

## PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE LÍNEAS PROGENITORAS DE MAÍZ: DENSIDAD DE POBLACIÓN E INTERACCIÓN<sup>1</sup>

Juan Virgen-Vargas<sup>2</sup>, Rosalba Zepeda-Bautista<sup>2</sup>, Miguel Angel Avila-Perches<sup>3</sup>, Alejandro Espinosa-Calderón<sup>2</sup>,  
José Luis Arellano-Vázquez<sup>2</sup>, Alfredo Josué Gámez-Vázquez<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción.** El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos de la localidad y la densidad de población en la producción de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz de Valles Altos de México. En el período de 2006 a 2008, en Coatlínchán, Texcoco, Estado de México (2250 msnm) se sembraron 16 líneas progenitoras de los híbridos: H-40, H-48, H-50, H-52, H-64E, H-66, H-68E, H-70, H-72E, H-74E, H-76E y H-78E en dos densidades de población 82 500 y 62 500 plantas/ha en un diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre líneas, densidad de población y años. Las líneas promediaron entre 73 y 78, y entre 82 y 83 días para inicio y floración media masculina y femenina, respectivamente. El rendimiento varió entre 7744 y 1484 kg/ha, con 86 y 14% de semilla grande y peso hectolítrico entre 70 y 57 kg/hl. Con 82 500 plantas/ha se incrementó en 13% el rendimiento de semilla y disminuyó 2,5% el peso de mil semillas, en comparación con 62 500 plantas/ha. Entre años, el inicio y floración media masculina y femenina varió entre tres y cuatro días; en el 2008 el rendimiento y el peso hectolítrico fueron mayores (4427 kg/ha y 71,75 kg/hl), en 2007 hubo 46,93 y 29,59% más semilla grande que en el 2006 y 2008; mientras que en el 2006 el rendimiento fue 25,30% menor al promedio del 2007-2008. Para determinar cuándo y dónde producir semilla híbrida es indispensable conocer la línea, la localidad de producción y la interacción del genotipo con el ambiente.

**Palabras clave:** calidad de semilla, semilla híbrida, interacción genotipo-ambiente, desespigamiento.

### ABSTRACT

**Seed production lines of maize: population density and interaction.** The aim of this study was to determine the effect of population density and production site on the morphology, productivity and seed quality of parental lines of INIFAP maize hybrids from Valles Altos, Mexico. Evaluations were carried out from 2006 to 2008, in Coatlínchán, municipality of Texcoco, in the state of Mexico at 2250 masl). Sixteen parental lines comprising H-40, H-48, H-50, H-52, H-64E, H-66, H-68E, H-70, H-72E, H-74E, H-76E and H-78E were seeded at population densities of 62 500 and 82 500 plants per hectare in a randomized complete block design with three replicates. Significant differences ( $p \leq 0,05$ ) were observed between different lines, population densities and year of harvest. In general lines had took 73 to 78 days for male flowering, and 82 to 83 days for female flowering. Lines yielded between 1484 and 7744 kg/ha, with large seed increases in the range of 14 to 86%, and volumetric weights between 57 to 70 and kg/hl. At a density of 82 500 plants/ha the seed yield increased 13% but the weight per thousand seeds decreased a 2.5% compared to that obtained at 62500 plants/ha. During this study the start of both the male and female flowering varied approximately three to four days. We also observed peaks on productivity in terms of yield and volumetric weight during 2008 (4427 kg/ha and 71.75 kg/hl, respectively), while in 2007 we observed the highest production of large seed (29.59 to 46.93%). The lowest yield was observed during 2006. We conclude that production of hybrid seed requires careful choice of lines, location and knowledge of the interaction between the genotype and the environment.

**Keywords:** seed quality, seed hybrid, genotype-environment interaction, detasseling.

<sup>1</sup> Recibido: 23 de diciembre, 2013. Aceptado: 30 de junio, 2014. Este trabajo forma parte del Proyecto: "Generación de tecnología para la producción de semilla de maíz y su transferencia a empresas semilleras en el Centro de México" del Programa de Producción y Tecnología de Semillas del Campo Experimental Valle de México perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle de México, Km. 13.5 Carretera Los Reyes- Texcoco, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, C.P. 56250 México. Tel. 01 595 92 126 57 ext. 194, 193, 198, 184. jvirgen\_vargas@hotmail.com, rzb0509@hotmail.com, arevajolu@yahoo.com.mx, espinosa.alejandro@inifap.gob.mx

<sup>3</sup> INIFAP-Campo Experimental Bajío, Km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, C.P. 38110, México. aperchesm@yahoo.com.mx, gamez.josue@inifap.gob.mx



## INTRODUCCIÓN

Las semillas de calidad de variedades mejoradas de maíz son el insumo para aumentar la productividad del cultivo (Copeland y McDonald, 2001; Barrón, 2010). En México, durante el 2012 se cosecharon 4537 ha con un rendimiento de semilla de 7,72 t/ha para una producción de 35 025 toneladas; cantidad necesaria para sembrar 1 751 250 hectáreas, que constituyen el 21,81% de la superficie sembrada con este cultivo (SIAP, 2013). En la región de los Valles Altos de México solo en el 6% de la superficie cultivada con maíz se utilizan semillas certificadas debido posiblemente a la falta de variedades con características agronómicas y económicas adecuadas e insuficiente producción de semillas (González et al., 2008). Al respecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) participa en la generación de variedades de maíz adaptadas a las diferentes regiones del país, es la institución encargada de abastecer la demanda de semilla categoría registrada a empresas de semillas; además, desarrolla la tecnología de semilla para optimizar la producción (Barillas, 2010; Barrón, 2010; Virgen et al., 2010; Sierra et al., 2006).

La formación híbridos de maíz, involucra la obtención de las líneas por autopolinización controlada, determinar cuáles de las autofecundadas pueden combinarse en cruza productivas y la utilización comercial de las cruza para la producción de semilla. Una línea se produce mediante autofecundación y selección hasta que se obtienen plantas aparentemente homocigóticas después de cinco a siete generaciones, esto provoca reducción en el vigor de la planta (Poehlman, 1979; Robles, 1986; Márquez, 1988), lo que en ocasiones dificulta la producción de semilla del híbrido.

