

DESESPIGAMIENTO EN CRUZAS SIMPLES PROGENITORAS DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO

DETASSELING IN PARENTAL SINGLE CROSSES OF MAIZE (*Zea mays* L.) HYBRIDS FOR HIGH VALLEYS OF MEXICO

Juan Virgen-Vargas¹, Rosalba Zepeda-Bautista^{2*}, M. Angel Avila-Perches³, Israel Rojas-Martínez⁴, Alejandro Espinosa-Calderón¹, A. Josué Gámez-Vázquez³

¹INIFAP-Campo Experimental Valle de México, Km. 13.5 Carretera Los Reyes-Textcoco, 56250. Coatlínchán, Textcoco, Estado de México. ²Instituto Politécnico Nacional, Sección de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco. Unidad Profesional 'Adolfo López Mateos'. 07738. Colonia Lindavista, México, D.F. (rzb0509@hotmail.com). ³INIFAP-Campo Experimental Bajío, Km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 38110 Celaya, Guanajuato, México. ⁴INIFAP-Sitio Experimental Tlaxcala, Km. 2.5 Carretera Tlaxcala-Santa Ana, 90800. Tlaxcala, México.

RESUMEN

La semilla de calidad buena es insumo básico para aumentar productividad en maíz (*Zea mays* L.), debe producirse con procedimientos y controles estrictos. La tecnología para producir semilla híbrida es limitada; por ello, se evaluó el efecto de eliminar la espiga del progenitor hembra (desespigamiento) sobre la productividad y la calidad de semilla y la interacción con el ambiente de cruvas simples progenitoras de híbridos para Valles Altos de México. Entre 2006 y 2008, en Textcoco, Estado de México (2250 msnm) se evaluaron 15 tratamientos: cinco cruvas simples (CML-239xCML-242, M-43xM-44, M-47xM-46, CML-241xCML-243 y M-55xM-54) y tres niveles de desespigamiento (eliminación de la espiga, la espiga más la hoja bandera y sin eliminación de la espiga) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Diferencias ($p \leq 0.01$) se encontraron entre cruvas simples, años, rendimiento y calidad física de semilla; no existió diferencia significativa para desespigamiento; y la interacción entre inicio de floración masculina y femenina sí fue significativa. Las cruvas promediaron entre 70 y 72 d para el inicio de la floración masculina y femenina, con sincronía floral y dos días para iniciar el desespigue y evitar autofecundaciones; rindieron entre 4.79 y 9.43 t ha⁻¹, semilla grande entre 32 y 78 % y peso hectolítrico entre 62 y 68 kg hL⁻¹. Al eliminar la espiga aumentó 6.31 % el rendimiento y disminuyó la semilla chica (10.5 %) en comparación con el testigo. En 2006 hubo 4 d de diferencia para el inicio de la floración femenina y 2 d

ABSTRACT

Good quality seed is a crucial input for the increase of maize productivity (*Zea mays* L.), and must be produced using strict procedures and controls. Technology for the production of hybrid seed is limited and, therefore, the effect of removing the tassel of the female parent (detasseling) was evaluated on seed productivity and quality and the interaction with the environment of simple cross females in hybrids for the High Valleys OF Mexico. Between 2006 and 2008 in Textcoco, Estado de México (2250 masl), 15 treatments were evaluated: five simple crosses (CML-239xCML-242, M-43xM-44, M-47xM-46, CML-241xCML-243, and M-55xM-54) and three levels of detasseling (removing tassel, tassel and flag leaf and tassel not removed) in a randomized complete block design with three repetitions. Differences ($p \leq 0.01$) were found between simple crosses and years, yield and physical quality of seed; there were no significant differences for detasseling. The interaction was significant for the beginning of male flowering and yield. Crosses averaged 70 to 72 d for the start of male and female flowering, with floral synchrony, and two days to begin detasseling and avoid self-pollination; yields were 4.79 to 9.43 t ha⁻¹, 32 to 78 % for large seeds, and 62 to 68 kg hL⁻¹ test weight. Removing the tassel increased yield by 6.31 % and reduced the amount of small seed by 10.5 % in comparison to the control. In 2006 there was a difference of 4 d for the start of female flowering and 2 d in 2008 in comparison with 2007; in 2008 yield was 9.4 t ha⁻¹, and in 2006 it was 44.68 % lower. In 2008, M-43xM-44 yielded 11.24 t ha⁻¹, and in 2006 and 2007, yields were 42.32 and 14.11 % lower. To determine where, when, and how to produce hybrid seeds, one must know the parents, place of production, and interaction.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2015. Aprobado: noviembre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 43-59. 2016.

en 2008 en comparación con 2007; en 2008 el rendimiento fue 9.4 t ha⁻¹ y en 2006 fue 44.68 % menor. En 2008, M-43xM-44 rindió 11.24 t ha⁻¹ y en 2006 y 2007 los rendimientos fueron 42.32 y 14.11 % menores. Para determinar dónde, cuándo y cómo producir semilla híbrida se debe conocer los progenitores, sitio de producción e interacción.

Palabras clave: *Zea mays* L., semilla, desespigamiento, interacción genotipo x ambiente, progenitores.

INTRODUCCIÓN

En 2014, en México se produjeron 23.27 x 10⁶ Mg de maíz (*Zea mays* L.) en una superficie cosechada de 7.06 Mg x 10⁶ ha, con un rendimiento promedio de 3.3 Mg ha⁻¹. En los Valles Altos centrales de México, a más de 2200 msnm, en los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Morelos, Distrito Federal y Estado de México se cosecharon 2 millones de ha de grano de maíz con un rendimiento de 2.82 Mg ha⁻¹, 83.21 % en seco, que representaron 28.46 % de la superficie cosechada nacional con maíz (SIAP, 2013). La productividad es baja y se requiere aumentarla; una alternativa es utilizar semillas de variedades mejoradas de maíz, con características agronómicas y de productividad sobresalientes para seco y riego adaptadas a esta región.

Las semillas con calidad alta son el insumo básico para aumentar la productividad del cultivo (Copeland y McDonald, 2001; Barrón, 2010). En México, durante el 2014 se cosecharon 9403 ha de semilla de maíz categoría certificada, con un rendimiento de semilla promedio de 5.7 Mg ha⁻¹ y producción de 53 580 Mg, cantidad necesaria para sembrar 2 679 008 ha (considerando 20 kg de semilla categoría certificada por hectárea), que constituyen 36.07 % de la superficie sembrada con este cultivo (SIAP, 2014). En Valles Altos de México sólo en 6 % de la superficie cultivada con maíz se usan semillas certificadas (González *et al.*, 2008) y en la región de Amecameca, Estado de México, sólo 4 % (Jolalpa *et al.*, 2014).

Al respecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) genera variedades mejoradas y produce semilla de maíz adaptada a las regiones diferentes de México. Entre 2005 y 2014, el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) produjo y vendió semilla

Key words: *Zea mays* L., seed, detasseling, Genotype x Environment Interaction, parents.

INTRODUCTION

In 2014, Mexico produced 23.27 x 10⁶ Mg of maize (*Zea mays* L.), covering a surface of 7.06 x 10⁶ ha, with an average yield of 3.3 t ha⁻¹. In the central High Valleys of Mexico, at over 2200 masl, in the states of Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Morelos, Distrito Federal, and Estado de México, 2 million ha of maize grain were harvested with a yield of 2.82 Mg ha⁻¹, 83.21 % of which was rainfed, representing 28.46 % of the surface harvested in the country with maize (SIAP, 2014). Productivity is low and needs increasing. An alternative for this is the use of improved variety maize seeds, with outstanding agronomic and productivity characteristics for rainfed and irrigation adapted to this region.

High-quality seeds are the basic input for the increase of crop productivity (Copeland and McDonald, 2001; Barrón, 2010). In Mexico, 9403 ha of certified category maize were harvested in 2014, with an average seed yield of 5.7 Mg ha⁻¹ and a production of 53 580 Mg. This amount is required to plant around 2 679 008 hectares (considering 20 kg of certified category seed per hectare), or 36.07 % of the surface planted with this crop (SIAP, 2014). In the High Valleys of Mexico, certified seeds are only used in 6 % of the surface planted with maize (González *et al.*, 2008) and in the area of de Amecameca, Estado de México, in only 4 % (Jolalpa *et al.*, 2014).

In this regard, the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) generates improved varieties and produces maize seed adapted to the different regions of Mexico. Between 2005 and 2014, the Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) produced and sold registered category seed of hybrids H-40, H-48, H-50, H-52, H-66, H-70, and H-161, and of varieties VS-22, V-54A, and V-55A to 31 small seed companies and generated seed production technology (Virgen *et al.*, 2010; Larqué *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014). The production of certified seed carried out by small companies is an alternative for the adoption of technology and the production of grain in the High Valleys; Vallejo *et al.* (2008), Barrón *et al.* (2010), and Barillas *et al.* (2010) pointed out

de categoría registrada de los híbridos H-40, H-48, H-50, H-52, H-66, H-70 y H-161 y de las variedades VS-22, V-54A y V-55A a 31 microempresas de semilla y generó tecnología de producción de semilla (Virgen *et al.*, 2010; Larqué *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014). La producción de semilla certificada realizada por las microempresas es una alternativa para la adopción de la tecnología y la producción de grano en Valles Altos; Vallejo *et al.* (2008), Barrón *et al.* (2010) y Barillas *et al.* (2010) señalaron que en Michoacán, Guerrero y Tlaxcala hay grupos de productores de semillas organizados, que abastecen las necesidades de semilla certificada con variedades del INIFAP, lo cual es un ahorro de al menos 50 % en el costo de la semilla para el productor, en comparación con las empresas de capital extranjero. Domínguez y Donnet (2014) reportaron que 75 % de los híbridos y variedades de maíz generados para Valles Altos, que venden las empresas de semillas, son del INIFAP y representa 9.35 % de la superficie potencial para el cultivo de maíz en esta región (700 000 ha en riego y buen temporal), y 6.55 % del mercado potencial de semillas cuantificado por Donnet *et al.* (2012).

