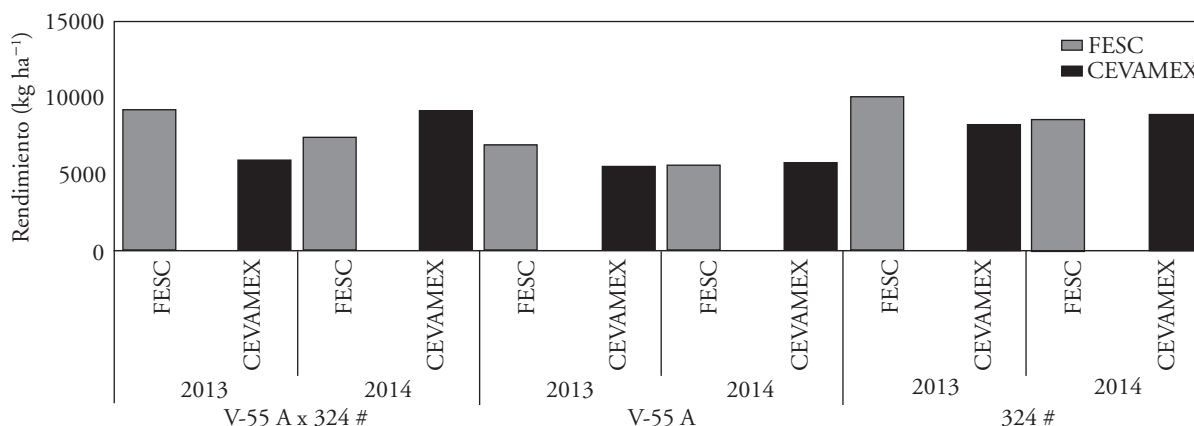


Figura 2. Rendimiento del híbrido no convencional V-55 A x 324 # y sus progenitores a través de cuatro ambientes de evaluación. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

Figure 2. Yield of the non-conventional hybrid V-55 A x 324 # and its parents through four evaluation environments. Spring-summer cycle 2013 and 2014.

de asincronía entre la floración masculina y femenina; esto disminuyó el rendimiento de grano en esta localidad. La falta de humedad antes y durante la floración también afectó la altura de las plantas (Cuadro 3). El comportamiento significativo del porcentaje de grano concordó con el rendimiento de grano; es decir, las localidades más productivas se asociaron a porcentajes mayores de grano. Esto coincidió con lo reportado por Ramírez *et al.* (2013), Espinosa *et al.* (2013) y Tadeo *et al.* (2015).

Los híbridos 'V-53A x 324 #' (8185 kg ha⁻¹) y 'V-55A x 324 #' (8080 kg ha⁻¹) mostraron rendimientos estadísticos similares a su progenitor masculino en ambos casos, '324 #' (9085 kg ha⁻¹) mantuvo la precocidad de sus variedades progenitoras femeninas, 'V-53A' y 'V-55A', identificadas como las más precoces en los Valles Altos (Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011), pero con rendimiento significativo y superior a cada una de ellas. En el primer caso, el híbrido no convencional 'V-53A x 324 #' fue 25.4 % superior respecto a 'V-53A', y 32.6 % en el segundo 'V-55A x 324 #' respecto a la variedad 'V-55A' (Cuadro 4). El logro de la combinación de precocidad y rendimiento alto en estos dos híbridos no convencionales representa *per se* una ventaja para su adopción en siembras tardías (Espinosa *et al.*, 2010 a).