Para la producción de semilla de maíz es básico conocer las características genéticas de los progenitores (líneas y cruza simples), el ambiente (cantidad y distribución de la precipitación y temperatura, radiación y características físico-químicas del suelo) y la interacción genotipo - ambiente, con el fin de obtener el mejor rendimiento y calidad de semilla, al menor costo y con el uso eficiente de los insumos y recursos naturales conducente a una agricultura sustentable. Avila et al. (2009), al producir semilla de la cruza simple hembra del híbrido H-52 en Texcoco

y Tlaxcala a 2300 y 2500 msnm obtuvieron 9,5 y 6,5 t/ha, respectivamente. Asimismo, con las líneas, en altitud de 2300 msnm, Arellano et al. (2010) obtuvieron 3,6 t/ha de semilla registrada de la línea M-52, progenitora del híbrido H-66; mientras que Virgen et al. (2013a), obtuvieron rendimientos de semilla > 2,4 t/ha con peso volumétrico de 70 kg/hl en las líneas M-52 y CML-456 y de 232 kg/ha con 62 kg/hl en la línea M-54.

En la producción de semilla certificada se han usado varias densidades de población en función del progenitor y sitio. Para los híbridos H-33, H-34, H-48 y H-50, en la hembra usaron entre 75 y 85 000 plantas/ha y en el macho entre 50 y 65 000 plantas/ha (Rojas et al., 2009). Virgen et al. (2010) para la hembra de H-64E, H-66, H-68E y H-50 recomiendan 62 y 83 000 plantas/ha para producir entre 4,4 y 7,0 t/ha de semilla en Tlaxcala. Asimismo, Espinosa et al. (2010) para la hembra androestéril y fértil de maíz, encontraron mayor rendimiento de semilla (9640 kg/ha) con 80 000 plantas/ha en comparación con 50 000 plantas/ha (7193 kg/ha), sin observar cambios significativos en días a floración masculina y femenina y altura de planta. Por otra parte, en Jalisco y Michoacán, para la hembra se usaron entre 50 y 60 000 plantas/ha y para el macho entre 65 y 70 000 plantas/ha (Vallejo et al., 2008). Barrón (2010) señalan para los híbridos H-515 y H-516, en la región de Guerrero, recomiendan 55 000 plantas/ha para obtener 3 t/ha de semilla comercializable.

Existe poca información sobre la mejor tecnología de producción de semillas, por lo que se ha utilizado la tecnología para producir grano con algunas modificaciones (Vallejo et al., 2008), o bien las empresas productoras de semilla transnacionales han generado su tecnología. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos de la localidad y la densidad de población en la producción de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz de Valles Altos de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue parte de las actividades del proyecto: "Generación de tecnología para la producción de semilla de maíz y su transferencia a empresas semilleras en el Centro de México"

ejecutado en el Programa de Tecnología de Semillas del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, dentro del área de los 19° 17' latitud norte y 98° 53' longitud oeste con una altitud de 2250 msnm. Presenta clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual varía de 12 a 18 °C, con una precipitación pluvial promedio anual de 645 mm (INIFAP, 2012). Se cuantificó la distribución de la temperatura y precipitación semanal promedio durante los años 2006, 2007 y 2008 mediante la consulta y procesamiento de los datos climatológicos obtenidos en la Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados ubicada en el km 36,5 de la carretera federal Los Reyes-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2006, 2007 y 2008 en condiciones de riego, en promedio, se aplicaron ocho riegos por gravedad. Se establecieron experimentos en diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones con un arreglo de tratamientos factorial completo en el que se combinaron dieciséis líneas: CML-239, CML-241, CML-242, CML-243, CML-246, CML-354, CML-355, M-38, M-39, M-43, M-44, M-48, M-54, M-55, LINVA-7-2-1-2 y LINVA-7-2-14-5 y dos densidades de población, 82 500 y 62 500 plantas/ha. La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de longitud separados a 0,80 m. Las líneas son progenitores de los híbridos de maíz adaptados a Valles Altos de México: H-40, H-48, H-50, H-52, H-64E, H-66, H-68E, H-70, H-72E, H-74E, H-76E y H-78E, generados por el INIFAP.

El manejo agronómico se hizo de acuerdo a las recomendaciones para el cultivo de maíz del CEVAMEX del INIFAP. La siembra se hizo manual, los días 3, 12, y 21 de mayo de 2006, 2007 y 2008, respectivamente. Se fertilizó con la fórmula 150-70-30 (NPK), se aplicó con maquinaria la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio al momento de la siembra y el resto del nitrógeno en la segunda escarda, se usaron 326 kg/ha de urea, 152 kg/ha de superfosfato de calcio triple y 50 kg/ha de cloruro de potasio como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. El control de malezas se hizo mediante la aplicación en preemergencia de Atrazina + S-metolaclor a una dosis

de 1,5 l/ha y Dicamba + Atrazina con una dosis de 2,0 l/ha en postemergencia cuando la maleza tuvo una altura de 5 cm. En promedio, se aplicaron ocho riegos: siembra, V3, V6, V10, V13, VT, R1 y R3 (Ritchie et al., 1993), el riego fue por gravedad con una lámina de 15 cm.

La cosecha se realizó de forma manual cuando se observó la formación de la capa negra de la semilla, indicador de madurez fisiológica, el secado fue natural y el beneficio de la semilla fue manual. Las variables medidas fueron: 1) Inicio de floración masculina (IFM) y femenina (IFF) se registraron los días a partir del primer riego hasta la aparición de la primera espiga y primer estigma; 2) Floración media masculina (FM) y femenina (FF), se cuantificaron los días a partir del primer riego hasta que el 50% de las plantas estuvieron derramando polen y tuvieron expuestos los estigmas con una longitud de 2 cm; 3) Altura de planta (AP) y altura a la mazorca superior de planta (AMZ), se midieron a partir de la base del tallo hasta la punta del eje principal de la espiga y hasta la inserción de la mazorca superior; 4) Rendimiento (REN), en kg/ha a 14% de humedad, que se calculó con la fórmula:

$$REN = [PC \times \% MS \times \% G \times FC] / 8600;$$

donde *PC* = peso de campo de mazorca, en kilogramos por parcela útil; *% MS* = porcentaje de materia seca, mediante la diferencia 100 menos el porcentaje de humedad obtenido del aparato Stenlite®; *% G* = porcentaje de grano, como promedio de la relación entre el peso de grano y el peso de mazorca desprovista de brácteas, de cinco mazorcas, multiplicado por 100; *FC* = factor de corrección, obtenido al dividir 10 000 m<sup>2</sup> (1 ha) entre la superficie útil de la parcela (8 m<sup>2</sup>); 8600 = es un valor constante, que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14%, que es a la cual se manejan las semillas en forma comercial en México; 5) La semilla se clasificó en tres tamaños: grande (SG), mediana (SM) y pequeña (SCH), lo cual se hizo con cribas de perforación redonda de 8, 7 y 6 mm, y los valores se reportaron en porcentajes; 6) Peso de mil semillas (PMS), se realizaron cinco repeticiones de conteo y pesaje de 200 semillas utilizando una balanza analítica Ohaus y se hizo el cálculo; 7) Peso hectolítrico (PH), se determinó en una báscula marca OHAUS® y se expresó en kg/hl.