El estudio de los factores que determinan la productividad y calidad de semilla de los progenitores de híbridos de maíz, líneas y cruza simples, en los ambientes de producción es primordial en la producción de semilla híbrida categoría certificada. En híbridos el rendimiento potencial y calidad de semilla de los progenitores se evaluó (líneas y cruza simples), se identificaron sitios de producción (Ávila *et al.*, 2009; Virgen *et al.*, 2010), densidades de población (Rojas *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a; Tadeo *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014), fechas de siembra (Virgen *et al.*, 2013), uso de androesterilidad en la producción de semilla híbrida (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2012), nutrición del cultivo (Zepeda *et al.*, 2002; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2013) y la interacción genotipo x ambiente (Tadeo *et al.*, 2013; Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

En un lote de producción de semilla híbrida de maíz es esencial eliminar la espiga del progenitor hembra (desespigamiento) para mantener la calidad genética y evitar la contaminación por autofecundaciones. La actividad requiere, en promedio, entre 24 y 50 jornales ha⁻¹, según uniformidad del suelo y del progenitor femenino, presencia de hijos y facilidad para retirar la espiga (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005).

that in Michoacán, Guerrero, and Tlaxcala there are organized groups of seed producers that supply the certified seeds with INIFAP varieties, which means saving at least 50 % in the cost of seeds for producers, in comparison with foreign companies. Domínguez and Donnet (2014) reported that 75 % of the maize hybrids and varieties generated for the High Valleys and sold by seed companies come from INIFAP and account for 9.35 % of the potential surface for maize plantation in this region (700 000 ha in irrigation and good rainfall), and 6.55 % of the potential seed market quantified by Donnet *et al.* (2012).

The study of the factors that determine the productivity and quality of seed of maize hybrid parents, lines and simple crosses, in the production environments is crucial in the production of certified category hybrid seed. In hybrids, the potential yield and seed quality of the parents were evaluated (lines and simple crosses), and production sites were identified (Ávila *et al.*, 2009; Virgen *et al.*, 2010), along with population densities (Rojas *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a; Tadeo *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014), planting dates (Virgen *et al.*, 2013), use of androsterility in the production of hybrid seeds (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2012), crop nutrition (Zepeda *et al.*, 2002; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2013), and their Genotype x Environment interaction (Tadeo *et al.*, 2013; Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

In a hybrid maize seed production lot it is essential to remove the tassel of the female parent (detasseling) to maintain genetic quality and avoid contamination by self-pollination. The activity requires, on average, 24 to 50 worker days ha⁻¹, depending on the uniformity of the soil and the female parent, the presence of offspring and the easy removal of the tassel (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005). According to Espinosa-Calderón *et al.* (2010a), removing the tassel in the hybrid H-49 affected yield positively, while removing the tassel and three leaves affected it negatively. After detasseling in INIFAP and CIMMYT lines, Espinosa *et al.* (1999) observed an average increase of 30.3 % in yields and, in three lines, a decrease of 4.1, 14.7, and 32.9 %. In the parental single crosses of the hybrid H-47, androsterile and fertile, there was a reduction of 26 % in seed yield when detasseling (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010b). In hybrids H-47 and H-49, the elimination of one or two leaves did not affect yield (Tadeo *et al.*, 2013).

Según Espinosa-Calderón *et al.* (2010a), la eliminación de la espiga en el híbrido H-49 afectó positivamente el rendimiento, y la eliminación de la espiga y tres hojas lo afectó negativamente. Con el desespigue, en líneas de INIFAP y CIMMYT, Espinosa *et al.* (1999) observaron un aumento promedio de 30.3 % en el rendimiento y en tres líneas una reducción de 4.1, 14.7 y 32.9 %. En las cruza simples progenitoras del híbrido H-47, androestéril y fértil, disminuyó 26 % el rendimiento de semilla al eliminar la espiga (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010b). En los híbridos H-47 y H-49, la eliminación de una o dos hojas no afectó el rendimiento (Tadeo *et al.*, 2013).

Hay información específica sobre la tecnología de producción y calidad de semillas, categoría certificada, de cruza simples y líneas progenitoras de híbridos en localidades determinadas. Así, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de niveles de eliminación de la espiga en el progenitor hembra (desespigamiento) en el rendimiento y calidad física de semilla de cruza simples progenitoras de híbridos de maíz en Valles Altos de México y su interacción con el ambiente. Las hipótesis fueron: 1) Las cruza simples progenitoras hembra tienen atributos genéticos deseables para la producción de semillas, y 2) la eliminación de la espiga más una hoja no afecta el rendimiento y calidad de la semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue parte de las actividades del proyecto “Generación de tecnología para la producción de semilla de maíz para Valles Altos y Zona de Transición”, que se realizaron en el Programa de Tecnología de Semillas del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), Coatlinchán, Texcoco, Estado de México (19° 17' N, 98° 53' O y 2250 m de altitud). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18 °C, precipitación pluvial promedio anual de 645 mm (INIFAP, 2012). Los datos de temperatura y precipitación mensuales promedio de los años 2006, 2007 y 2008 se obtuvieron en la Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados (km 36.5 carretera federal Los Reyes-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, a 5 km de distancia del experimento) y se procesaron.

Durante los ciclos agrícolas primavera-verano de 2006, 2007 y 2008 se evaluaron 15 tratamientos de la combinación factorial 5x3: Cinco cruza simples (CML-239 x CML-242, M-43 x M-44, M-47 x M-46, CML-241 x CML-243 y M-55 x M-54) y tres niveles de desespigamiento (eliminación de la espiga,

There is specific information on the technology of seed production and quality, certified category, of simple crosses and parent hybrid lines in particular locations. Thus the aim of this investigation was to determine the effect of levels of removal of tassels in the female parent (detasseling) on the yield and physical seed quality of parental single crosses of maize hybrids in the High Valleys of Mexico and its interaction with the environment. Our hypotheses were: 1) The female parental single crosses have different desirable genetic attributes for seed production, and 2) removing the tassel plus one leaf does not affect the seed's yield and quality.

MATERIALS AND METHODS

The investigation was part of the activities of the project “Generación de tecnología para la producción de semilla de maíz para Valles Altos y Zona de Transición” (Generating technology for maize seed production in the High Valleys and Transition Zone), carried out in the Programa de Tecnología de Semillas of the Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), Coatlinchán, Texcoco, Estado de México (19° 17' N, 98° 53' W and 2250 m above sea level). The weather is temperate sub-humid with rainfall in the summer, an average annual temperature between 12 and 18 °C, average annual rainfalls of 645 mm (INIFAP, 2012). Average monthly temperature and rainfall data for the years 2006, 2007, and 2008 were retrieved and processed in the agro-weather station of the Colegio de Postgraduados (km 36.5 carretera federal Los Reyes-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 5 km away from the experiment).

During the spring-summer agricultural cycles of 2006, 2007, and 2008, fifteen treatments, product of the 5x3 factorial combination, were evaluated: Five simple crosses (CML-239xCML-242, M-43xM-44, M-47xM-46, CML-241xCML-243, and M-55xM-54), and three levels of detasseling (removal of tassel, removal of tassel and flag leaf, and no removal of neither tassel nor flag leaf) in a randomized complete block design with three repetitions. The evaluation did not include the male parent. The experimental unit consisted of four rows, each 5 m long and separated by 0.80 m; the two central rows were used as the effective plot size. The CML crosses, generated by the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), are homogenous and uniform, since they are formed with lines that have an average of six to eight self-pollinations in comparison to the M crosses, generated by INIFAP, with a higher variability and three to five self-pollinations (Espinosa *et al.*, 2003; Ávila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011). The simple crosses are parents of the maize hybrids adapted to the Mexican High Valleys: H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70, and H-153E, generated by INIFAP.

eliminación de la espiga más la hoja bandera y sin eliminación de la espiga u hoja bandera) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En la evaluación no se incluyó al progenitor masculino. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados a 0.80 m; se usaron los dos surcos centrales como parcela útil. Las cruzas CML, generadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), son homogéneas y uniformes porque están formadas con líneas que tienen en promedio seis a ocho autofecundaciones en comparación con las cruzas M, generadas por el INIFAP, con variabilidad mayor y entre tres y cinco autofecundaciones (Espinoza *et al.*, 2003; Ávila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011). Las cruzas simples son progenitoras de los híbridos de maíz adaptados a Valles Altos de México: H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70 y H-153E generados por el INIFAP.

