

NITRÓGENO EN FERTIRRIEGO PARA PRODUCIR SEMILLA DE LÍNEAS PROGENITORAS Y CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ: DOSIS Y DISTRIBUCIÓN

NITROGEN IN FERTIGATION TO PRODUCE SEED OF PARENTAL LINES AND SINGLE CROSSES OF MAIZE: DOSE AND DISTRIBUTION

Rosalba Zepeda-Bautista^{1*}, Juan Virgen-Vargas^{2†}, Francisco Suazo-López³,
José L. Arellano-Vázquez² y Miguel Á. Ávila-Perches⁴

¹Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional 'Adolfo López Mateos', Ciudad de México, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. ³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola, Chapingo, Estado de México, México. ⁴INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia (rzb0509@hotmail.com)

RESUMEN

El costo y el impacto al ambiente por aplicar fertilizante nitrogenado para producir semilla híbrida de maíz (*Zea mays* L.) son elevados y opuestos al desarrollo sustentable. La dosis, distribución y forma de aplicación son limitadas; por ello, se evaluó la aplicación del N en fertirriego y su efecto en el rendimiento de semilla en líneas y cruvas simples progenitoras de híbridos. En 2013 y 2014 se evaluaron las líneas M-54, M-55 y CML-242, las cruvas simples M-54×M-55 y M-55×M-54 y el híbrido H-70, con las dosis de N 150, 225 y 300 kg ha⁻¹ en un diseño de bloques completos al azar. La distribución de las dosis 150, 225 y 300N-60P-30K se realizó durante el ciclo biológico. Las diferencias entre genotipos, dosis de N y años fueron significativas estadísticamente ($P \leq 0.01$) para inicio de floración masculina (IFM) y femenina (IFF) y rendimiento de semilla. Hubo diferencias de 7 a 11 d entre M-54 y M-55 para IFM e IFF, y de 3 a 5 d entre M-54×M-55 y CML-242. Líneas y cruvas simples rindieron en promedio 3.28 y 8.44 Mg ha⁻¹, respectivamente. Las dosis de 225 y 300 kg N ha⁻¹ en fertirriego retrasaron el IFM e IFF en promedio entre 1 y 3 d, en comparación con 150 kg N ha⁻¹, que tuvo un rendimiento promedio de 6.37 Mg ha⁻¹. En 2013 el IFM e IFF aumentó en 4 y 2, d mientras que el rendimiento disminuyó en 3 % en comparación con 2014. La línea M-55 con 225 kg N ha⁻¹ en 2013 rindió 25 % más que con 150 kg N ha⁻¹. La aplicación de 150 kg N ha⁻¹ en fertirriego incrementa la producción de semilla y las dosis de 225 y 300 kg ha⁻¹ de N retrasan la floración.

Palabras clave: *Zea mays* L., años de producción, nutrición, rendimiento de semilla, sincronía floral.

SUMMARY

The cost and the environmental impact of applying nitrogen fertilizer to produce hybrid maize (*Zea mays* L.) seed are high and opposed to sustainable development. The dose, distribution and form of applications are limited; thus, the application of N in fertigation and its effect on seed yield in parental lines and single crosses of maize hybrid were evaluated. In 2013 and 2014 lines M-54, M-55 and CML-242, single crosses M-54×M-55 and M-55×M-54, and the hybrid H-70 were evaluated with the doses of N 150, 225 and 300 kg ha⁻¹ in a randomized complete block design. The distribution of doses 150, 225 and 300N-60P-30K was carried through the biological cycle. Differences between genotypes, doses of N and years were statistically significant ($P \leq 0.01$) for initiation of male (IMF) and female (IFF) flowering and seed yield. There was a difference of 7 to 11 days between M-54 and M-55 for IMF and IFF, and from 3 to 5 d between M-54×M-55 and CML-242. Lines and single crosses yielded an average of 3.28 and 8.44 Mg ha⁻¹, respectively. Doses of 225 and 300 kg

N ha⁻¹ in fertigation delayed IMF and IFF by 1 to 3 d on average, compared to 150 kg N ha⁻¹, which had an average yield of 6.37 Mg ha⁻¹. In 2013 IMF and IFF increased by 4 and 2 d while the yield decreased by 3% compared to 2014. Line M-55 with a dose of 225 kg N ha⁻¹ in 2013 yielded 25 % more than with 150 kg N ha⁻¹. Applying 150 kg N ha⁻¹ in fertigation increases seed production and the doses of 225 and 300 kg N ha⁻¹ delay flowering.