El rendimiento del híbrido no convencional F₁ ('V-53A x 324 #') destacó en el ambiente FESC 2013; en contraste, para el híbrido no convencional F₁ ('V-55A x 324 #') el ambiente mejor fue FESC 2013 y fue similar a CEVAMEX 2014 (Figura 1 y 2). Los valores de rendimiento para el híbrido no convencional F₁ ('V-54A x 324 #') y sus progenitores mostraron que este genotipo en CEVAMEX 2014 obtuvo los valores más altos (Cuadro 4, Figura 3). La combinación 'V-55A x 351 #' y sus progenitores en el ambiente FESC 2013 mostró los rendimientos mayores, y en todos los casos se observó que la línea '351 #' obtuvo rendimientos individuales bajos (Figura 4). Las expresiones de rendimiento de los materiales se relacionan con la constitución genética y tipo de material, en la línea 351# propició rendimientos bajos; en contraste en estudios previos V-53 A, V-54 A y V-55 A, las dos últimas liberadas comercialmente, su constitución genética exhibió respuesta aceptable a diferentes condiciones (Espinosa *et al.*, 2010 a y 2011).

En las cruces con rendimiento mayor, 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #', la heterosis,

The hybrids 'V-53A x 324 #' (8185 kg ha⁻¹) and 'V-55A x 324 #' (8080 kg ha⁻¹) showed yields statistically similar to their male parent in both cases, '324 #' (9085 kg ha⁻¹) maintained the precocity of its female parent varieties, 'V-53A and 'V-55A', identified as the most precocious in the High Valleys (Espinosa *et al.*, 2010 a; Espinosa *et al.*, 2011), but with significant yield superior to each one of them. In the first case, the non-conventional hybrid 'V-53A x 324 #' was 25.4 % higher with respect to 'V-53A', and 32.6 % in the second 'V-55A x 324 #' with respect to the variety 'V-55A' (Table 4). The achievement of the combination of precocity and high yield in these two non-conventional hybrids represents *per se* an advantage for their adoption in late plantings (Espinosa *et al.*, 2010 a).

The yield of the non-conventional hybrid F₁ ('V-53A x 324 #') was outstanding in the 2013 FESC environment; in contrast, for the non-conventional hybrid F₁ ('V-55A x 324 #') the best environment was FESC 2013 and was similar to CEVAMEX 2014 (Figure 1 and 2). The yield values for the non-conventional hybrid F₁ ('V-54A x 324 #') and its parents showed that this genotype in CEVAMEX 2014 obtained the highest values (Table 4, Figure 3). The combination 'V-55A x 351 #' and their parents in the FESC 2013 environment showed the highest yields, and in all of the cases it was observed that the line '351 #' obtained low individual yields (Figure 4). The expressions of yield of the materials is related to the genetic constitution and type of material, in line 351# it propitiated low yields; in contrast, in previous studies V-53A, V-54 A and V-55 A, the latter two released commercially, its genetic constitution exhibited a favorable response to different conditions (Espinosa *et al.*, 2010 a and 2011).

In the crosses with highest yield, 'V-53 A x 324 #', 'V-55 A x 324 #' and 'V-54 A x 324 #', the heterosis, based on the mean parent, was 5.0 %, 6.5 % and -0.8 %, respectively, which scarcely stood out in each cross from the high yield of the variety '324 #', which was also the best parent in the three cases. The values of heterosis with respect to the best parent were -9.9 %, -14.9 % and -11.1 %, respectively (Table 5). The above indicated that there was no heterosis in the non-conventional hybrids with respect to '324 #'; in the case of this parent, its genetic constitution and being three or four days later than the non-conventional varieties and hybrids, is not favorable in the late plantings,

Cuadro 4. Comportamiento medio de híbridos no convencionales y sus progenitores de maíz de grano amarillo en cuatro ambientes de evaluación durante los ciclos primavera verano 2013 y 2014.

Table 4. Mean behavior of non-conventional hybrids and their parents of yellow grain maize in four evaluation environments during the spring-summer cycles of 2013 and 2014.