El manejo agronómico se hizo con base a las recomendaciones para el cultivo de maíz en el CEVAMEX. El terreno se preparó con un barbecho, rastra y surcado con maquinaria. La siembra se hizo manual, en suelo seco, los días 16, 11 y 21 de mayo de 2006, 2007 y 2008, respectivamente; a una densidad de población 62500 ha⁻¹, distancia entre plantas de 20 cm y una planta por mata. Para fertilizar se utilizó la fórmula 150-70-30 (NPK), la mitad de N y todo el P y el K se aplicó con maquinaria al momento de la siembra y el resto del N en la segunda escarda, y 326 kg ha⁻¹ de urea, 152 kg ha⁻¹ de superfosfato de calcio triple y 50 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio se usaron como fuentes de N, P y K. Las malezas se controlaron con la aplicación en preemergencia de dosis de 1.5 L ha⁻¹ de Primagran gold® (*i. a.* Atrazina + S-metolaclor), y en postemergencia, cuando la maleza tenía 5 cm de altura, 2.0 L ha⁻¹ de Marvel® (*i. a.* Dicamba + Atrazina). En promedio, se aplicaron ocho riegos en la siembra y las etapas V3, V6, V10, V13, VT, R1 y R3 (Ritchie *et al.*, 1993); el riego fue por gravedad con una lámina de 12 cm, considerando la eficiencia de conducción y aplicación que se estimó en 65 % y evapotranspiración de la planta (Rendón y Fuentes, 1997) en ausencia de precipitación por un periodo de 8 d.

El desespigue (eliminación de la espiga del progenitor hembra) se hizo manual. Su inicio fue 3 a 5 d después de la aparición de la primera espiga (flor masculina), porque no había liberación de polen, en la parcela útil y continuó durante 10 a 15 d cada tercer día, hasta la eliminación total de las espigas. La cosecha fue manual cuando se observó la formación de la capa negra, indicador de madurez fisiológica. Los granos se muestrearon de la parte media de cinco mazorcas en cada unidad experimental y los muestreos se hicieron cuando la planta tuvo un aspecto seco, con contenido de humedad del grano de 24 %, y otro 15 d después. El secado fue natural y el beneficio de la semilla fue manual.

Las variables medidas fueron: 1) inicio de la floración masculina y femenina, los días a partir del primer riego se cuantificaron

Agronomic management was performed according to the recommendations for planting maize in the CEVAMEX. The land was prepared with a fallow, dredge, and furrow with machinery. Seeds were sown by hand on dry soil on May 16, 11, and 21, in 2006, 2007, and 2008, respectively, at a population density of 62,500 ha⁻¹, with a distance between plant and plant of 20 cm. To fertilize, we used the formula 150-70-30 (NPK), half of N and all the P and K was added using machinery while planting, and the rest of the N in the second hoeing, and 326 kg ha⁻¹ of urea, 152 kg ha⁻¹ of triple calcium superphosphate and 50 kg ha⁻¹ of potassium chloride were used as sources of N, P, and K. Weeds were controlled by applying a preemergence 1.5 L ha⁻¹ dose of Primagran gold® (*i. a.* Atrazina + S-metolaclor), and in postemergence, when the weeds were 5 cm in height, 2.0 L ha⁻¹ of Marvel® (*i. a.* Dicamba + Atrazina). An average of eight irrigations were performed during sowing and in stages V3, V6, V10, V13, VT, R1, and R3 (Ritchie *et al.*, 1993); gravity irrigation was performed using a 12 cm irrigation depth, considering the efficiency of conduction and application, which was estimated in 65 % and evapotranspiration of the plant (Rendón and Fuentes, 1997) in the absence of rainfall for a period of 8 d.

The process of detasseling (removal of the tassel from the female parent) was performed manually. It began 3 to 5 d after the appearance of the first tassel (male flower), since there was no pollen release in the effective plot size and continued during 10 to 15 d every third day, until all tassels were removed. The harvest was carried out by hand when the formation of a black layer was observed, which indicated physiological maturity; the grains of the middle section of five ears were sampled in each experimental unit. Samples were taken twice: First, when the plant looked dry, with a humidity of 24 % in the grain, and another one 15 d later. The drying process was natural and the cleaning of the seed was done manual.

The variables measured were: 1) beginning of male and female flowering, where the days were counted from the first irrigation to the appearance of the first tassel and first silking, measured in lateral rows of the experimental unit; 2) yield, Mg ha⁻¹ at 14 % humidity, calculated using the formula: REN=[(PC x MS % x G x FC %) /8600]/1000, where PC = ear field weight, in kg per effective plot size; MS % = percentage of dry matter, by means of the difference of 100 minus the percentage of humidity in the grain, obtained using the equipment Stenlite®; G % = percentage of grain, relation between the weight of grain and the weight of the ear without bracts, average of five ears, multiplied by 100; FC = correction factor, obtained by dividing 10000 m² (1 ha) by the effective plot area (8 m²); 8600 = factor to adjust the yield to 14 % humidity per hectare, parameter used in Mexico; and 3) physical quality of the seed by means of size and weight. Seed sizes were classified as: large (SG), medium

hasta la aparición de la primera espiga y primer estigma, se midió en los surcos laterales de la unidad experimental; 2) rendimiento, Mg ha^{-1} a 14 % de humedad, se calculó con la fórmula: $\text{REN} = [(\text{PC} \times \text{MS} \% \times \text{G} \times \text{FC} \%)/8600]/1000$, donde PC = peso de campo de mazorca, en kg por parcela útil; MS % = porcentaje de materia seca, mediante la diferencia de 100 menos el porcentaje de contenido de humedad del grano obtenido del aparato Sten-lite®; G % = porcentaje de grano, relación entre el peso de grano y el peso de mazorca desprovista de brácteas, promedio de cinco mazorcas, multiplicado por 100; FC = factor de corrección, obtenido al dividir 10000 m^2 (1 ha) entre la superficie útil de la parcela (8 m^2); 8600 = factor para ajustar el rendimiento al 14 % de humedad por hectárea, parámetro utilizado en México; y 3) calidad física de la semilla mediante tamaño y peso. Las semillas se clasificaron en: grande (SG), mediana (SM) y chica (SC), con cribas de perforación redonda de 8, 7 y 6 mm, y los valores se reportaron en porcentajes. Cinco grupos o repeticiones de 200 semillas (P200S) se pesaron en una balanza analítica (Ohaus) y se calculó el promedio; el peso hectolítrico (PH) se determinó en una báscula (OHAUS®) y se expresó en kg hL^{-1} .

Con los resultados se realizó un ANDEVA combinado con el procedimiento GLM (SAS, 1989) para los factores principales y las interacciones. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos expresados en porcentaje se transformaron a valores de arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cruzas simples progenitoras de híbridos de maíz

Entre cruzas simples progenitoras de los híbridos: H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70 y H-153E hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para inicio de floración masculina, rendimiento y calidad de semilla (Cuadro 1). Lo anterior debido a las características genéticas de cada una de las líneas que forman la cruce simple (Virgen-Vargas *et al.*, 2014) y a la respuesta de la planta al daño causado por la eliminación de la espiga (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a y b), principalmente la diferencia en número de autofecundaciones entre ellas (Espinosa *et al.*, 2003; Ávila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011). Los resultados son similares a los obtenidos por Virgen *et al.* (2010) y Virgen *et al.* (2013) al evaluar cruzas simples progenitoras de los híbridos de maíz: H-50, H-52, H-64, H-66, H-68 y H-70 en localidades del Estado de México y Tlaxcala.

Los días para el inicio de la floración masculina y femenina fueron en promedio 70 a 72 (Cuadro 1).

(SM), and small (SC), with round drilling jigger sized 8, 7, and 6 mm, and the values were reported as percentages. For the weight of 200 seeds (P200S), five groups or repetitions of 200 seeds were weighed using an analytic scale (Ohaus), and the average was calculated; the test weight (PH) was taken using an OHAUS® scale and expressed in kg hL^{-1} .

Data was used to perform ANOVA using GLM procedure (SAS, 1989) for the main factors and interactions. Treatments means were compared using Tukey ($p \leq 0.05$). The data expressed as percentages were previously transformed into arcsine values.

RESULTS AND DISCUSSION

Parental single crosses of maize hybrids

Between parental single crosses of the hybrids H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70, and H-153E there were significant differences ($p \leq 0.01$) for the beginning of male flowering, yield, and seed quality (Table 1). This was due to the genetic characteristics of each one of the lines that form the simple cross (Virgen-Vargas *et al.*, 2014) and to the response of the plant to the damage caused by the removal of the tassel (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a and b); mainly the difference in the number of self-pollinations between them (Espinosa *et al.*, 2003; Ávila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011). These results are similar to those obtained by Virgen *et al.* (2010) and Virgen *et al.* (2013) when evaluating parental single crosses of the maize hybrids H-50, H-52, H-64, H-66, H-68, and H-70 in Estado de México and Tlaxcala.