Index words: *Zea mays* L., floral synchrony, nutrition, production years, seed yield.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento global sostenido de la productividad agrícola es necesario para contribuir a erradicar el hambre y garantizar un uso eficiente de los recursos naturales (FAO *et al.*, 2015). En los últimos 50 años se ha incrementado el rendimiento de los cultivos por aplicación de fertilizante nitrogenado, pero su uso excesivo causa contaminación a los recursos hídricos, suelo y ambiente (emisión de N₂O y NH₃), pérdidas económicas y daños a la salud (Kuttippurath *et al.*, 2020; Malik *et al.*, 2020; Nazir *et al.*, 2016); entonces, se debe reducir el uso de N sin afectar la productividad del cultivo, mejorando la eficiencia con mejoramiento genético (Hakeem *et al.*, 2013) porque la disponibilidad de N influye en el crecimiento y desarrollo de la planta, afecta la fotosíntesis y metabolismo del carbono (Nazir *et al.*, 2016) y el contenido de clorofila de la hoja (Kovács *et al.*, 2014).

En maíz, la aplicación de N ha aumentado el rendimiento de grano en híbridos y variedades; existe respuesta diferente a la cantidad, distribución y forma de aplicación; por ejemplo, con dosis de 145 y 180 kg N ha⁻¹ se incrementó la altura de planta, unidades calor a la floración y rendimiento en comparación con 202 y 300 kg N ha⁻¹ (Kovács *et al.*, 2014; Zamudio-González *et al.*, 2016). Al analizar datos de 86 experimentos de campo publicados desde 1903 hasta 2014 en genotipos de maíz de la era

vieja (1903-1990) y nueva (1991-2014) se identificó en promedio el uso de similares, dosis de 170 y 172 kg N ha⁻¹, respectivamente (Mueller y Vyn, 2016); en la faja maicera de Iowa, EUA la dosis promedio está entre 140 y 160 kg N ha⁻¹ (Fischer y Edmeades, 2010).

Además de la calidad física y fisiológica de la semilla de maíz (Mancera-Rico *et al.*, 2019), el conocer la nutrición de las líneas endogámicas de maíz es básico para mejorar la producción y calidad de semilla de los híbridos. Kamara *et al.* (2003) observaron diferencias entre líneas S₁ en floración, sincronía floral y rendimiento de semilla. Se han identificado líneas con aptitud combinatoria general para rendimiento de grano (Badu-Apraku *et al.*, 2016) y biomasa con escasez de N (Garnett *et al.*, 2015), lo que ha propiciado obtener híbridos eficientes en el uso de N, aunque se requiere información sobre la cantidad, distribución y aplicación para producir semilla. Los fertilizantes representan entre 41.9 y 47.5 % del costo de producción de semilla certificada, lo que aumenta el monto de la inversión para el productor (Castañeda *et al.*, 2014).

Para producir semilla de categorías registrada y certificada se recomienda fertilizar adecuadamente, y en ocasiones se hace con base en el análisis de suelo. Para los híbridos H-515 y H-516 se aplican 180N-60P-60K (Barrón, 2010) y para H-318, 250N-40P-60K (Vallejo *et al.*, 2008), ambas aplicadas al suelo en tres o en cinco fracciones (siembra, V4, V5, V8 y V10) (MacRobert *et al.*, 2014). En la línea CML-176 y cruce simple CML-176 × CML-142 (Progenitor femenino del H-374C) no hubo efecto significativo de la cantidad de N (150, 250 y 300 kg ha⁻¹) aplicado al suelo para días a floración y rendimiento de semilla (Cervantes-Ortíz *et al.*, 2013).