A las variables medidas en cada uno de los ensayos se les realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC GLM del SAS (SAS, 1989). La comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). Los datos expresados en porcentaje se transformaron previamente a valores de arcoseno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características climáticas de la localidad de producción

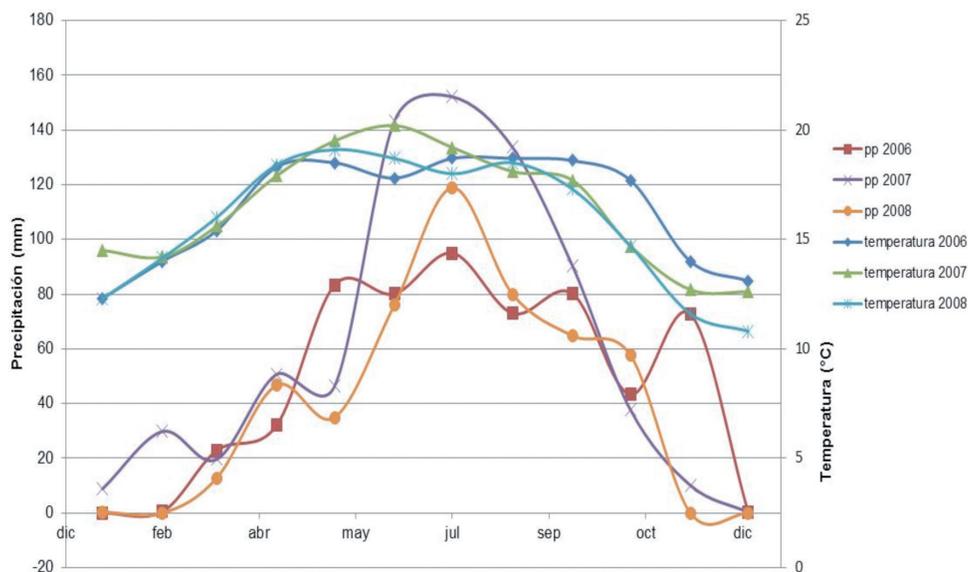
En virtud de que los factores ambientales influyen sobre el crecimiento y desarrollo de la planta (Ramírez et al., 2010), en la Figura 1 se muestra la distribución de la temperatura y precipitación semanal promedio durante los años 2006, 2007 y 2008. Se observa que la temporada de lluvia se estableció en el periodo de junio a septiembre, en 2007 la precipitación fue de 722,7 mm mayor en 20 y 32% a las ocurridas en 2006 (583 mm) y en 2008 (495,2 mm). La temperatura entre los años fue similar en 2006, 2007 y 2008 (16,28; 16,35 y 15,78 °C) (Colegio de Postgraduados, 2013).

### Características agronómicas y rendimiento

#### *Líneas progenitoras de híbridos de maíz.*

El análisis de varianza muestra diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre líneas para los parámetros agronómicos y de rendimiento (Cuadro 1) debido a las características genéticas de cada una de ellas; las líneas CML, generadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), son materiales homogéneos y uniformes que tienen en promedio entre seis y ocho autofecundaciones en comparación con las líneas M, generadas por el INIFAP, que tiene mayor variabilidad, entre tres y cinco autofecundaciones y adaptación para Valles Altos. Las líneas M fueron formadas a partir de criollos sobresalientes de las Razas Cónico y Chalqueño, de las variedades criollas Michoacán 21 y Tlaxcala 151 (Espinosa et al., 2003; Avila et al., 2009; Arellano et al., 2011;). Virgen et al. (2013a) observaron resultados similares al evaluar las líneas progenitoras del híbrido H-70, H-66 y H-52.

En un lote de producción de semilla híbrida es primordial eliminar la espiga (desespigamiento) de



**Figura 1.** Distribución de la precipitación y temperatura promedio mensual durante 2006, 2007 y 2008. Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. 2013.

**Cuadro 1.** Comparación de medias de las características agronómicas y de rendimiento de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz. Coatlínchán, Estado de México, México. 2006-2008.

Líneas	IFM (días)	IFF (días)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	REN t/ha
M-48	69,38e	75,33f	79,38f	81,33e	227,73cd	112,57b	7744,46a
M-55	67,50f	69,94g	75,38g	76,11g	220,31cde	105,66bc	6722,08b
LINVA-7-2-1-2	67,27f	71,94g	76,72g	78,05f	242,34bc	101,06cd	6121,27b
M-38	71,00de	77,22ef	81,00f	83,83d	262,77ab	130,07a	6081,82b
M-43	72,94c	80,94c	83,11e	86,33c	274,76a	135,12a	5203,34c
LINVA-7-2-14-5	75,83b	80,33cd	85,11cd	84,27d	214,17def	99,65cd	4066,03d
CML-243	73,05c	76,16f	79,66f	80,11e	167,87jkl	60,85gh	4050,28d
M-39	79,00a	83,72b	86,50bc	87,38bc	195,28fghi	90,83e	3986,42d
M-44	78,22a	83,72b	87,77ab	88,11bc	208,50defg	95,33de	3948,15d
CML-242	72,16cd	77,38ef	80,33f	81,44e	151,63l	52,11h	2912,58e
CML-241	72,11cd	75,33f	80,16f	80,72e	157,94kl	57,26h	2895,75e
CML-355	66,55f	70,83g	75,05g	76,05g	173,54ijkl	66,11g	2867,88e
CML-239	72,05cd	76,00f	80,61f	81,16e	178,62hijk	60,76gh	2582,59e
M-54	78,61a	85,94a	87,61b	88,94b	190,10ghij	94,04de	2303,32ef
CML-246	79,44a	84,77ab	89,55 <sup>a</sup>	90,83a	200,63efgh	81,71f	1584,70fg
CML-354	73,16c	78,44de	83,61de	83,88d	180,83hij	59,40gh	1484,37g
P > F	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DSH (0,05)	1,77	2,12	1,86	1,84	22,83	8,75	748,31
Media	73,02	78,00	81,98	83,04	202,94	87,66	4034,69
CV (%)	2,10	2,35	1,97	1,92	9,73	8,63	16,04
R <sup>2</sup>	0,93	0,92	0,93	0,93	0,82	0,94	0,93

IFM= inicio floración masculina; IFF= inicio floración femenina; FM= floración media masculina; FF= floración media femenina; AP= altura de planta; AMZ= altura de planta de la mazorca superior; REN= rendimiento de grano; P > F= probabilidad; DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación.