The number of days until male and female flowering were, on average, 70 and 72 (Table 1). This indicates that the simple crosses showed floral synchrony, which is why the female parent must be detasseled within no more than two days to avoid self-pollination and maintain the genetic quality of the certified category seed (Vallejo *et al.*, 2008). In the simple cross CML-241 x CML-243, the number of days until the beginning of male and female flowering was equal, therefore the exact moment in which to remove the tassel must be defined carefully. In M-43 x M-44 the difference between the beginning of flowering was 4 d, indicating more time to begin detasseling. Another factor to consider is the uniformity of the flowering of the female parent (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005); the more uniformity there is, the lower the number of detasseling steps and the lower the cost of this activity in comparison

Cuadro 1. Floración y rendimiento, tamaño y peso de semilla promedio de cruzas simples progenitoras de híbridos de maíz. Texcoco, Estado de México (2006-2008).**Table 1. Table 1. Flowering and yield, average size and weight of seeds of parental single crosses of maize hybrids. Texcoco, Estado de México (2006-2008).**

Cruzas simples	IFM (días)	IFF (días)	REN (Mg ha ⁻¹)	Tamaño de semilla (%)			PH (kg hL ⁻¹)	P200S (g)
				SG	SM	SC		
CML-239xM-242	70.1b	73.0a	7.3b	71.4b	19.4cd	8.9b	65.6b	67.7b
M-43xM-44	71.1b	75.0a	9.1a	70.4b	21.7c	7.9b	62.6c	85.5a
M-47xM-46	68.6c	71.3a	8.1b	49.8c	30.2b	19.9a	64.8b	71.2b
CML-241xM-243	72.8a	72.7a	4.7c	32.4d	46.1a	21.5a	68.3a	48.3c
M-55xM-54	68.1c	70.5a	9.4a	78.3a	16.1d	5.6b	62.8c	88.7a
P > F	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
DSH (0.05)	1.06	4.63	0.86	6.44	5.46	4.14	1.17	5.64
Media	70.19	72.53	7.79	60.51	26.74	12.78	64.87	72.33
CV (%)	2.00	8.46	14.73	11.68	17.97	26.29	2.38	10.31
R ²	0.74	0.29	0.87	0.94	0.88	0.94	0.92	0.92

p>F: Probabilidad; Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta; CV: coeficiente de variación; REN: rendimiento de semilla; IFM: inicio floración masculina; IFF: inicio floración femenina; SG: porcentaje de semilla grande; SM: porcentaje de semilla mediana; SC: porcentaje de semilla chica; PH: peso hectolítrico, en kg hL⁻¹; P200S: peso de 200 semillas, en g. ♦ p>F: Probability; Means with different letter in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: honest significant difference; CV: coefficient of variation; REN: seed yield; IFM: male flowering begins; IFF: female flowering begins; SG: percentage of large seeds; SM: percentage of medium seeds; SC: percentage of small seeds; PH: test weight, in kg hL⁻¹; P200S: weight of 200 seeds, in g.

Esto indica que las cruzas simples mostraron sincronía floral; por ello, se debe iniciar la eliminación de la espiga, en el progenitor femenino, en un periodo menor a dos días para evitar autofecundaciones y conservar la calidad genética de la semilla categoría certificada (Vallejo *et al.*, 2008). En la craza simple CML-241 x CML-243, el número de días para el inicio de la floración masculina y femenina fue igual, por lo que se requiere precisar el momento oportuno para realizar el desespigamiento. En M-43 x M-44 la diferencia entre el inicio de las floraciones fue 4 d, lo que indica tiempo mayor para iniciar el desespigue. Otro factor a considerar es la uniformidad de la floración del progenitor hembra (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005), entre mayor uniformidad el número de pasos de desespigue será menor y menor el costo de esta actividad, en comparación con progenitores variables, cuyo periodo de floración masculina es amplio (10 a 20 d); las cruzas CML-239 x CML-242 y CML-241 x CML-243 tienen mayor uniformidad porque están formadas con líneas entre seis y ocho autofecundaciones en comparación con las cruzas M-43 x M-44, M-47 x M-46 y M-55 x M-54 que tienen mayor variabilidad (Espinosa *et al.*, 2003; Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011).

to other parent variables, the male flowering period of which is broad (10 to 20 d). Crosses CML-239 x CML-242 and CML-241 x CML-243 have a greater uniformity, since they are formed with lines of six to eight self-pollinations, in comparison to crosses M-43 x M-44, M-47 x M-46, and M-55 x M-54, which have more variability (Espinosa *et al.*, 2003; Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011).

Average seed yield was 7.79 Mg ha⁻¹ and 80 % of the parental single crosses of hybrids yielded between 7 and 9 Mg ha⁻¹ (Table 1). Crosses M-43 x M-44 and M-55 x M-54, parents of hybrids H-52, H-66, and H-70, had the highest yields, with 9.1 and 9.4 Mg ha⁻¹, and the lowest yield was in CML-241 x CML-243, parent of the H-68E, with 4.79 Mg ha⁻¹. These results are similar to those reported by Avila *et al.* (2009) and Espinosa *et al.* (2012). The results were obtained in experimental lots, as opposed to a hybrid seed detasseling lot, where yield is lower due to factors such as asynchrony in male and female flowering between parents, scarce control of weeds, pests, and diseases, and genetic quality, as well as losses during the cleaning of the seed. In this regard, Barrón (2010) pointed out that in the production of certified seeds of hybrids H-515 and H-516 they obtained 3 Mg

El rendimiento promedio de semilla fue 7.79 Mg ha⁻¹, 80 % de las cruza simples progenitoras de los híbridos rindieron entre 7 y 9 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1). Las cruza M-43 x M-44 y M-55 x M-54, progenitoras de los híbridos H-52, H-66 y H-70, tuvieron los rendimientos mayores (9.1 y 9.4 Mg ha⁻¹) y la menos rendidora fue CML-241 x CML-243, progenitor del H-68E, con 4.79 Mg ha⁻¹. Estos resultados son similares a los publicados por Avila *et al.* (2009) y Espinosa *et al.* (2012). Los resultados se obtuvieron en lotes de experimentación, en comparación con un lote de desespigamiento de semilla híbrida, donde el rendimiento es menor debido a factores como asincronía en la floración masculina y femenina entre progenitores, falta de control de malezas, plagas y enfermedades y calidad genética, y pérdidas durante el beneficio de semilla. Al respecto, Barrón (2010) señaló que en la producción de semilla certificada de los híbridos H-515 y H-516 obtuvieron 3 Mg ha⁻¹ de semilla comercializable, y en el híbrido H-318 fue 4 y 7 Mg ha⁻¹ (Vallejo *et al.*, 2008). Los rendimientos de semilla de las cruza simples hembra de los híbridos H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70 y H-153E hacen rentable la producción de semilla para las empresas de capital nacional porque la relación costo beneficio es >1; es 1.9 para producir un híbrido trilineal, y por cada peso invertido se obtienen 2.9 pesos (Vallejo *et al.*, 2008; Virgen *et al.*, 2013).

Las cruza simples tuvieron, en promedio 60, 27 y 13 % de semilla grande, mediana y chica (Cuadro 1). CML-239 x CML-242, M-43 x M-44 y M-55 x M-54 presentaron porcentajes de semilla grande (8 mm) mayores a 70 % y de semilla chica (6 mm) entre 5 y 8 % porque tienen mazorca cónica (Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011); mientras M-47 x M-46 y CML-241 x CML-243 tuvieron entre 49 y 39 % de semilla grande, entre 30 y 46 % de semilla mediana (7 mm) y entre 19 y 21 % de semilla chica, como en una mazorca cónico-cilíndrica. El tamaño de semilla es una característica importante para la comercialización y rentabilidad para las empresas productoras de semilla debido a que los productores prefieren semilla grande y mediana, aunque la semilla chica tiene calidad fisiológica buena. Laynez-Garsaball *et al.* (2007) y Tadeo-Robledo *et al.* (2010) no detectaron diferencias significativas en el vigor de las plántulas entre tamaños de semilla de variedades de maíz. Sin embargo, al inicio del crecimiento de la semilla chica la

ha⁻¹ of marketable seeds, and for the hybrid H-318 between 4 and 7 Mg ha⁻¹ were obtained (Vallejo *et al.*, 2008). The yields of seeds from female simple crosses of hybrids H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70, and H-153E make seed production profitable for domestic businesses, since the cost-benefit is >1; it is 1.9 to produce a trilinear hybrid, indicating that for each peso invested, one can recover this plus another 1.9 pesos (Vallejo *et al.*, 2008; Virgen *et al.*, 2013).

Simple crosses had, on average, 60, 27, and 13 % large, medium, and small seeds, respectively (Table 1). CML-239 x CML-242, M-43 x M-44, and M-55 x M-54 displayed percentages of large seeds (8 mm) of over 70 % and of small seeds (6 mm) of 5 to 8 %, since they have conical ears (Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2011), whereas M-47 x M-46 and CML-241 x CML-243 had between 49 and 39 % large seeds, 30 to 46 % of small seeds (7 mm), and 19 to 21 % small seeds, indicating a conical-cylindrical ear. Seed size is an important characteristic for the sale and profitability for seed companies, since producers prefer large and medium seeds, although small seeds have good physiological quality. Laynez-Garsaball *et al.* (2007) and Tadeo-Robledo *et al.* (2010) did not find significant differences in the vigor of plantlets between sizes of maize seed varieties. However, at the beginning of growth of the small seeds there was a lower accumulation of dry matter than in large seeds (López-Santillán *et al.*, 2004).

The test weight and weight of 200 seeds were, on average, 64 kg hL⁻¹, and 72.33 g, the cross CML-241 x CML-243 had the highest test weight (68.33 kg hL⁻¹) and the lowest weight for 200 seeds with 48.33 g, whereas crosses M-55 x M-54 and M-43 x M-44 had the lowest weight of 200 seeds with 88.64 and 85.59 g and the lowest test weight (62.88 and 62.66 kg hL⁻¹) (Table 1). These figures are similar to those obtained by Zepeda *et al.* (2002) with simple crosses H-14 and H-214. The seeds with the highest weight have the least number of seeds, and vice-versa. The number of seeds per kilogram is important when establishing a detasseling lot to determine the population density of both parents, and for the sowing ratio of male and female rows, as well as the greater amount of seeds of the male parent that can be used in case planting more rows is required to obtain more pollen or as border for isolation, in compliance with seed certification regulations (SAG, 1975).

acumulación de materia seca es menor, comparando con la semilla grande (López-Santillán *et al.*, 2004).