El fertirriego es una técnica que usa el flujo hídrico para transportar los nutrientes que necesita la planta y aplicarlos directamente en un volumen pequeño de suelo donde está la raíz (Cadahia, 1998). En maíz, Martínez *et al.* (2014) y Mohammadi *et al.* (2019), aplicando al H-358 y H-704 200N-100P-100K y 207N en fertirriego incrementaron el rendimiento en 36.54 y 11.20 % en comparación con la aplicación al suelo y riego por gravedad, respectivamente. Yan *et al.* (2020), al aplicar 300N, cuantificaron un rendimiento de 16.38 Mg ha⁻¹. El uso de N en fertirriego puede incrementar la producción de semilla de maíz. En 2019, en México se produjeron 118.84 mil Mg de semilla de maíz con rendimiento promedio de 5.54 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2020), insuficiente para satisfacer la demanda nacional, ya que sólo cubre 36 % de la superficie sembrada (Virgen *et al.*, 2016a); sin embargo, para producir semilla híbrida sólo existe información limitada y específica sobre dosis, distribución y forma de aplicación de fertilizante; por ello, en este estudio se planteó como objetivo evaluar diferentes

dosis y formas de distribución del N en fertirriego para conocer su efecto en la floración y el rendimiento de semilla en líneas y cruces simples progenitoras de híbridos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental San Ignacio de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Chapingo, Estado de México (19° 29' 31.19" LN, 98° 52' 20.86" LO y 2268 msnm). El clima es C(w_o)(w)b(i'), subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 16.4 °C, con precipitación pluvial promedio anual de 618.5 mm (SMN, 2016). Durante 2013 y 2014 se consultaron y procesaron los datos de temperatura y precipitación semanales promedio obtenidos en la estación meteorológica de la UACH, a 10 m de distancia del experimento.

El suelo es franco, con pH ligeramente alcalino (7.26), libre de sales (conductividad eléctrica 0.26 dS m⁻¹), materia orgánica y N inorgánico medio (2.15 % y 36.5 mg kg⁻¹), P asimilable muy alto (36.27 mg kg⁻¹) y K alto (648 mg kg⁻¹).

Material genético y manejo del experimento

Durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2013 y 2014 se evaluaron las líneas M-54, M-55 y CML-242, las cruces simples M-54×M-55 y M-55×M-54, el híbrido H-70 con las dosis de fertilización de N 150, 225 y 300 kg ha⁻¹ en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. 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. La línea CML-242, obtenida del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, tiene ocho autofecundaciones, es homogénea y uniforme; M-54 y M-55, obtenidas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), tienen cuatro y cinco autofecundaciones, respectivamente, y muestran variabilidad en su descripción varietal.

La preparación del terreno consistió en barbecho, rastreo y surcado con maquinaria. La siembra fue manual, en suelo seco, el 3 y 9 de mayo en 2013 y 2014, respectivamente, a una densidad de población de 62,500 plantas ha⁻¹, distancia entre plantas de 20 cm y una planta por mata. El control de las malezas fue con aplicación en preemergencia de Primagran gold® (Atrazina + S-metolaclo) a dosis de 1.5 L ha⁻¹ y en postemergencia, cuando la maleza tuvo una altura de 5 cm, de Marvel® (Dicamba + Atrazina) a dosis de 2.0 L ha⁻¹.

Los fertilizantes (N-60P-30K) se aplicaron semanalmente a través del agua de riego a partir de la quinta semana después de la siembra, ya que durante la germinación se usan las reservas de la semilla, y el crecimiento de la plántula en las primeras etapas es lento. Para el fertirriego, se realizaron los cálculos semanales del fertilizante con base en las curvas de extracción de N, P y K en híbridos de maíz propuestas por INPOFOS (1997) y Martínez *et al.* (2014), de acuerdo con las etapas fenológicas del maíz (Ritchie *et al.*, 1993). Se definió la distribución de la dosis de fertilización 150N-60P-30K (Cuadro 1), 225N y 300N, en unidades NPK, porcentaje y fertilizantes químicos por ha durante el ciclo fenológico de los genotipos de maíz. Para obtener las cantidades de aplicación semanal de 225N y 300N se multiplicaron los datos de N (Cuadro 1) por 1.5 y 2, respectivamente, manteniendo los valores de P y K.

Se identificaron las etapas fenológicas en los genotipos; en las líneas M-55 y CML-242 y la cruz simple M-55×M-54 se registraron los días a partir del primer riego, décima hoja ligulada (V10), floración media masculina (R1), grano masoso (R4) y madurez fisiológica (R6) (Figura 1). Información requerida para optimizar, aplicar y hacer uso de fertilizantes químicos y el agua.