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, p=0,05).

la línea hembra, para mantener la calidad genética y evitar la contaminación por autofecundaciones. La actividad requiere en promedio entre 24 y 50 jornales/ha, según uniformidad del suelo y del progenitor femenino, presencia de hijos y facilidad para retirar la espiga (Martínez-Lázaro et al., 2005). De aquí, la importancia de cuantificar los días a inicio y floración media masculina y femenina de ambos progenitores. Las líneas, en promedio, tuvieron 73 días para inicio de la floración masculina y 78 la femenina (Cuadro 1). Existe un período de cinco días para eliminar la espiga del progenitor hembra, para conservar la calidad genética y evitar las autofecundaciones. La

línea M-55 tuvo mayor sincronía en la floración masculina y femenina (2 d), en comparación con M-43 con la menor sincronía floral (8 d); en ambos casos los datos indican la facilidad o dificultad para realizar el desespigamiento oportuno si las líneas se utilizan como hembra. Otro aspecto importante, es la coincidencia en la floración entre el progenitor hembra (jilote-estigmas) y el progenitor macho (espiga-polen) para el cruzamiento y formación de la semilla, de no ocurrir y una vez eliminada la espiga de la hembra, no habrá semilla o un porcentaje de llenado de la mazorca < 50% en función de la existencia de polen en el lote de producción.

Los días a floración media masculina y femenina fueron entre 82 y 83 (Cuadro 1), además, se observó que estas presentan sincronía. La floración media masculina estuvo entre 75 y 89 días, que definen tres grupos: precoces con menos de 78 días (M-55, LINVA-7-2-1-2 y CML-355), intermedias entre 79 y 85 días (M-48, M-38, M-43, CML-239, CML-241, CML-242, CML-243 y CML-354) y tardías con más de 85 días (M-39, M-44, M-54, LINVA-7-2-14-5 y CML-246); en este caso, se encontró que el 50% de las líneas presentan floración intermedia. Los días a floración son influidos por el ambiente en función de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura, existen materiales que por su origen tropical (CML) reducen sus días a floración en lugares cálidos y en lugares con mayor altura sobre el nivel del mar y menor temperatura aumentan los días a floración. Por ello, antes de definir donde se va a producir la semilla híbrida se debe conocer el genotipo, el ambiente y su interacción; además, los productores de semilla usan los días a floración para determinar el momento de eliminar la espiga en el progenitor hembra. Virgen et al. (2012) observaron en promedio 81 días a floración media masculina de líneas progenitoras de híbridos de maíz en Texcoco, Estado de México.

La altura de la planta y de la mazorca superior son importantes en un lote de desespigamiento debido a que ambas alturas influyen en las actividades de desespigamiento y polinización. Las líneas altas, al ser usadas como macho, no tienen problemas para la dispersión de polen hacia el jilote de la hembra porque este desciende; por el contrario, al ser utilizadas como hembra se dificulta el desespigue, toda vez que una planta con menor altura es fácil de manipular para eliminar la espiga, en menor tiempo y bajo costo, en comparación con una alta. La altura de planta promedio fue entre 151 y 274 cm, y de la mazorca superior entre 52 y 135 cm. La línea M-43 fue la de mayor altura (274 cm) y CML-242 la de menor altura (151 cm), lo cual indica que M-43 no tendría problema en ser macho o hembra en un cruzamiento, mientras que CML-242 puede tener problemas para polinizar líneas hembras con altura a la mazorca mayor de 120 cm. El 50% de las líneas son altas con más de 200 cm con una altura a la mazorca mayor a 80 cm (Cuadro 1).

El rendimiento de semilla promedio fue de 4034 t/ha, el 66,7% de las líneas progenitoras (M-48, M-55, LINVA-7-2-1-2, M-38, M-43 y LINVA-7-2-14-5) (Cuadro 1), generadas por el INIFAP para Valles

Altos, tuvieron rendimientos de semilla mayores a la media debido a su constitución genética y adaptación; mientras que la mayoría de las líneas, generadas por el CIMMYT, presentaron rendimientos menores a la media, entre 2912 y 1484 kg/ha, porque son materiales con mayor endogamia (seis y ocho autofecundaciones) y menor vigor (Poehlman, 1979; Robles, 1986). La línea M-48, progenitor macho del híbrido H-52 (Avila et al., 2009), fue la de mayor rendimiento (7744 kg/ha), seguida de la línea M-55, progenitor hembra del híbrido H-70 (Arellano et al., 2011), con 6722 kg/ha; mientras que las menos rendidoras fueron CML-354, progenitor hembra del H-64E, con 1484 kg/ha y CML-246, progenitor hembra del híbridos H-40, H-48 y H-50 con 1584 kg/ha. Resultados similares fueron obtenidos por Virgen et al. (2013a), al cultivar en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México (2250 msnm), las líneas M-52, CML-456 y M-54 con rendimientos superiores a 2400 kg/ha y 232 kg/ha, respectivamente; y por Arellano et al. (2010) al cultivar la línea M-52 en el Valle de Texcoco con un rendimiento de semilla registrada de 3,6 t/ha. Esto es un factor importante para el productor porque determina la rentabilidad, aún con el rendimiento mínimo obtenido por las líneas evaluadas (1484 kg/ha) se obtendría en semilla registrada una relación beneficio costo de 2,9 (\$13 por kilogramo y un costo de producción de \$6545 por hectárea); y en la producción de semilla categoría certificada sería de 3,6 (\$4,62 por kilogramo y un costo de producción de \$3850 por hectárea).

#### *Densidades de población*

No hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre densidades de población para la mayoría de las características agronómicas, excepto para días a floración media femenina, rendimiento y peso de mil semillas (Cuadro 2 y 4) debido a que las plantas dispusieron de luz, agua y nutrientes para crecer y desarrollarse (Ramírez et al., 2010). Las líneas de maíz con ocho autofecundaciones, con alturas entre 151 y 274 cm y arquetipo pequeño permiten aumentar el número de plantas por hectárea. Con la densidad de población de 82 500 plantas/ha se incrementó 13,05% el rendimiento de semilla en comparación con la de 62 500 plantas/ha, sin afectar significativamente el tamaño ( $p \leq 0,05$ ) (Cuadro 3) que está íntimamente relacionado con el establecimiento rápido y uniforme del cultivo en los lotes de producción de semilla; asimismo, se

**Cuadro 2.** Comparación de medias de las características agronómicas y de rendimiento de semilla de líneas de híbridos de maíz, en densidades de población y durante tres años. Coatlínchán, Estado de México. 2006-2008.