El peso hectolítrico y de 200 semillas fue en promedio 64 kg hL⁻¹ y 72.33 g, la cruz CML-241 x CML-243 tuvo el peso hectolítrico mayor hL⁻¹ y el menor peso de 200 semillas con 48.33 g, las cruzas M-55 x M-54 y M-43 x M-44 tuvieron el peso mayor de 200 semillas con 88.64 y 85.59 g y el menor peso hectolítrico (62.88 y 62.66 kg hL⁻¹) (Cuadro 1). Estos valores son similares a los documentados por Zepeda *et al.* (2002) con las cruzas simples H-14 y H-214. Las semillas con peso mayor representan número menor de semillas y viceversa. El número de semillas por kilogramo en el establecimiento de un lote de desespigamiento es importante para determinar la densidad de población de los dos progenitores y la relación de siembra de surcos hembra y macho, y por la cantidad mayor de semilla del progenitor macho que puede utilizarse en caso de requerir sembrar más surcos para obtener más polen o como bordo para el aislamiento, en cumplimiento con las normas de certificación de semillas (SAG, 1975).

Efecto de eliminar la espiga en el progenitor hembra (desespigamiento)

No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en el rendimiento y calidad física de semilla entre los niveles de desespigamiento (Cuadro 2), debido probablemente a que la espiga demanda nutrimentos, que al eliminarse no alteró la fisiología de la planta, al contrario propició que los fotosíntatos fueran dirigidos al llenado de la semilla (Martínez *et al.*, 2005). Al eliminar la espiga y la hoja bandera no disminuyó ($p > 0.05$) el rendimiento porque la capacidad fotosintética de la planta no se afectó pues el área de la hoja bandera eliminada fue menor en comparación con las otras hojas, y fueron suficientes para realizar la fotosíntesis. De Brito (2011) indicó que reducciones mayores a 41.01 % del área foliar en plantas de maíz comprometen su productividad. Resultados similares fueron observados por Espinosa-Calderón *et al.* (2010b) al eliminar la espiga sin o con diferente número de hojas en el híbrido de maíz H-49; y en el híbrido H-47 disminuyó 26 % el rendimiento de semilla al eliminar de la espiga (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a). Para la eliminación de una o dos hojas en ambos híbridos no afectó el rendimiento (Tadeo *et al.*, 2013).

Effect of removing the tassel in the female parent (detasseling)

There were no significant differences ($p > 0.05$) in yield and physical seed quality between levels of detasseling (Table 2), due probably to the fact that the tassel demands nutrients, and removing it did not alter the physiology of the plant, but rather contributed to photosynthates being directed at filling the seeds (Martínez *et al.*, 2005). There was no significant reduction ($p > 0.05$) in yield when removing the tassel and flag leaf because the photosynthetic capacity of the plant was not affected, since the area of the flag leaf removed was less than in comparison to other leaves, which were enough to carry out photosynthesis. De Brito (2011) pointed out that reductions of over 41.01 % of the foliar area in maize plants jeopardize their productivity. Similar results were observed by Espinosa-Calderón *et al.* (2010b) when removing the tassel with or without a different number of leaves in maize hybrid H-49; and in hybrid H-47 was reduced seed yield of 26 % with the removal of the tassel (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a). But removing one or two leaves in both hybrids did not affect yield (Tadeo *et al.*, 2013).

In a hybrid maize seed production lot, it is crucial to remove the tassel of the female parent (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005), which is why it is important to count the days until the beginning and male and female mean flowering in both parents. Simple crosses had an average of 70 d to begin male flowering, and 72 d for female flowering (Table 2). There is a period of two days to remove the tassel from the female parent, so as to maintain genetic quality and avoid self-pollination. It is recommendable to begin 2 to 4 d after the appearance of the first tassel (male flow) and continue for 10 and 20 d every third day until all tassels have been removed, depending on the genetic characteristics of both parents, the effect of the environment and their interaction in a detasseling lot (Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

Seed yield increased 6.31 % (480 kg ha⁻¹) with the removal of the plant's tassel in comparison to the control (tassel not removed). This could be due to the fact that by removing the source of demand, nutrients were translocated to the cobs and used for plant growth, and reduced the percentage of small seeds (10.5 %). Removing the tassel, and the tassel and flag leaf had no significant negative effects on

Cuadro 2. Floración y rendimiento, tamaño y peso de semilla por efecto de eliminar la espiga en cruza simples progenitoras de híbridos de maíz, Texcoco, Estado de México (2006-2008).**Table 2. Flowering and yield, effect on size and yield of seed from eliminating the spike in parental single crosses of maize hybrids. Texcoco, Estado de México (2006-2008).**

Eliminación de espiga	IFM (días)	IFF (días)	REN (Mg ha ⁻¹)	Tamaño de semilla (%)			PH (kg hL ⁻¹)	P200S (g)
				SG	SM	SC		
Sin eliminar	70.42	73.04	7.61	59.91	26.20	14.00	65.00	72.02
Espiga	69.93	71.44	8.09	60.71	26.64	12.53	64.73	71.42
Espiga + hoja bandera	70.20	73.09	7.66	60.93	27.38	11.82	64.89	73.56
P > F	0.26	0.35	0.09	0.73	0.64	0.31	0.71	0.37
DSH (0.05)	0.71	3.08	0.57	4.27	3.62	2.74	0.77	3.74

p>F: Probabilidad; Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta; REN: rendimiento de semilla; IFM: inicio floración masculina; IFF: inicio floración femenina; SG: porcentaje de semilla grande; SM: porcentaje de semilla mediana; SC: porcentaje de semilla chica; PH: peso hectolítrico, en kg hL⁻¹; P200S: peso de 200 semillas, en g. ♦ p>F: Probability; Means with different letter in a column are different (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: honest significant difference; REN: seed yield; IFM: male flowering begins; IFF: female flowering begins; SG: percentage of large seeds; SM: percentage of medium seeds; SC: percentage of small seeds; PH: test weight, in kg hL⁻¹; P200S: weight of 200 seeds, in g.

En un lote de producción de semilla híbrida de maíz es primordial eliminar la espiga del progenitor hembra (Martínez-Lázaro *et al.*, 2005). Por ello es importante cuantificar los días para el inicio y floración media masculina y femenina de ambos progenitores. Las cruza simples, en promedio, iniciaron la floración masculina y femenina en 70 y 72 d (Cuadro 2), y el período para eliminar la espiga del progenitor hembra, para conservar la calidad genética y evitar las autofecundaciones es 2 d. Es recomendable iniciar entre 2 y 4 d después de la aparición de la primera espiga (flor masculina) y continuar durante 10 y 20 d, cada tercer día hasta eliminar todas las espigas, en dependencia de las características genéticas de los progenitores, el efecto del ambiente y su interacción (Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

El rendimiento de semilla aumentó 6.31 % (480 kg ha⁻¹) con la eliminación de la espiga de la planta, comparado con el testigo (sin eliminar la espiga). Esto pudo deberse a que al eliminar la fuente demandante los nutrimentos fueron traslocados al jilote y usados en el desarrollo de la semilla, y disminuyó el porcentaje de semilla chica (10.5 %). Eliminar la espiga y la espiga más la hoja bandera no tuvo efectos negativos significativos en el rendimiento y calidad de semilla. Espinosa-Calderón *et al.* (2010b) también observaron efecto positivo en el rendimiento al eliminar la espiga en el progenitor hembra. Esto indica la posibilidad de reducir por lo menos un paso para desespigar lotes de producción de semilla, o bien la

the yield and quality of the seed. Espinosa-Calderón *et al.* (2010b) also observed a positive effect on yield when removing the tassel from the female parent. This indicates the possibility of reducing at least one step towards detasseling seed production lots or the possibility of calibrating machinery to make the cut in the point of insertion of the flag leaf. However, in each female parent it is important to know the effect of eliminating the tassel along with one, two, or three leaves, because in some parents, seed yield is affected (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a).

Effect of the environment (years of production)

Significant differences ($p \leq 0.01$) were observed between the spring-summer planting cycles of the years 2006, 2007, and 2008 for the beginning of male and female flowering, yield, and physical quality in seeds (Table 3). This indicated that at least one characteristic was different from one year to the next, perhaps due to the difference in temperature (average of 16 °C in each year) and amount and distribution of rainfall; the rainy season covered between June and September, and rainfall was 722.7 mm in 2007, and 20 and 32 % higher than in 2006 (583 mm) and 2008 (495.2 mm) (Figure 1, Agro-Weather Station of the Colegio de Postgraduados, 2013). These differences probably contributed to the differences in both days for the beginning of flowering, yield, and the physical quality in seeds for

posibilidad de calibrar la maquinaria para hacer el corte en el punto de inserción de la hoja bandera. Pero en cada progenitor hembra deberá conocer el efecto de eliminar la espiga más una, dos o tres hojas, ya que en algunos progenitores el rendimiento de la semilla es afectado (Espinosa-Calderón *et al.*, 2010a).

Efecto del ambiente (años de producción)

Entre ciclos agrícolas de producción primavera-verano de 2006, 2007 y 2008 hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en el inicio de la floración masculina y femenina, rendimiento y calidad física de semilla (Cuadro 3). Esto indicó que por lo menos una característica fue diferente de un año a otro, debido quizá a la diferencia en la temperatura (promedio de 16 °C en cada año) y cantidad y distribución de la precipitación; la temporada de lluvia se estableció entre junio y septiembre y la precipitación fue 722.7 mm en 2007, y fue 20 y 32 % mayor a las de 2006 (583 mm) y 2008 (495.2 mm) (Figura 1, Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, 2013). Estas diferencias pueden contribuir a las diferencias en los días para el inicio de la floración, el rendimiento y la calidad física de semilla de las cruza simples. Efectos similares de los factores ambientales sobre las plantas de maíz fueron observados por Boomsma *et al.* (2009) y Ramírez *et al.* (2010).