La inyección de la solución de fertilizantes se realizó a través de un venturi con un flujo de inyección de 2 L min⁻¹. La aplicación de las dosis fue a través del sistema de riego por goteo, una a la vez, usando mangueras con

gotero integrado con un gasto de 1 L h⁻¹ por emisor, los goteros se ubicaron con un espaciamiento de 30 cm. Se usaron fosfonitrato (31-04-00), ácido fosfórico (00-53-00) y nitrato de potasio (12-02-44) como fuentes de N, P y K, respectivamente.

En 2013 y 2014, la cantidad de agua aplicada para riego durante el ciclo fue de 1750 y 1417 m³ ha⁻¹, respectivamente; en 2014 la aplicación fue más baja porque la precipitación registrada fue mayor (743.7 mm) en comparación con 2013 (541.3 mm). Cuando la precipitación fue mayor de 10 mm la cantidad de agua aplicada semanal fue 42 m³ ha⁻¹ y con precipitación menor de 10 mm fue 167 m³ ha⁻¹ al 100 % de evaporación de maíz.

Cosecha y registro de variables

La cosecha se realizó de forma manual cuando se presentó la formación de la capa negra, indicador de madurez fisiológica. Se muestrearon los granos de la parte media de cinco mazorcas en cada unidad experimental. Se hicieron dos muestreos, el primero cuando la planta tuvo un aspecto seco con un contenido de humedad del grano de 24 % y el segundo 15 días después. El secado fue natural en un lugar ventilado y a la sombra. El beneficio de la semilla fue manual.

Las variables que se evaluaron fueron: 1) inicio de floración masculina; 2) inicio de floración femenina,

Cuadro 1. Distribución de la dosis 150N-60P-30K y fertilizantes para producir semilla de líneas y cruces simples progenitoras de maíz en fertirriego. Chapingo, México. 2013-2014.

Semana	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Fosfonitrato (kg ha ⁻¹)	H ₃ PO ₄ (mL ha ⁻¹)	KNO ₃ (kg ha ⁻¹)
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)			
5†	3.11	2	0.42	1	0.22	1	9.79	24.86	0.51
6	4.14	3	0.84	1	0.43	1	12.91	346.05	1.01
7	4.14	3	0.84	1	0.43	1	12.91	346.05	1.01
8	9.31	6	2.09	3	1.52	5	28.55	1013.86	3.54
9	9.31	6	2.09	3	1.52	5	28.55	1013.86	3.54
10	10.35	7	2.53	4	1.74	6	31.68	1351.30	4.04
11	16.55	11	5.64	9	3.04	10	50.44	3885.66	7.08
12	16.55	11	5.64	9	3.04	10	50.44	3885.66	7.08
13	17.58	12	6.04	10	3.70	12	53.17	4207.43	8.59
14	16.55	11	7.51	13	3.26	11	50.24	5916.63	7.58
15	16.55	11	7.51	13	3.26	11	50.24	5916.63	7.58
16	15.52	10	8.04	13	2.83	9	47.32	6606.43	6.57
17	6.19	4	5.86	10	2.61	9	17.56	5545.54	6.07
18	4.12	3	4.96	8	2.39	8	11.10	4862.81	5.56

†Número de semana después de la siembra. H₃PO₄: ácido fosfórico, KNO₃: nitrato de potasio.