Factor	IFM (días)	IFF (días)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AMZ (cm)	REN (t/ha)
<b>Densidades de población (plantas/ha)</b>							
62500	72,94a	77,97a	81,91a	82,78b	202,76a	87,08a	3787,43b
82500	73,10a	78,02a	82,03a	83,29a	203,11a	88,23a	4281,96a
P > F	0,35	0,82	0,53	0,01	0,87	0,19	<0,01
DSH (0,05)	0,36	0,43	0,37	0,37	4,59	1,76	150,41
<b>Años de evaluación</b>							
2006	75,42a	80,33a	84,77a	85,71a	201,89b	87,64a	3307,57b
2007	72,30b	75,94c	81,00b	80,43c	210,43a	87,64a	4368,71a
2008	71,33c	77,72b	80,15c	82,96b	196,49b	87,69a	4427,81a
P > F	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,99	<0,01
DSH (0,05)	0,52	0,63	0,55	0,54	6,73	2,58	220,56
Media	73,02	78,00	81,98	83,04	202,94	87,66	4034,69
CV (%)	2,10	2,35	1,97	1,92	9,73	8,63	16,04
R <sup>2</sup>	0,93	0,92	0,93	0,93	0,82	0,94	0,93

IFM= inicio floración masculina; IFF= inicio floración femenina; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AMZ= altura de planta de la mazorca superior; REN= rendimiento de grano; P > F= probabilidad; DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación.

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, p=0,05).

disminuyó en 2,57% el peso de mil semillas. Virgen et al. (2013b) también reportaron un incremento del 19% del rendimiento de semilla cuando cultivaron líneas de maíz con 82 500 plantas/ha. Asimismo, Martínez-Rueda et al. (2010), al evaluar los híbridos Cóndor, H-48 y H-50, cuantificaron un incremento de 9,3% en el rendimiento de grano cuando fueron sembrados el 1 de mayo de 2008 y 9,25 plantas/m<sup>2</sup>. Espinosa et al. (2010) al evaluar una cruz simple androestéril y fértil de maíz obtuvieron mayor rendimiento de semilla con 80 000 plantas/ha en comparación con 50 000 plantas/ha, sin cambios significativos en días a floración masculina y femenina y altura de planta. No así, Virgen et al. (2010), al evaluar cruces simples hembra no observaron efecto significativo (p≤0,05) entre densidades de planta para rendimiento, pero con 4% menos de semilla grande y mediana en la densidad de 62 000 plantas/ha.

#### *Años de evaluación*

Se observaron diferencias significativas entre años para la mayoría de las características agronómicas y rendimiento (p≤0,05), excepto para altura a la mazorca superior (Cuadro 2 y 4). Esto indica, que entre 2006, 2007 y 2008 hubo un efecto diferencial de la cantidad y distribución de la precipitación y temperatura (Figura 1, Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, 2013), y de los nutrimentos esenciales en disolución acuosa disponibles en el suelo (Mills y Jones, 1996; Ramírez et al., 2010) para las líneas. Entre años, hubo entre tres y cuatro días de diferencia para el inicio de la floración masculina, en 2006 en la fecha de siembra más temprana fue mayor en comparación con 2008 (Cuadro 2). Situación similar se observó con los días a inicio de floración femenina y floración media. Para todos los años, se cuantificaron nueve días entre inicio de la floración masculina

**Cuadro 3.** Comparación de medias de la calidad física de la semilla de líneas de híbridos de maíz. Coatlinchán, Estado de México. 2006-2008.

Líneas progenitoras	Tamaño de semilla (%)			PV (kg/hl)	PMS (g)
	SG	SM	SCH		
CML-354	86,05a	10,98d	2,91e	70,20a	311,36a
CML-246	83,09a	13,22d	3,68e	64,00cde	305,05ab
M-54	60,91b	26,41bc	12,66de	57,74f	283,66abcd
CML-239	60,07bc	19,75cd	19,83bcd	64,97cde	262,86cde
LINVA-7-2-14-5	56,14bcd	32,50ab	11,56de	64,18cde	277,58bcde
CML-242	53,08bcde	32,91ab	14,00cde	68,59ab	247,75e
M-44	49,83bcde	33,67ab	16,76bcd	63,29de	265,25cde
CML-243	48,72cdef	33,88ab	17,05bcd	68,23ab	246,66e
M-39	46,22def	34,88ab	18,33bcd	64,34cde	290,61abc
M-55	42,35efg	35,21ab	21,87bcd	63,40de	292,02abc
M-38	37,20fg	34,55ab	28,24b	64,63cde	268,77cde
M-48	33,06g	41,35 <sup>a</sup>	25,02bc	68,18ab	271,97cde
CML-241	20,82h	36,05ab	43,67a	65,94bcd	191,80f
LINVA-7-2-1-2	19,73h	32,33ab	47,93a	66,47bc	253,58de
CML-355	18,54h	28,01bc	52,88a	68,39ab	195,25f
M-43	14,35h	38,53 <sup>a</sup>	48,66a	62,73e	248,63e
P > F	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DSH (0.05)	11,55	9,95	11,64	3,03	32,74
Media	45,63	30,26	24,07	65,33	263,30
CV (%)	16,93	18,64	26,85	4,02	10,77
R <sup>2</sup>	0,92	0,78	0,87	0,86	0,82

P > F= probabilidad; Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, p=0,05); DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación; SG= porcentaje de semilla grande; SM= porcentaje de semilla mediana; SCH= porcentaje de semilla chica; PV= peso volumétrico, en kg/hl; PMS= peso de mil semillas, en g.

y floración media masculina, lo que determina el período del desespigamiento de la línea hembra en un lote de producción de semilla. La altura de planta promedio entre años fue de 202 cm, en 2007 fue la mayor y en 2008 disminuyó 13,94%; esto indica que son líneas altas, que en función de su uso como progenitor hembra o macho puede tener ventajas o no.

El rendimiento de semilla promedio fue de 4034 kg/ha, en 2008 fue mayor (4427 kg/ha) y en 2006 disminuyó 25,30% (Cuadro 2), debido posiblemente a la humedad relativa alta al momento de la floración y llenado de grano debido a la precipitación, en 2008 hubo mayor precipitación en el mes de septiembre

(semana 40; 53,50 mm) en comparación con 2006 (12,40 mm) (Figura 1) en la etapa de llenado de grano que contribuyó al aumento en la producción. Esto confirma el efecto del ambiente sobre la productividad de las líneas (Virgen et al., 2013a; 2013b), lo que resulta útil para determinar dónde y cuándo establecer un lote de producción de semilla. Avila et al. (2009) también, observaron el mismo efecto, al incrementar la cruza simple hembra del híbrido H-52 en el Valle de Texcoco con rendimiento de semilla registrada de 9 a 10 t/ha con 70% de semilla grande; mientras que en Tlaxcala rindió 6,5 t/ha.