Entre años hubo 4 d de diferencia para el inicio de la floración femenina, en 2006 se observó el número

simple crosses. Similar effects of the environmental factors on maize plants were observed by Boomsma *et al.* (2009) and Ramírez *et al.* (2010).

Between years there was a difference of 4 d for the beginning of female flowering; 2006 displayed the most days, and 2007, the least (Table 3). This may be due to the fact that during the stages of germination, vegetative stage, and floral differentiation of the maize plant, temperatures fell between 2.4 and 0.5 °C, causing lower growth and development of the plant. Similar results were observed by Zepeda-Bautista *et al.* (2009) and Virgen *et al.* (2013) in parental single crosses of maize hybrids for the High Valleys of Mexico.

Average seed yield was 7.79 t ha⁻¹; in 2008 it was 17.12 % higher, and in 2006, 33.24 % lower (Table 3). This may be due to the greater availability of water in the stages of flowering and grain filling, due to rainfall; in 2008, rainfall was highest in September (week 40, 53.50 mm) in comparison to 2006 (week 40, 12.40 mm) (Figure 1). This confirms the effect of the environment on the productivity of female parental single crosses in maize hybrids (Virgen *et al.*, 2010; Virgen *et al.*, 2013), which is useful to determine the location, date, and how to establish a seed production lot. Avila *et al.* (2009) observed a similar environmental effect when increasing the female simple cross of the hybrid H-52 in the Texcoco Valley; production was between 9 and 10 Mg ha⁻¹ with 70 % of large seed, and in Tlaxcala, 6.5 Mg ha⁻¹

Cuadro 3. Efecto del ambiente en floración y rendimiento, tamaño y peso promedio de semilla en cruza simples progenitoras de híbridos de maíz, Texcoco, Estado de México (2006-2008).

Table 3. Effect of the environment on flowering and yield, size and weight of seeds in parental single crosses of maize hybrids. Texcoco, Estado de México (2006-2008).

Años	IFM (días)	IFF (días)	REN (Mg ha ⁻¹)	Tamaño de semilla (%)			PH (kg hL ⁻¹)	P200S (g)
				SG	SM	SC		
2006	71.4a	74.6a	5.2c	26.5b	41.7a	31.5a	64.1b	49.2b
2007	69.6b	70.1b	8.5b	79.3a	20.0b	0.6c	60.5c	82.3a
2008	69.4b	72.9ab	9.4a	75.6a	18.4b	6.1b	70.0a	85.3a
P > F	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
DSH (0.05)	0.71	3.08	0.57	4.27	3.62	2.74	0.77	3.74

p>F: Probabilidad; Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta; REN: rendimiento de semilla; IFM: inicio floración masculina; IFF: inicio floración femenina; SG: porcentaje de semilla grande; SM: porcentaje de semilla mediana; SC: porcentaje de semilla chica; PH: peso hectolítrico, en kg hL⁻¹; P200S: peso de 200 semillas, en g. ♦ p>F:= Probability; Means with different letter in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$); DSH: honest significant difference; REN: seed yield; IFM: male flowering begins; IFF: female flowering begins; SG: percentage of large seeds; SM: percentage of medium seeds; SC: percentage of small seeds; PH: test weight in kg hL⁻¹; P200S: weight of 200 seeds, in g.

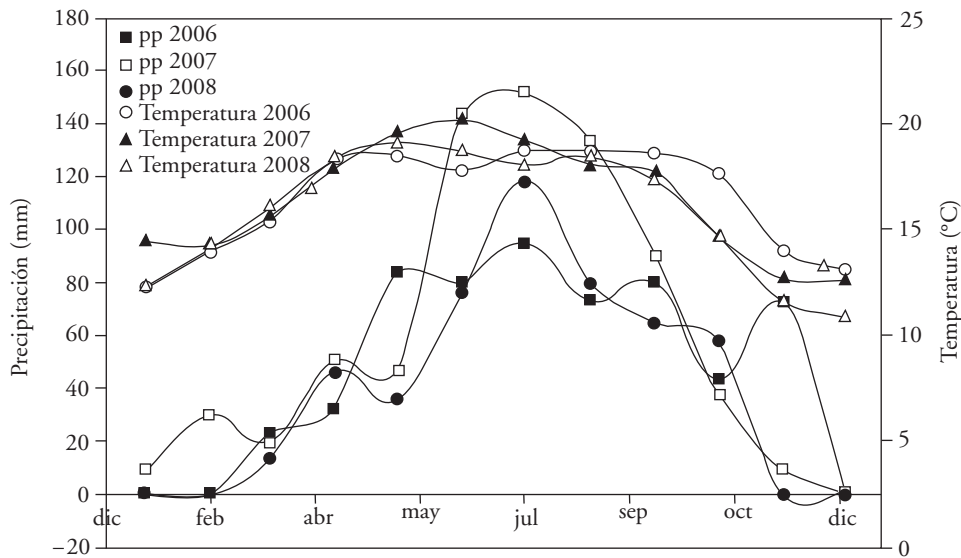


Figura 1. Temperatura y precipitación promedio mensual durante 2006 y 2008 (Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, 2013).

Figure 1. Average monthly temperature and rainfall for 2006 and 2008 (Agro-Weather Station of the Colegio de Postgraduados, 2013).

mayor de días y el menor en 2007 (Cuadro 3). Esto puede atribuirse a que durante las etapas de germinación, desarrollo vegetativo y diferenciación floral de la planta de maíz la temperatura disminuyó entre 2.4 y 0.5 °C, lo que ocasionó crecimiento y desarrollo menores de la planta. Resultados similares fueron observados por Zepeda-Bautista *et al.* (2009) y Virgen *et al.* (2013) en cruces simples progenitoras de híbridos de maíz para Valles Altos de México.

El rendimiento de semilla promedio fue 7.79 Mg ha⁻¹, en 2008 fue 17.12 % mayor y en 2006 33.24 % menor (Cuadro 3). Esto puede atribuirse a la disponibilidad mayor de humedad, en las etapas de floración y llenado de grano, debido a la precipitación; en 2008 la precipitación fue mayor en septiembre (semana 40, 53.50 mm), comparado con 2006 (semana 40, 12.40 mm) (Figura 1). Esto confirma el efecto del ambiente en la productividad de las cruces simples hembra progenitoras de híbridos de maíz (Virgen *et al.*, 2010; Virgen *et al.*, 2013), lo cual es útil para determinar el sitio, la fecha y cómo establecer un lote de producción de semilla. Avila *et al.* (2009) observaron un efecto ambiental similar al incrementar la cruz simple hembra del híbrido H-52 en el Valle de Texcoco; la producción fue 9 a 10 t ha⁻¹ con 70 % de semilla grande y en Tlaxcala 6.5 t ha⁻¹ de rendimiento de semilla. En 2008 el tamaño de semilla fue

in yield for registered seed. In 2008 a greater seed size was observed than in 2006 (Table 3), in which large seeds along with the test weight and the weight of 200 seeds were 64.94, 8.42, and 42.32 % smaller.

Genotype x environment interaction

The interactions parental single crosses x years of evaluation were significant ($p \leq 0.01$) for the beginning of male flowering and seed yield, as well as the percentage of large, medium, and small seeds, test weight and the weight of 200 seeds (data not shown), since at least one simple cross had a different behavior in each agricultural year. This was due to their genetic characteristics and agroclimatic conditions that determine the production and quality of the hybrid seed (Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

Days until the beginning of male flowering

Between years, a change in the number of days until the beginning of male flowering was observed in 100 % of the simple crosses (Figure 2). This parameter is important to define the moment in which to remove the tassel of the female parent and the synchrony of male and female flowering, for pollination and formation of the seed. Similar results were observed

mayor en comparación con 2006 (Cuadro 3), año en el cual la semilla grande, el peso hectolítrico y el peso de 200 semillas fueron 64.94, 8.42 y 42.32 % menores.

Interacción genotipo x ambiente

Las interacciones cruza simple progenitoras x años de evaluación fueron significativas ($p \leq 0.01$) para el inicio de la floración masculina y rendimiento de semilla; así como el porcentaje de semilla grande, mediana y chica, peso hectolítrico y peso de 200 semillas (datos no presentados), pues por lo menos una cruza simple tuvo un comportamiento diferente en cada año agrícola. Esto se debió a sus características genéticas y a las condiciones agroclimáticas que determinan la producción y calidad de la semilla híbrida (Virgen *et al.*, 2013; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

Días para el inicio de la floración masculina

Entre años, en 100 % de las cruza simple se observó un cambio en el número de días para el inicio de la floración masculina (Figura 2). Éste es un parámetro importante para definir el momento de eliminar la espiga del progenitor hembra y la sincronía de la floración masculina y femenina, para la polinización y formación de la semilla. Resultados similares fueron observados por Virgen *et al.* (2010) al evaluar cruza simple progenitoras de híbridos en localidades de Tlaxcala. La cruza simple M-55 x M-54, progenitora hembra del híbrido H-70, presentó diferencia de 2 d para el inicio de la floración masculina (67 a 69 d). CML-239 x CML-242 presentó variación mayor en los días para el inicio de la floración masculina. En 2007 floreció a los 68 d y 5 d después en 2006; esta diferencia ocasiona problemas al establecer un lote de desespigamiento, porque puede causar desfase de la polinización y en consecuencia la falta de formación de la semilla, la pérdida de calidad genética por la contaminación de polen extraño y autofecundaciones de la hembra por el desespigamiento inoportuno.