Genotipo	Rend (kg ha ⁻¹)	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)
324 #	9085	79	81	233	108
V-53A x 324 #	8185	76	78	222	108
V-55A x 324 #	8080	75	78	225	109
V-54A x 324 #	7729	76	78	227	112
(CML461xCML462) x V-55 ^a	7656	77	79	232	105
V-54A x 351 #	7027	75	77	219	99
V-53A x 351 #	6870	76	78	214	92
(CML461xCML462) x V-54 ^a	6853	76	78	217	89
(CML461xCML462) x OU2C	6606	76	78	219	94
V-55A x 351 #	6580	76	78	217	99
V-53 ^a	6504	75	77	215	103
V-54 ^a	6491	74	77	207	100
(CML460xCML462) x V-53 ^a	6186	78	80	208	86
V-55 ^a	6095	74	77	214	101
CML461xCML462) x OP2D	5922	75	76	218	91
CML460 x CML462	5569	80	83	204	80
(CML460xCML462) x V-54 ^a	5522	74	75	204	83
OP2D	5178	75	77	209	93
351 #	5036	77	80	208	85
OU3C	4317	76	78	203	89
CML461 x CML462	4127	82	84	211	80
D.S.H. (0.05)	1341	2.11	2.69	17.73	15.97

*p≤0.05. **p≤0.01. Rend: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; OP2D: Oro Plus 2D; OU3C: Oro Ultra 3C ♦ *p≤0.05. **p≤0.01. Rend: yield; FM: male flowering; FF: female flowering; AP: plant height; AM: ear height; OP2D: Oro Plus 2D; OU3C: Oro Ultra 3C.

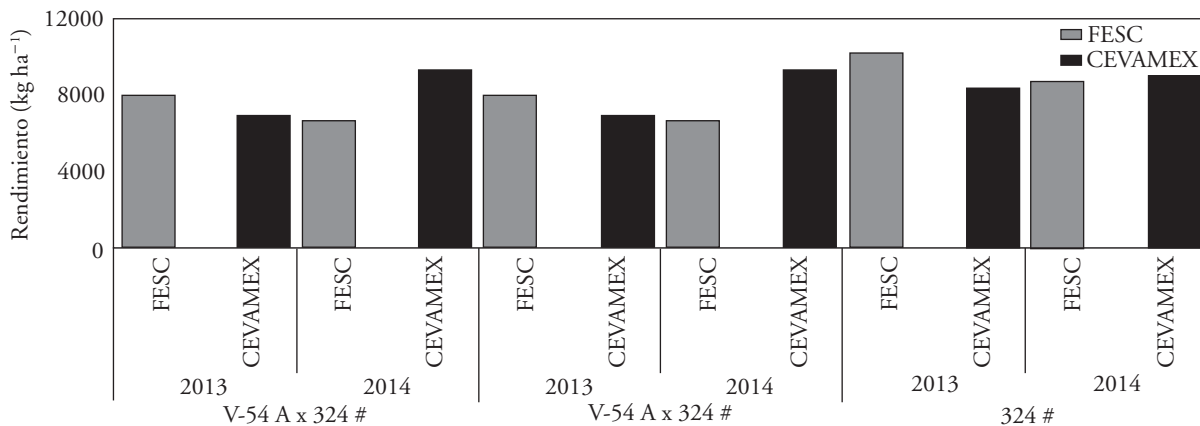


Figura 3. Rendimiento del híbrido no convencional V-54 A x 324 # y sus progenitores en cuatro ambientes. Ciclo primavera verano 2013-2014.

Figure 3. Yield of the non-conventional hybrid V-54 A x 324 # and its parents in four environments. Spring-summer cycle 2013-2014.