**Cuadro 4.** Comparación de medias de la calidad física de la semilla de líneas de híbridos de maíz, en dos densidades de plantas. Coatlínchán, Estado de México. 2006-2008.

Factor	Tamaño de semilla (%)			PV (kg/hl)	PMS (g)
	SG	SM	SCH		
<b>Densidades de población (plantas/ha)</b>					
62 500	46,04a	30,04a	23,88a	65,46a	266,74a
82 500	45,23a	30,49a	24,25a	65,21a	259,87b
P > F	0,49	0,65	0,76	0,42	0,04
DSH (0,05)	2,32	2,00	2,34	0,61	6,58
<b>Años de evaluación</b>					
2006	24,21c	37,45a	38,27a	62,35b	227,86c
2007	71,14a	21,06c	7,78c	61,88b	255,38b
2008	41,55b	32,28b	26,15b	71,75a	306,66a
P > F	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
DSH (0,05)	3,40	2,93	3,43	0,90	9,66
Media	45,63	30,26	24,07	65,33	263,30
CV (%)	16,93	18,64	26,85	4,02	10,77
R <sup>2</sup>	0,92	0,78	0,87	0,86	0,82

SG= porcentaje de semilla grande; SM= porcentaje de semilla mediana; SCH= porcentaje de semilla chica; PV= peso volumétrico, en kg/hl; PMS= peso de mil semillas, en g; P > F= probabilidad; DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, p=0,05);

## Calidad física de la semilla

### *Líneas progenitoras de híbridos de maíz*

Hubo diferencias significativas entre líneas en tamaño y peso de semilla ( $p \leq 0,05$ ) (Cuadro 3) debido a las características genéticas de cada línea y las condiciones agroclimáticas de la localidad de producción. Virgen et al. (2013a), al evaluar las líneas progenitoras de los híbridos H-52, H-66 y H-70, sólo encontraron diferencias en peso volumétrico de las líneas M-52 y M-54 entre 70 y 62 kg/hl, y no entre tamaño de semillas; por otra parte, al evaluar catorce líneas progenitoras de híbridos de maíz encontraron diferencias en peso y volumen de semillas (Virgen et al., 2012).

Las líneas tuvieron porcentajes promedio de tamaños de semilla grande, mediana y chica de 46, 30 y 24%, respectivamente (Cuadro 3). Las líneas CML-246, M-54, CML-239, LINVA-7-2-14-5 y CML-242

presentaron porcentajes de semilla grande mayores a 50%. El 69% de las líneas tuvieron porcentajes de semilla mediana entre 32 y 41. Las líneas CML-241, LINVA-7-2-1-2, CML-355 y M-43 tuvieron el mayor porcentaje de semilla pequeña ( $> 43\%$ ), lo cual no significa que esta tenga menor germinación y establecimiento del cultivo en comparación con la semilla grande. Varios autores confirman que no hay diferencias significativas entre tamaños, solo una diferencia en la emergencia entre dos y tres días y el tamaño de la plántula al inicio del cultivo (Veera et al., 1998; Pérez et al., 2006). La mayoría de las líneas tienen tamaño de semilla entre mediano y grande, cribas oblongas de 7 y 8 mm, respectivamente; parámetro básico para la siembra mecánica y el establecimiento rápido y uniforme del cultivo (Copeland y McDonald, 2001) en un lote de producción de semilla híbrida.

Las líneas tuvieron un peso hectolítrico de la semilla promedio de 65 kg/hl, la CML-354 tuvo el mayor peso con 70,2, y la de menor peso fue M-54 con

57,7 (Cuadro 3). Virgen et al. (2012, 2013a, 2013b), también observaron diferencias en el peso hectolítrico al evaluar líneas progenitoras de híbridos de maíz en localidades de Valles Altos de México, lo cual indica que es un parámetro influido por el ambiente de producción. Algunos materiales genéticos tienen una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada (150, 225 y 300 kg N/ha), mediante el aumento del peso hectolítrico (Zepeda et al., 2007). Asimismo, se cuantificó un peso de mil semillas promedio de 263 g; CML-354 y CML-246 tuvieron los pesos mayores 311,36 y 305,05 g y CML-241 el peso menor 191,80 g. Las semillas con peso mayor tienen menor número de semillas y viceversa; CML-355, progenitor macho del híbrido H-64E, tiene un peso de mil semillas de 195,25 g menor que CML-354 (311,36 g). El número de semillas por kilogramos es importante para los productores de semilla híbrida para determinar la densidad de población de la hembra y el macho, sobre todo para la siembra y distribución del macho, en un lote de desespigamiento, para obtener aislamiento y disponibilidad de polen que conlleve al cumplimiento de las normas de certificación de semillas (SAG, 1975).

#### *Años de evaluación*

Las condiciones agroclimáticas entre años de producción afectó la calidad física de la semilla. En 2007 hubo 46,93 y 29,59% más semilla grande, criba oblonga 8 mm, que en 2006 y 2008, respectivamente; consecuentemente menor porcentaje de semilla pequeña (7,78%) (Cuadro 4). Por otra parte, en 2008 el peso hectolítrico fue mayor (71,75 kg/hl) en comparación con 2006 y 2007, los cuales resultaron ser estadísticamente iguales con 62 kg/hl; lo anterior, porque en 2007 hubo una distribución equitativa en los tamaños de semilla (42, 32 y 26%, semilla grande, mediana y pequeña, respectivamente). Situación similar se observó con el peso de mil semillas, en 2008 fue mayor (306,66 g), seguido de 2007 y 2006 (Cuadro 4). Zepeda et al. (2009), también observaron cambios en el peso hectolítrico, color y componentes estructurales del grano de cruza simple progenitoras de híbridos de maíz cultivados en Montecillo en 2004 y 2005 debido a la diferencia en la distribución de la temperatura y precipitación entre años.