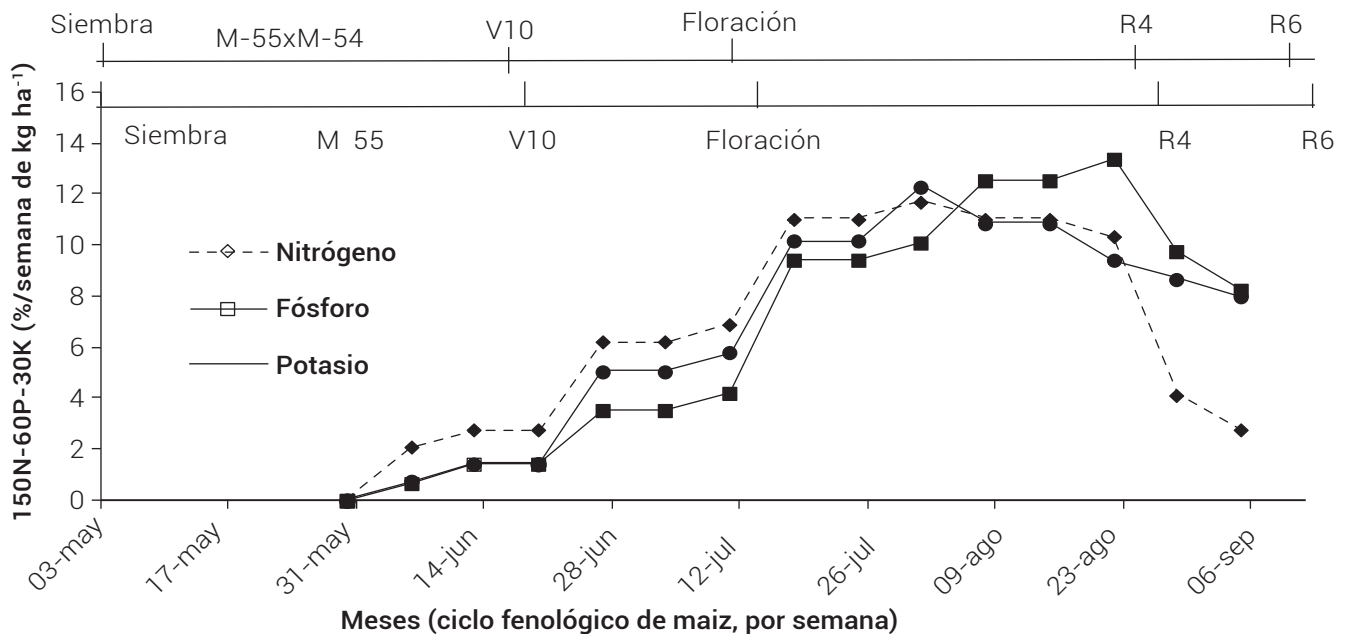


Figura 1. Distribución porcentual de la dosis 150N-60P-30K para producir semilla de M-55 y M-55×M-54 en fertirriego. Chapingo, México. 2013. Etapas fenológicas: V10 (hoja ligulada 10), R4 (grano masoso) y R6 (madurez fisiológica) (Ritchie *et al.*, 1993).

se cuantificaron en días a partir del primer riego hasta la aparición de la primera espiga y primer estigma, respectivamente, se midió en los surcos centrales de la unidad experimental (SCUE); 3) floración masculina media, se registraron los días a partir del primer riego hasta que el 50 % de las plantas tuvieron la espiga derramando polen; 4) floración femenina media, se cuantificó cuando los estigmas tenían una longitud de 2 cm, se midió en los SCUE; 5) altura de planta, se midió en cm desde la base del tallo hasta el punto de inserción de la espiga, promedio de cinco plantas; 6) rendimiento, en Mg ha⁻¹ a 12 % de humedad del grano, se calculó con la fórmula:

$$Rendimiento = [(PC \times \%MS \times \%G \times FC) / 8800] / 1000$$

Donde: *PC* es el peso de campo de mazorca en kg por parcela útil, *%MS* es el porcentaje de materia seca, *%G* es el porcentaje de grano, *FC* es el factor de corrección (10000 m²/8 m²), 8800 es el factor para ajustar el rendimiento al 12 % de humedad; 7) peso de mil semillas en g, se contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas, se calculó el coeficiente de variación, que fue < 4 % y se calculó con la ecuación: $PMS = \bar{X} \times 10$; donde \bar{X} es la media de las repeticiones individuales (ISTA, 2005); y 8) peso hectolítrico, se determinó en una báscula marca Ohaus® (Ohaus Corporation, Parsippany, New Jersey, EUA) y se expresó en kg hL⁻¹.

Análisis estadístico

A las variables evaluadas se les realizó análisis de varianza combinado a través de años con el procedimiento PROC GLM del Statistical Analysis System (SAS Institute, 2014) para las fuentes de variación y sus interacciones. En la evaluación de los genotipos se utilizaron contrastes ortogonales. Para las variables cuyos cuadrados medios mostraron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de maíz