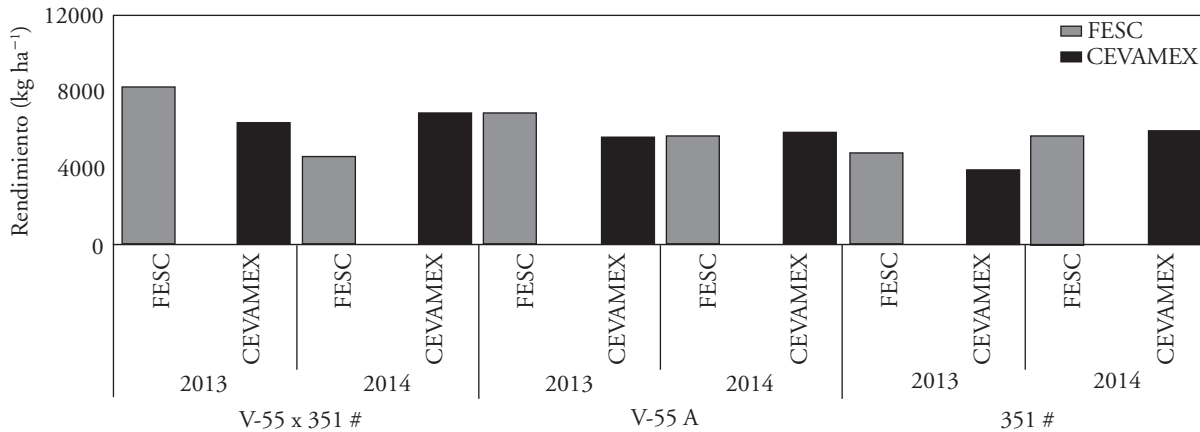


Figura 4. Rendimiento del híbrido no convencional V-55 A x 351 # y sus progenitores en cuatro ambientes. Ciclo primavera verano 2013-2014.

Figure 4. Yield of the non-conventional hybrid V-55 A x 351 # and its parents in four environments. Spring-summer cycle 2013-2014.

con base en el progenitor medio, fue 5.0 %, 6.5 % y -0.8 %, respectivamente, la que destacó escasamente en cada cruce por el rendimiento alto de la variedad '324 #', que también fue el mejor progenitor en los tres casos. Los valores de heterosis respecto al mejor progenitor fueron -9.9 %, -14.9 % y -11.1 %, respectivamente (Cuadro 5). Lo anterior indicó que no hubo heterosis en los híbridos no convencionales respecto a '324 #'; en el caso de este progenitor, su constitución genética y ser tres o cuatro días más tardío que las variedades e híbridos no convencionales, no es favorable en las siembras tardías, para las que se recomendaría. Por lo anterior, la explotación comercial se podría concentrar con ventajas mayores en los híbridos no convencionales por su precocidad. La ausencia de depresión endogámica en los progenitores de los tres híbridos anteriores también podría explicar la ausencia de heterosis; aunque, es posible la presencia de heterosis por la lejanía del origen de progenitores (Ramírez *et al.*, 2013), esto no ocurrió en estas tres cruces.

Dos de las cruces, la '(CML 461x CML 462) x V-55A' y la '(CML 461x CML 462) x OU2C', mostraron heterosis en relación al progenitor medio de 49.8 % y 56.5 %. En ambos casos la heterosis podría atribuirse al origen divergente de los progenitores que no tienen endogamia, ya que en esos casos son variedades de polinización libre. La cruce con la mayor expresión de heterosis respecto al mejor progenitor

for which it would be recommended. Therefore, the commercial exploitation could be concentrated with greater advantages in the non-conventional hybrids for their precocity. The absence of endogamic depression in the parents of the above three hybrids could also explain the absence of heterosis; although its presence is possible due to the distance from the origin of parents (Ramírez *et al.*, 2013), this did not occur in these three crosses.