#### *Interacción líneas x años de evaluación*

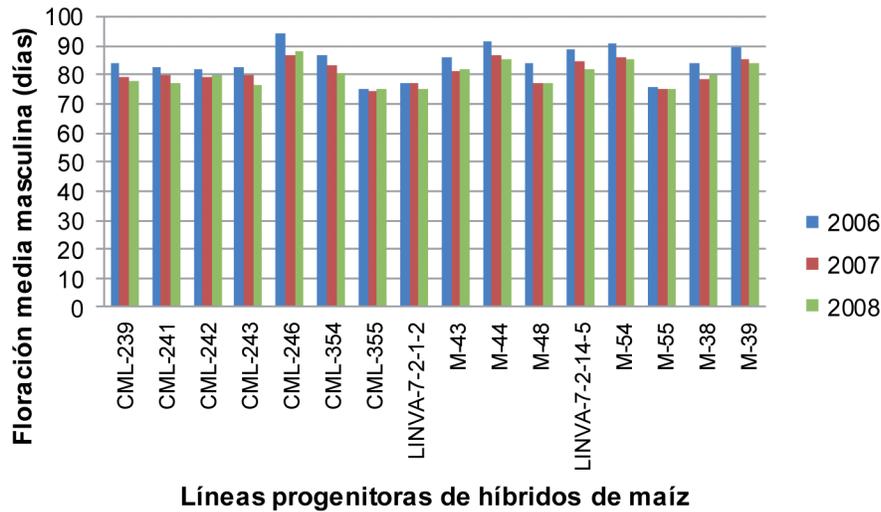
Las interacciones líneas x años de evaluación fueron altamente significativas para floración media masculina, rendimiento y porcentaje de semilla grande ( $p \leq 0,01$ ), debido a que por lo menos una línea se comportó diferente en cada año de evaluación con diferentes condiciones agroclimáticas (Figura 1).

#### *Días a floración media masculina*

En el 87,5% de las líneas se observó un cambio en el número de días a floración media masculina entre años (Figura 2), 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. (2013b) al evaluar líneas en localidades de los Estados de México y Tlaxcala. Las líneas CML-355 y M-55 tuvieron un comportamiento estable, no hubo cambio en los días a floración masculina entre años (75 días). La línea CML-246 presentó mayor variación en los días a floración media masculina, en 2007 se produjo a los 86 días y en 2006 ocho días después; esto causa problemas al establecer un lote de desespigamiento para formar la cruza simple progenitor hembra (CML-246 x CML-242), de los híbridos H-40, H-48 y H-50, porque la línea CML-242 (macho) solo presentó una variación entre años de dos días; mientras que la CML-246 mostró nueve días de variación a la floración media femenina, que causa no coincidencia en la polinización. En la producción de semilla híbrida, dos a tres días de diferencia en la sincronía floral masculina y femenina tienen un efecto importante en la pérdida de la calidad genética por contaminación de polen extraño y la no producción de semilla.

#### *Rendimiento de semilla*

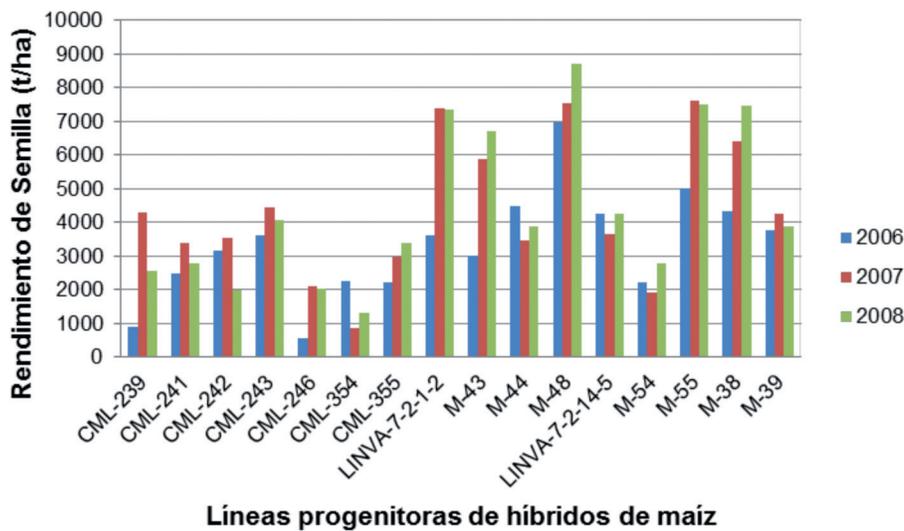
En todas las líneas se observaron rendimientos de semillas significativamente diferentes ( $p \leq 0,01$ ) entre años porque es un carácter determinado por muchos genes e influido por el ambiente (Poehlman, 1979; Robles, 1986; Márquez, 1988). La línea CML-239, en 2007 tuvo su mayor rendimiento (4297 kg/ha), seguido de 2008 con 2555,35 kg/ha y de 2006 con 894,63 kg/



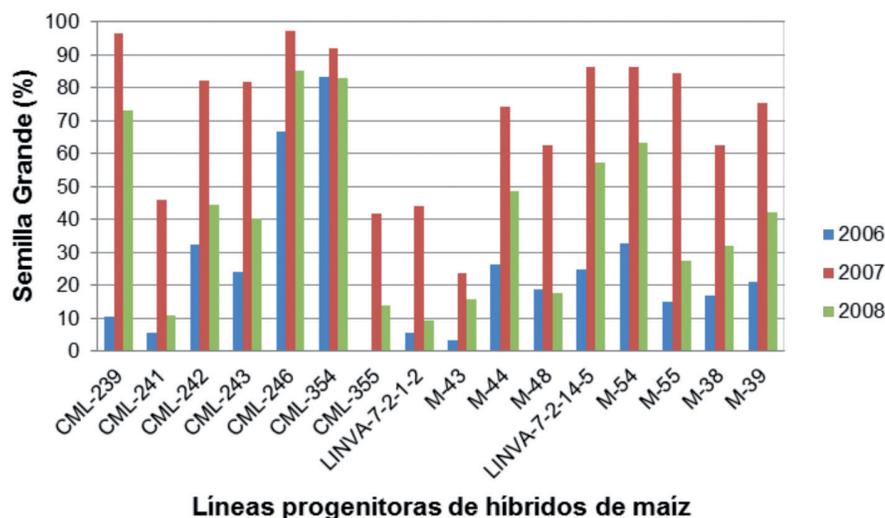
**Figura 2.** Interacción genotipo - ambiente para días a floración media masculina de líneas progenitoras de híbridos de maíz cultivadas en Texcoco, Estado de México. 2006-2008.

ha; 40,54 y 79,18% menos rendimiento (Figura 3). Asimismo, la línea M-43, progenitor hembra de los híbridos femeninos H-52 y H-66 (Avila et al., 2009; Arellano et al., 2010), presentó su máximo rendimiento en 2008 (6713,58 kg/ha) con una disminución del 12,18 y 55,30% en 2007 y 2006, respectivamente. Por otra

parte, existen líneas que tienen menor variación en el rendimiento entre años; la línea M-48, progenitor macho del híbrido H-52 (Avila et al., 2009), rindió en 2008 8727 kg/ha y en 2007 y 2006 13,63 y 20,14% menos, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Virgen et al. (2013b) y Zepeda et al. (2009).



**Figura 3.** Interacción genotipo - ambiente para rendimiento de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz cultivadas en Texcoco, Estado de México. 2006-2008.