Rendimiento de semilla

En todas las cruza simple progenitoras de híbridos entre los años se obtuvo rendimiento de semilla diferente, porque es un carácter determinado por

by Virgen *et al.* (2010) after evaluating parental single crosses of hybrids in locations in Tlaxcala. The simple cross M-55 x M-54, female parent of the hybrid H-70, displayed a difference of 2 d until the beginning of male flowering (67 to 69 d). CML-239 x CML-242 displayed a higher variation in days until the beginning of male flowering. In 2007 it flowered at 68 d and 5 d later in 2006. This difference causes problems when establishing a detasseling lot, since it may cause synchronicity problems, and in consequence, a lack of seed formation, the loss of genetic quality due to pollution of foreign pollen, and self-pollination of the female due to badly-timed pollination.

Seed yield

In all the parental single crosses between years, different seed yields were obtained, since it is a trait determined by many genes and influenced by the environment (Poehlman, 1979; Márquez, 1988). The simple cross CML-241 x CML-243 had the lowest variation in seed yield: in 2007 and 2008, it produced an average of 5.16 Mg ha⁻¹, which could be due to the higher rainfalls during flowering and grain filling (Figura 1); in 2006 yield was 21.45 % lower (1.11 Mg ha⁻¹). The cross CML-239 x CML-242 had its highest yield (10.28 Mg ha⁻¹) in 2008, and its lowest, 14.19 and 70.55%, in 2007 and 2006 (Figure 3).

The simple cross M-43 x M-44, female parent of hybrids H-52 and H-66 (Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2010), displayed its highest yield (11.24 Mg ha⁻¹) in 2008. In 2007 and 2006, they were lower by 14.11 and 42.32 % (Figure 3). Avila *et al.* (2009) observed seed yield of 9 to 10 Mg ha⁻¹ for the cross M-43 x M-44 in a detasseling lot located in the Texcoco Valley, at altitudes of 2300 masl; and the Valle de Mexico Experimental Field, at 2250 masl. During the spring-summer 2011 cycle 3.79 and 3.52 Mg ha⁻¹ were obtained of the direct (M-43 x M-44) and reciprocal crosses (Virgen *et al.*, 2013). Simple cross M-55 x M-54 displayed a lower variation in seed yield, in 2007 and 2008, it yielded an average of 10.75 Mg ha⁻¹, and in 2006, yield was 36.77 % lower (3.95 Mg ha⁻¹). Virgen *et al.* (2013) produced, in the Valle de Mexico Experimental Field, in the spring-summer 2011 cycle, 1.55 and 3.19 Mg ha⁻¹ of the direct (M-54 x M-55) and reciprocal (M-55 x

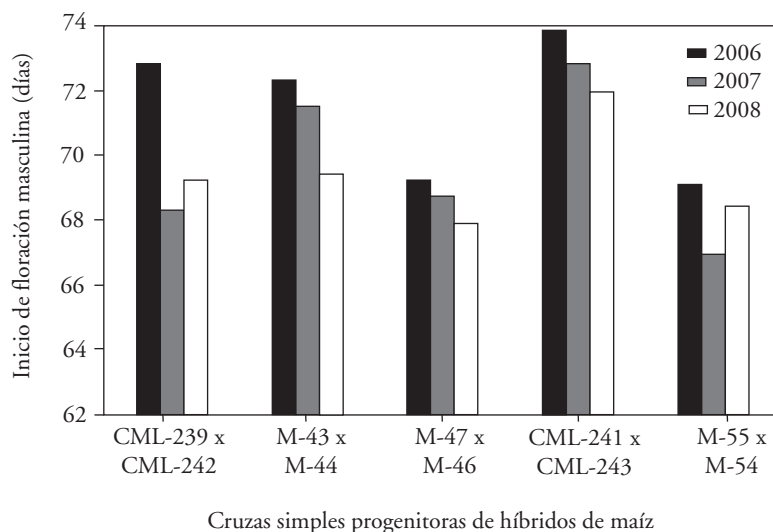


Figura 2. Interacción genotipo x ambiente (años) para inicio de la floración masculina de cruza simple progenitoras de híbridos de maíz. Texcoco, Estado de México (2006-2008).

Figure 2. Genotype x environment interaction (years) until beginning of male flowering in parental single crosses in male hybrids. Texcoco, Estado de México (2006-2008).

muchos genes e influido por el ambiente (Poehlman, 1979; Márquez, 1988). La cruza simple CML-241 x CML-243 tuvo la variación menor en el rendimiento de semilla, en 2007 y 2008 produjo en promedio 5.16 Mg ha⁻¹, lo que pudo deberse a la cantidad mayor de precipitación durante la floración y llenado de grano (Figura 1); en 2006 fue 21.45 % menor el rendimiento (1.11 Mg ha⁻¹). La cruza CML-239 x CML-242 tuvo su rendimiento mayor (10.28 Mg ha⁻¹) en 2008 y menores en 14.19 y 70.55 % en 2007 y 2006 (Figura 3).

La cruza simple M-43 x M-44, progenitor hembra de los híbridos H-52 y H-66 (Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2010), en 2008 presentó su máximo rendimiento (11.24 Mg ha⁻¹), y en 2007 y 2006 fueron menores en 14.11 y 42.32 % (Figura 3). Avila *et al.* (2009) obtuvieron rendimientos de semilla entre 9 y 10 Mg ha⁻¹ de la cruza M-43 x M-44 en un lote de desespigamiento ubicado en el Valle de Texcoco, en altitudes de 2300 msnm; y en el Campo Experimental Valle de México, 2250 msnm, durante el ciclo agrícola primavera-verano 2011 se obtuvieron 3.79 y 3.52 Mg ha⁻¹ de la cruza directa (M-43 x M-44) y recíproca, (Virgen *et al.*, 2013). La cruza simple M-55 x M-54 tuvo variación menor en el rendimiento de semilla, en 2007 y 2008 rindió en

M-54) crosses. This shows the unstable behavior of the female parents, which as a direct effect on yield and seed quality, crucial for success in production, economic and technical profitability in domestic businesses (Vallejo *et al.*, 2008; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

CONCLUSIONS

In the production of hybrid seeds, the removal of tassels in female parental single crosses of maize hybrids for the Mexican High Valleys increases seed yield and reduces the percentage of small seeds. Removing the tassel or the tassel and the flag leaf does not have a negative effect on yield or seed weight or size.

The female parental single crosses of maize hybrids have an unstable behavior regarding yield and physical seed quality, and the beginning of male flowering in the female to begin detasseling (removal of the tassel in the female parent) between production years.

The female parental single crosses of maize hybrids H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70, and H-153E, generated by INIFAP for the High Valleys of Mexico have desirable productivity, size and test weight characteristics for the production of hybrid seed.

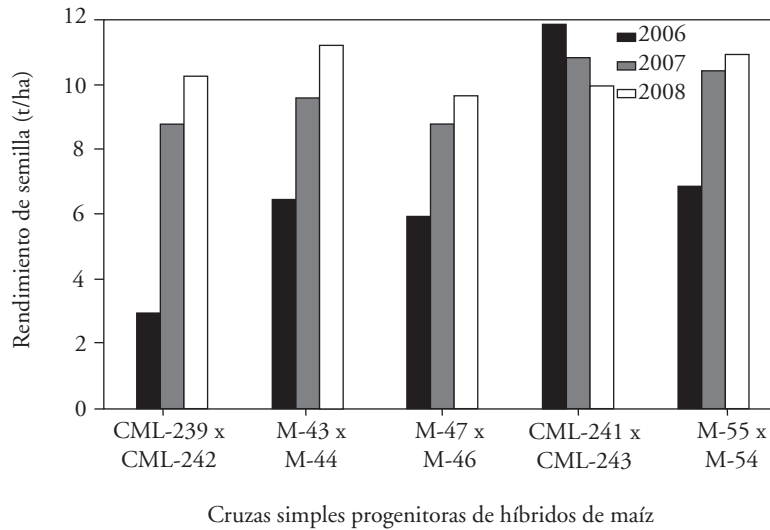


Figura 3. Interacción genotipo x ambiente (años) para rendimiento de semilla de cruzas simples progenitoras de híbridos de maíz. Texcoco, Edo. de México. 2006-2008.

Figure 3. Genotype x environment interaction (years) for seed yield in parental single crosses of maize hybrids. Texcoco, Estado de México. 2006-2008.

promedio 10.75 Mg ha^{-1} ; y en 2006 fue menor en 36.77 % el rendimiento (3.95 Mg ha^{-1}). Virgen *et al.* (2013) produjeron en el Campo Experimental Valle de México durante el ciclo agrícola primavera-verano 2011, 1.55 y 3.19 Mg ha^{-1} de la cruz directa (M-54 x M-55) y recíproca (M-55 x M-54). Esto evidencia el comportamiento no estable de los progenitores hembra, que afecta directamente el rendimiento y la calidad de la semilla, aspecto fundamental para el éxito de la producción, rentabilidad económica y técnica en las empresas de capital nacional (Vallejo *et al.*, 2008; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

En la producción de semilla híbrida, la eliminación de la espiga en las cruzas simples progenitoras hembra de híbridos de maíz para Valles Altos de México aumenta el rendimiento de semilla y disminuye el porcentaje de semilla chica. La eliminación de la espiga o la espiga y la hoja bandera no afecta negativamente el rendimiento, tamaño ni peso de la semilla.