Two of the crosses, '(CML 461 x CML 462) x V-55A' and '(CML 461 x CML 462) x OU2C', displayed heterosis in relation to the mean parent of 49.8 % and 56.5 %. In both cases the heterosis could be attributed to the different origin of the parents which do not have endogamy, given that in both cases they are varieties of free pollination. The cross that showed the highest expression of heterosis with respect to the best parent was '(CML460 x CML462) x V-53A' (Table 5); however, the exhibition of heterosis did not place these combinations in the higher levels with respect to the best non-conventional hybrids (Tadeo *et al.*, 2012 and 2015). Here, with the absence of endogamy in the parents, the hypothesis of the divergent origin of the materials is strengthened. The lack of heterosis among the varieties 'V-53A', 'V-54A' and 'V-55-A' (although they come from different programs) and from them with the variety '324 #', indicates that probably despite their different geographic origin,

Cuadro 5. Valores promedio de heterosis en el rendimiento de grano de maíces amarillos, con respecto al promedio general y al mejor progenitor en híbridos no convencionales.

Table 5. Average values of heterosis in the yield of yellow grain maizes, with respect to the general average and to the best parent in non-conventional hybrids.

F1 Cruza	Progenitor medio (%)	Mejor progenitor (%)
V-53A x 351 #	19.1	5.6
V-53A x 324 #	5.0	-9.9
(CML 460xCML 462) x V-53A	2.5	195.1
V-54A x 351 #	21.9	8.3
V-54A x 324 #	-0.8	-14.9
(CML 461xCML 462) x V-54A	29.1	5.6
(CML 460xCML 462) x V-54A	-8.4	-14.9
V-55A x 351 #	18.2	8.0
V-55A x 324 #	6.5	-11.1
(CML 461xCML 462) x V-55A	49.8	25.6
(CML 461xCML 462) x OU2C	56.5	53.0
(CML 461xCML 462) x OP2D	27.3	14.4

fue '(CML460xCML462) x V-53A' (Cuadro 5); sin embargo, la exhibición de heterosis no ubicó a estas combinaciones en los niveles superiores respecto a los mejores híbridos no convencionales (Tadeo *et al.*, 2012 y 2015). Aquí, ante la ausencia de endogamia en los progenitores, se robustece la hipótesis del origen divergente de los materiales. La falta de heterosis entre las variedades 'V-53A', 'V-54A' y 'V-55A' (aunque provienen de diferentes programas) y de ellas con la variedad '324 #', indica que probablemente a pesar de su origen geográfico diferente no difieren en su fuente germoplásmica. Lo anterior apoya la alternativa de producción de semillas resultado de la cruce entre híbridos no convencionales y poblaciones mejoradas (cruza simple, variedad, híbrido varietal), cuyo origen sea divergente (Ramírez *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

Ya que los híbridos 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #' superaron significativamente en rendimiento a las variedades en uso comercial 'V-54A' y 'V-55A', la hipótesis de que los híbridos no convencionales superaron a sus progenitores, manteniendo la precocidad se confirmó, por lo que estos tres híbridos no convencionales, aportarían ventajas para su uso comercial en los Valles Altos de México.

they do not differ in their germplasm source. The above supports the alternative of production of seeds resulting from the cross among non-conventional hybrids and improved populations (simple cross, variety, hybrid varietal), whose origin is different (Ramírez *et al.*, 2013).

CONCLUSIONS

Given that hybrids 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' and 'V-54A x 324 #' significantly surpassed in yield the commercially used varieties 'V-54A' and 'V-55A', the hypothesis that the non-conventional hybrids would surpass their parents, maintaining precocity was confirmed, therefore, these three non-conventional hybrids would offer advantages for their commercial use in the High Valleys of Mexico.

There was no heterosis among the varieties 'V-53A', 'V-54A' and '324 #', probably due to their origin, and to the fact that these varieties do not differ in their germplasm source, in contrast to the cross '(CML 460 x CML 462) x V-53A'. Therefore, the alternative of seed production with non-conventional hybrids is supported, with improved varieties (simple cross, variety, varietal hybrid), whose origin is divergent.

Ya que no existió heterosis entre las variedades 'V-53A', 'V-54A', 'V-55A' y '324 #', probablemente por su origen, y no difieren en su fuente germoplásmica, pero si para la cruza ('CML 460x CML 462') x 'V-53A' se apoya la alternativa de producción de semillas con híbridos no convencionales, con poblaciones mejoradas (cruza simple, variedad, híbrido varietal), cuyo origen sea divergente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el respaldo financiero de la UNAM para la realización del presente trabajo a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): IT201215.