**Figura 4.** Interacción genotipo - ambiente para porcentaje de semilla grande de líneas progenitoras de híbridos de maíz cultivadas en Texcoco, Estado de México. 2006-2008.

#### Porcentaje de semilla grande

El porcentaje de semilla grande se vio afectado por el ambiente, principalmente la cantidad y distribución de la precipitación en Texcoco, Estado de México en la etapa de llenado de grano (Figura 1); la línea CML-243 mostró 81,86% en 2007 con una disminución del 50,77 y 70,68% menos en 2008 y 2006, respectivamente (Figura 4). La línea CML-354 presentó la menor variación entre 82 y 91% de semilla grande con un promedio de 86,05%. Virgen et al. (2012, 2013a, 2013b) y Avila et al. (2009), también observaron diferencias en el porcentaje de semilla grande al evaluar líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de maíz en localidades de Valles Altos de México.

## LITERATURA CITADA

- Arellano, J.L., J. Virgen, y M.A. Avila. 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, J.L., J. Virgen, I. Rojas, y M.A. Avila. 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, M.A., J.L. Arellano, J. Virgen, A.J. Gámez, y A. María. 2009. H-52 Híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agríc. Téc. Méx.* 35:237-240.
- Barillas, M.E. 2010. Producción de semilla certificada de maíz en Tlaxcala. Fundación Produce Tlaxcala A. C., México. IICA, México.
- 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. <http://www.siac.org.mx/fichas/49%20Guerrero%20Maiz.pdf> (Consultado oct. 2013).
- Copeland, L.O., y M.B. McDonald. 2001. Principles of seed science and technology. 4 ed. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- Espinosa, A., M. Tadeo, J. Lothrop, S. Azpiroz, C. Tut y Couoh, y Y. Salinas. 2003. H-50 Híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200-2600 msnm). *Agríc. Téc. Méx.* 29:89-92.
- Espinosa, A., M. Tadeo, M. Sierra, F. Caballero, R. Valdivia, y N.O. Gómez. 2010. Despanojado y densidad de población en una cruza simple androestéril y fértil de maíz. *Agron. Mesoam.* 21:159-165.
- Colegio de Postgraduados. 2013. Estación agrometeorológica de Montecillo. México. <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/reporte/index4.htm> (Consultado octubre 2013).
- González, E.A., J. Islas, A. Espinosa, J.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.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2012. Redes de estaciones del INIFAP. México. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>. (Consultado marzo 2014).
- Márquez, S.F. 1988. Genotecnia vegetal: métodos, teoría, Resultados. Tomo II. Ed. AGT Editor, México, D.F.
- Martínez-Lázaro, C., L.E. Mendoza, G. García, M.C. Mendoza, y A. Martínez. 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.
- Martínez-Rueda, C.G., G. Estrada, V.V. Beltrán, G. Ortega, y A. Contreras. 2010. Contenido de agua en el grano y capacidad potencial de demanda en híbridos de maíz para Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:95-100.
- Mills, H.A, y J.B. Jr. Jones. 1996. Plant analysis handbook II: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micromacro Publishing, USA.
- Pérez, M.C., A. Hernández, F.V. González, G. García, A. Carballo, T.R. Vásquez, y M.R. Tovar. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32:341-352.
- Poehlman, J.M. 1979. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa, México, D. F.
- Ramírez, J.L., J.J. Wong, J.A. Ruiz, y M. Chuela. 2010. Cambio de fecha de siembra del maíz en Culiacán, Sinaloa, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:61-68.
- Ritchie W.S., G.O. Benson, S.J. Lupkes, y 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>. (Consultado mayo 2002).
- Robles, S.R. 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. Ed. Limusa. México, D. F.
- Rojas, M.I., J. Virgen, A. Espinosa, y R. Fernández. 2009. Tecnología para la producción de semilla certificada de maíz del híbrido H-48 en Tlaxcala. Folleto Técnico No. 39. CIRCE-INIFAP. Tlaxcala, México.
- SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería). 1975. Normas para la certificación de semillas. Dirección General de Agricultura, SAG, México.
- SAS Institute. 1989. User's guide. Version 6. 4 ed. SAS Inst., Cary, N.C.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Producción anual de cultivos año agrícola 2012 en México. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado sep. 2013).
- Sierra M.M., A. Palafox, F.A. Rodríguez, A. Espinosa, N. O. Gómez, F. Caballero, S. Barrón, A. Sandoval, y G. Vázquez. 2006. H-518, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 32:115-119.
- Vallejo, D.H.L., J.L. Ramírez, M. Chuela, y R. Ramírez. 2008. Manual de producción de semilla de maíz. Estudio de caso. Folleto Técnico Núm. 14. Campo Experimental Uruapan. INIFAP, CIRPAC, Guadalajara, Jalisco, México.
- Veera, S.N, S.H. Hussaini, B.R. Muralimohan, H. Savitri, S.A. Mahboob, K.R. Anand, K.R. Srinivasulu, y V. Padma. 1998. Effect of seed size and various stresses on field performance of maize hybrid Ganga 5. *Seed Research (New Delhi)* 26(1):28-33.
- Virgen, V.J., J.L. Arellano, I. Rojas, M.A. Avila, y G.F. Gutiérrez. 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec Mex.* 33:107-110.
- Virgen, V.J., R. Zepeda, J.L. Arellano, M.A. Avila, y I. Rojas. 2012. Líneas progenitoras de híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. En: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, A.C., editor, Resúmenes del 1er. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria y Simposio en Producción y Tecnología de Semillas. Celaya, Guanajuato, México. 14-16 noviembre. 2012. p. 54.
- Virgen, V.J., R. Zepeda, J.L. Arellano, M.A. Avila, y I. Rojas. 2013a. Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. *Rev. Cienc. Tecnol. Agropec. Méx.* 1:26-32.
- Virgen, V.J., R. Zepeda, I. Rojas, J.L. Arellano, M.A. Avila, A. Espinosa, y A.J. Gámez. 2013b. Localidad y densidad de población en la producción de semilla de líneas progenitoras de híbridos de maíz en Valles Altos de México. En: Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales, editor, Resúmenes de la LVIII Reunión Anual del PCCMCA. La Ceiba, Honduras. 22-26 abr. 2013. p. 104.
- Zepeda, B.R., A. Carballo, A. Muñoz, J.A. Mejía, B. Figueroa, y F.V. González. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):17-24.
- Zepeda, B.R., A. Carballo, y C. Hernández. 2009. Genotype-environment interaction in structure and nixtamal-tortilla quality of kernel in corn hybrids. *Agrociencia* 43:695-706.