El análisis de contrastes ortogonales mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre líneas, cruza simples (directa y recíproca) progenitoras hembra del H-70 y del progenitor macho (CML-242) que interviene en la hembra (CML-246×CML-242) de los híbridos H-40, H-48, H-50, e híbrido H-70 para inicio de floración y floración media masculina y femenina, rendimiento y peso de semilla (Cuadro 2), debido entre otras causas a las características genéticas de cada línea que forman la cruz simple y el híbrido, la diferencia en número de autofecundaciones, que reduce su vigor (MacRobert *et al.*, 2014); la línea CML-242 tiene ocho en comparación con M-54 y M-55 con cinco y cuatro autofecundaciones, respectivamente (Arellano *et al.*, 2011);

además, hubo diferencias en la respuesta de la planta a la aplicación de macronutrientes (NPK) a través del agua de riego por goteo en la cantidad y etapa fenológica requerida, que se calculó con base en las curvas de extracción de N, P y K y las etapas fenológicas (Ritchie *et al.*, 1993) (Cuadro 1, Figura 1). Resultados similares fueron observados por Kamara *et al.* (2003), Virgen-Vargas *et al.* (2014; 2016b) y Badu-Apraku *et al.* (2016) al evaluar floración y rendimiento de líneas, cruza simples normales y cruza simples con calidad de proteína de maíz, respectivamente.

Para producir semilla certificada del híbrido H-70 [(M-54×M-55) × CML-242] se requiere producir semilla categoría registrada de: 1) líneas en lotes aislados y 2) cruza simple M-54×M-55 en lote de desespigamiento y 3) cruza simple hembra por la línea macho [(M-54×M-55) × CML-242] en lote de desespigamiento. En los pasos 2 y 3, los días a inicio de floración masculina (IFM) y femenina (IFF) y la floración media masculina (FM) y femenina (FF), así como la altura de planta (AP), son básicos para eliminar la espiga del progenitor hembra, mantener la calidad genética y evitar autofecundaciones (Vallejo *et al.*, 2008), y lo mismo, la sincronía floral entre progenitores para asegurar la polinización y la formación de la semilla (Virgen-Vargas *et al.*, 2016b). Para producir la cruza simple hembra entre las líneas M-54 y M-55 existieron diferencias de 7 y 11 d para IFM e IFF, respectivamente (Cuadro 2); M-54 debe sembrarse entre 11 y 13 d antes que M-55 para que exista sincronía floral, y hasta 5 d para eliminar la espiga de la línea M-54. Para producir el híbrido H-70, con la hembra M-54×M-55 y la

línea macho CML-242, hubo entre 3 y 5 d para IFM e IFF; sin embargo, se deben sembrar simultáneamente porque los días para IFM del macho (70) coinciden con los días para FF de la hembra (69) y los correspondientes días para FM (78) y FF (78) (Cuadro 2). Estos parámetros se encuentran dentro de los límites reportados por Arellano *et al.* (2011). En M-54×M-55 se debe eliminar la espiga en un periodo de tiempo no mayor a 2 días después de la aparición de la primera espiga.

Respecto a la altura de la planta, la línea M-55 no tiene problema para la polinización de M-54 por su altura (222.83 y 195.28 cm, respectivamente) en el momento de la dispersión del polen; caso contrario ocurre con CML-242, que por su altura (148.33 cm) pudiera tener dificultad para polinizar a M-54×M-55, con una altura de 255.22 cm (Cuadro 2) y una altura de mazorca de 131.55 cm en fertirriego, en comparación con 52.11 cm con fertilización al suelo (150N-70P-30K) reportados por Virgen-Vargas *et al.* (2014).

El rendimiento promedio de semilla de las líneas fue 3.28 Mg ha⁻¹, M-55 rindió 79 % más en comparación con M-54 (Figura 2), por lo que sería conveniente utilizarla como progenitor femenino en la cruza simple recíproca M-55×M-54 (Arellano *et al.*, 2011; Virgen *et al.*, 2013) y en CML-242 fue menor debido posiblemente a su nivel de endogamia, lo que afecta su rendimiento (MacRobert *et al.*, 2014). La cruza simple recíproca M-55×M-54 rindió 24 % más que M-54×M-55 (7.54 Mg ha⁻¹), siendo

Cuadro 2. Floración, altura de planta y peso de semilla promedio de progenitores e híbrido de maíz en fertirriego. Chapingo, Edo. de México. 2013-2014.