LITERATURA CITADA

- Avila, M., J. Arellano, J. Virgen, y J. Gámez. 2009. 'H-52', híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agric. Téc. Méx.* 35: 237-240.
- Espinosa, A., M. Tadeo, R. Martínez, N. Gómez, M. Sierra, J. Virgen, A. Palafox, G. Vázquez, y Y. Salinas. 2009. 'V-53 A', variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola. INIFAP Campo Experimental Valle de México. pp: 41-42.
- Espinosa, A., M. Tadeo, N. Gómez, M. Sierra, J. Virgen, A. Palafox, F. Caballero, G. Vázquez, F. Rodríguez, y R. Valdivia. 2010 a. 'V-54' A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 677-680.
- Espinosa, A., M. Tadeo, N. Gómez, M. Sierra, J. Virgen, A. Palafox, F. Caballero, G. Vázquez, F. Rodríguez, R. Valdivia, I. Arteaga, e I. González. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 149-150.
- Espinosa, A., M. Tadeo, J. Virgen, I. Rojas, N. Gómez, M. Sierra, A. Palafox, G. Vázquez, F. Rodríguez, B. Zamudio, I. Arteaga, E. Canales, B. Martínez, y R. Valdivia. 2012. 'H-51 AE', híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en valles altos centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 347-349.
- Espinosa, A., M. Tadeo, A. Turrent, M. Sierra, N. Gómez, y B. Zamudio. 2013. Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 24: 93-99.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- González, A., J. Islas, A. Espinosa, A. Vázquez, y S. Wood. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido 'H-48'. Publicación Especial No. 25. INIFAP. México, D. F. 88 p.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the financial support of UNAM through the Program of Support to Technological Investigation and Innovation (PAPIIT): IT201215.

—End of the English version—



- Ledesma, M. A., J. L. Ramírez, V. A. Vidal, A. Peña, J. A. Ruiz, Y. Salinas, y R. O. Preciado. 2015. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México: II Evaluación de mestizos y cruza. *Rev. Fitotec. Mex.* 38: 143-145.
- Ortiz, C. J., R. Ortega, J. Molina, M. Mendoza, C. Mendoza, F. Castillo, A. Muñoz, A. Turrent, y A. Kato. 2007. Análisis de la problemática de la producción nacional de maíz y propuestas de acción. Grupo Xilonen, Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. 29 p.
- Ramírez, D. J. L., V. Vidal, M. A. Ledesma, M. Chuela, A. Peña, y A. Ruiz. 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 189-199.
- Márquez, S., F. 1988. Genotecnia Vegetal, Métodos, Teoría, Resultados. Tomo II, A.G.T. Editor, S.A. México, D. F.
- SAS Institute Inc. 1996. Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 956 p.
- Tadeo, M., A. Espinosa. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC, Divulgación Científica Multidisciplinaria* 4: 5-10.
- Tadeo, M., A. Espinosa, R. Martínez, S. Ganesan, D. Beck, J. Lothrop, L. Torres, y S. Azpiroz. 2004. 'Puma 1075' y 'Puma 1076' híbridos de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm). *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 211-212.
- Tadeo, M., A. Espinosa, I. Arteaga, V. Trejo, M. Sierra, R. Valdivia, y B. Zamudio. 2012. Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 1417-1423.
- Tadeo, M., A. Espinosa, R. Guzmán, A. Turrent, J. Zaragoza, y J. Virgen. 2015. Productividad de híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Rev. Agron. Mesoam.* 26: 65-72.
- Turrent, F. A. 1994. Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH, Publicación Especial Núm. 12, Chapingo, México.
- Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. *In: Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM.* 92-93:126-129.