Las cruzas simples progenitoras hembra de híbridos de maíz tienen un comportamiento no estable del rendimiento y la calidad física de la semilla, y el inicio de la floración masculina en la hembra para iniciar el desespigue (eliminación de espiga en el progenitor hembra) entre años de producción agrícola.

Las cruzas simples progenitoras hembra de los híbridos de maíz: H-44, H-52, H-66, H-68E, H-70 y H-153E, generados por el INIFAP para los Valles Altos de México, poseen características de productividad, tamaño y peso hectolítrico de semilla deseables para la producción de semilla híbrida.

LITERATURA CITADA

- Arellano V., J. L., J. Virgen V., y M. A. Avila P. 2010. H-66 Híbrido de maíz para los Valles Altos de los estados de México y Tlaxcala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 257-262.
- Arellano V., J. L., J. Virgen V., I. Rojas M., y M. A. Avila P. 2011. H-70 híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2: 619-626.
- Avila P., M. A., J. L. Arellano V., J. Virgen V., A. J. Gámez V., y A. María R. 2009. H-52 Híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agríc. Téc. Méx.* 35: 237-240.
- Barillas S., M. E. 2010. Producción de semilla certificada de maíz en Tlaxcala. Fundación Produce Tlaxcala A. C., México. IICA, México. 43 p.
- Barrón C., E. 2010. Producción de semilla certificada de maíz por pequeñas organizaciones de productores: el caso de Impulsora Agrícola El Progreso SPR de RL. Fundación Produce Guerrero. Guerrero, México. 65 p. <http://www.siac.org.mx/fichas/49%20Guerrero%20Maiz.pdf>. (Consulta: Octubre 2013).

- Boomsma, C. R., J. B. Santini, M. Tollenaar, and T. J. Vyn. 2009. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agron. J.* 101: 1426-1452.
- Cervantes-Ortíz, F., J. Covarrubias-Prieto, J. A. Rangel-Lucio, A. D. Terrón-Ibarra, M. Mendoza-Elos, y R. E. Preciado-Ortiz. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agron. Mesoam.* 24: 101-110.
- Colegio de Postgraduados. 2013. Estación Agrometeorológica de Montecillo. México. <http://www.cm.colpos.mx./meteo/repote/index4.htm>. (Consulta: Octubre 2013).
- Copeland, L. O., and B. M. McDonald. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. 4th ed. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, USA. 467 p.
- De Brito C., H., D. Lima S., A. María B., L. Savelli G., y M. T. Gomes L. 2011. Reducción del área foliar en maíz en una región tropical en Brasil y sus efectos en caracteres agrónomos. *Interciencia* 36: 291-295.
- Domínguez, C. y L. Donnet. 2014. Modelos de negocio de las empresas semilleras de maíz del consorcio MasAgro. *Enlace: La Revista de la Agricultura de Conservación V:* 44-47.
- Donnet, L., D. López, J. Arista, F. Carrión, V. Hernández, y A. González. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. *México. CIMMYT.* 30 p.
- Espinosa-Calderón A., J. Ortiz-Cereceres, A. Ramírez-Fonseca, N. Gómez-Montiel, y A. Martínez-Garza. 1999. Productividad de semilla de líneas tropicales de maíz (*Zea mays* L.) del CIMMYT e INIFAP. *Agric. Téc. Méx.* 25: 53-58.
- Espinosa C., A., M. Tadeo R., J. Lothrop., S. Azpiroz R., C. Tut y Couoh, y Y. Salinas M. 2003. H-50 Híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200-2600 msnm). *Agric. Téc. Méx.* 29: 89-92.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, M. Sierra-Macías, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Bernal, y N. Gómez-Montiel. 2010a. Despanojado y densidad de población en una cruz simple androestéril y fértil de maíz. *Agron. Mesoam.* 21: 159-165.
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, L. D. Meza-Guzmán, I. Arteaga-Escamilla, R. Matías-Bautista, R. Valdivia-Bernal, M. Sierra-Macías, N. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, y B. Zamudio-González. 2010b. Eliminación de espiga y hojas en un híbrido de maíz androestéril y fértil. *Universidad y Ciencia* 26: 215-224.
- Espinosa C., A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., M. Sierra M., A. Palafox C., G. Vázquez C., F. A. Rodríguez M., B. Zamudio G., I. Arteaga E., E. I. Canales I., B. Martínez Y., y R. Valdivia B. 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.
- González E., A., J. Islas G., A. Espinosa C., J. A. Vázquez C., 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.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2012. *Redes de estaciones del INIFAP.* México. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>. (Consulta: Septiembre 2014).
- Jolalpa B., J. L., G. Moctezuma L., J. J. Espinoza A., R. Zepeda B., y I. Rentería G. 2014. Uso de semillas mejoradas de maíz en Amecameca, Estado de México. *Enlace: La Revista de la Agricultura de Conservación V:* 50-53.
- Larque S., B. S., J. Islas E., A. Gonzalez E., y J. L. Jolalpa B. 2013. Mercado de semillas de maíz en el Estado de México. *INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. Folleto Técnico No. 57.* 76 p.
- Layne-Garsaball, J. A., J. R. Méndez-Natera, y J. Mayz-Figueroa. 2007. Influencia del tamaño de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) en el crecimiento de la plántula en condiciones de salinidad. *Idesia* 25: 23-35.
- López-Santillán, J. A., S. Castro-Nava, C. Trejo-López, M. C. Mendoza-Castillo, y J. Ortiz-Cereceres. 2004. Biomasa acumulada e intercambio gaseoso en maíz proveniente de semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida. *Phyton* 73: 234-248.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal: Métodos, Teoría, Resultados.* Tomo II. Ed. AGT Editor, México, D. F. 665 p.
- Martínez-Lázaro, C., L. E. Mendoza-Onofre, S. G. García-Santos, M. C. Mendoza-Castillo, y A. Martínez-Garza. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androestériles y androestériles isogénicas, y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 127-133.
- Poehlman J., M. 1979. *Mejoramiento Genético de las Cosechas.* Ed. Limusa, México, D. F. 453 p.
- Ramírez D., J. L., J. J. Wong P., J. A. Ruiz C., y M. Chuela B. 2010. Cambio de fecha de siembra del maíz en Culiacán, Sinaloa, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 61-68.
- Rendón P., L. y C. Fuentes R. 1997. Eficiencias de riego. *In: Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas.* Hernández S., F. R. y J. R. Sánchez B. (eds.). Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 41-48.
- Ritchie, W. S., G. O. Benson, S. J. Lupkes, and R. J. Salvador. 1993. How a corn plant develops. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Iowa State University of Science and Technology. <http://www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corngrows.html>. (Consulta: Mayo 2002).
- Rojas M., I., J. Virgen V., A. Espinosa C., y R. Fernández S. 2009. Tecnología para la producción de semilla certificada de maíz del híbrido H-48 en Tlaxcala. *Folleto Técnico No. 39. CIRCE-INIFAP. Tlaxcala, México.* 33 p.
- SAG. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1975. *Normas para la certificación de semillas.* Dirección General de Agricultura, SAG, México. 95 p.
- SAS. Statistical Analysis System Institute. 1989. *SAS/SAT User's Guide. Version 6. Fourth Edition.* SAS Institute Inc. Cary, N.C. 943 p.
- SIAP. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2014. *Producción anual de cultivos año agrícola 2014 en México.* <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consulta: Julio 2015).
- Tadeo R., M., A. Espinosa C., D. Beck y J. L. Torres. 2007. Rendimiento de semilla de cruzas simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33: 175-180.
- Tadeo-Robledo, M., A. Espinosa-Calderón, R. Valdivia-Bernal, N. Gómez-Montiel, M. Sierra-Macías, y B. Zamudio-González. 2010. Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agron. Mesoam.* 21: 31-38.

- Tadeo R., M., A. Espinosa C., V. Trejo P., I. Arteaga E., E. Canales I., A. Turrent F., M. Sierra M., R. Valdivia B., N. O. Gómez M., A. Palafox C. y B. Zamudio G. 2013. Eliminación de espiga y hojas en progenitores androestériles y fértiles de los híbridos trilineales de maíz H-47 y H-49. *Rev. Fitotec. Mex.* 36: 245- 250.
- Vallejo D., H. L., J. L. Ramírez D., M. Chuela B. y R. Ramírez Z. 2008. Manual de Producción de Semilla de Maíz. Estudio de Caso. Folleto Técnico Núm. 14. Campo Experimental Uruapan. INIFAP, CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 96 p.
- Virgen V., J., J. L. Arellano V., I. Rojas M., M. A. Ávila P., y G. F. Gutiérrez H. 2010. Producción de semilla de cruas simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 107-110.
- Virgen V., J., R. Zepeda B., J. L. Arellano V., M. A. Ávila P., y I. Rojas M. 2013. Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. *Rev. Ciencia y Tecnol. Agrop. Méxic.* 1: 26-32.
- Virgen-Vargas, J., R. Zepeda-Bautista, M.A. Avila-Perches, A. Espinosa-Calderón, J. L. Arellano-Vázquez, y A. J. Gámez-Vázquez. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agron. Mesoam.* 25: 01-13.
- Zepeda B., R., A. Carballo C., G. Alcántar G., A. Hernández L., y J. A. Hernández G. 2002. Efecto de la fertilización foliar en el rendimiento y calidad de semilla de cruas simples en maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 419-426.
- Zepeda-Bautista, R., A. Carballo-Carballo, C. Hernández-Aguilar. 2009. Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43: 695-706.