Genotipo	IFM	FM	IFF	FF	AP	PH	PMS
	(días)				(cm)	(kg hL ⁻¹)	(g)
M-55	66.94c	76.17c	68.89c	77.56c	222.83a	72.19b	270.83b
M-54	74.28a	83.72a	80.00a	88.89a	195.28b	68.44c	325.07a
CML-242	70.39b	78.89b	74.56b	81.72b	148.33c	75.00a	254.31b
DSH _l (0.05)	0.55	0.84	0.84	0.85	10.31	1.58	27.63
M-55×M-54	67.11a	75.17b	69.28a	76.17b	257.50a	73.07a	391.94a
M-54×M-55	67.33a	77.33a	69.56a	78.39a	255.22a	73.55a	349.93b
DSH _{cs} (0.05)	0.64	0.56	0.98	0.62	6.44	1.17	20.64
H-70	68.50	77.28	70.44	78.44	270.11	76.15	394.31
P > F	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Media	69.09	78.09	72.12	80.19	224.87	73.06	331.06
CV (%)	1.15	1.24	1.67	1.30	5.24	2.42	10.37
R ²	0.96	0.94	0.94	0.96	0.95	0.83	0.83

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$), DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación, IFM: inicio floración masculina, FM: floración media masculina, IFF: inicio floración femenina, FF: floración media femenina, AP: altura de planta, PH: peso hectolítrico, PMS: peso de mil semillas.

estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$); sin embargo, ambas pueden utilizarse como progenitor femenino porque el comportamiento del híbrido no cambia (Arellano *et al.*, 2011), pero sí afecta al productor de semilla porque la cantidad de semilla certificada es menor utilizando M-54×M-55. Las líneas M-54 y M-55 rindieron 1073 y 235 % y las cruzas simples M-54×M-55 y M-55×M-54 produjeron 386 y 193 % más en fertirriego en comparación con riego por gravedad y 150N-70P-30N en Coatlinchán, Estado de México (Virgen *et al.*, 2013), 167 y 115 % más que el rendimiento promedio reportado por MacRobert *et al.* (2014), y 2 y 26 % mayor rendimiento de semilla en comparación con la cruza simple CML-176×CML-142 con 150 kg N ha⁻¹ aplicados al suelo (Cervantes-Ortíz *et al.*, 2013).

El híbrido H-70 rindió 30, 90 y 181 % más en fertirriego (Figura 2) en comparación con ambientes con temporal favorable, intermedio y pobre en localidades de Tlaxcala y Estado de México (Arellano *et al.*, 2011), con peso hectolítrico mayor de 74 kg hL⁻¹ (Cuadro 2) y mejor calidad de grano para elaborar tortillas. Martínez *et al.* (2014) también observaron un incremento del 35 % en el rendimiento de grano en fertirriego en comparación con fertilización al suelo y riego por gravedad.

En la siembra de un lote de producción de semilla híbrida el peso es útil para calcular la densidad de población, la relación entre surcos hembra y macho y el número de surcos macho para obtener mayor disponibilidad de polen

o como bordo para aislamiento. El peso hectolítrico (PH) y peso de mil semillas (PMS) promedio fueron 73.06 kg hL⁻¹ y 331.06 g; entre líneas, CML-242 tuvo el mayor PH (75 kg hL⁻¹) y el menor PMS (254.31 g), mientras que M-54 tuvo menor y mayor valor para esas variables, respectivamente (Cuadro 2); 18, 13 y 9 % mayor PH y entre 14 y 2 % mayor PMS que lo reportado por Virgen-Vargas *et al.* (2014) debido a la aplicación de los nutrimentos en cantidad y etapa fenológica requerida por la planta en fertirriego (Cuadro 1, Figura 1), lo que causó un aumento en el peso de la semilla; por el contrario, los valores fueron entre 27 y 43 % menores a lo reportado por MacRobert *et al.* (2014) al evaluar las líneas CML-444 y CML-312, genéticamente diferentes a las líneas evaluadas en este estudio. Entre cruzas simples el PH fue similar, pero 12 % mayor PMS en comparación con M-54×M-55, valores similares a los reportados por Virgen-Vargas *et al.* (2016a) al evaluar semilla certificada del híbrido H-70 producida por microempresas vinculadas con el INIFAP. En M-55×M-54 se obtuvo 16 % más PH que cuando se cultivó con 150N-70P-30K y riego por gravedad (Virgen-Vargas *et al.*, 2016b), lo que confirma el efecto del sistema de producción de fertirriego sobre la producción y calidad física de la semilla de progenitores de híbridos de maíz.

Efecto del N en fertirriego sobre la producción y peso de semilla

Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre dosis de N aplicado en fertirriego para inicio de floración,

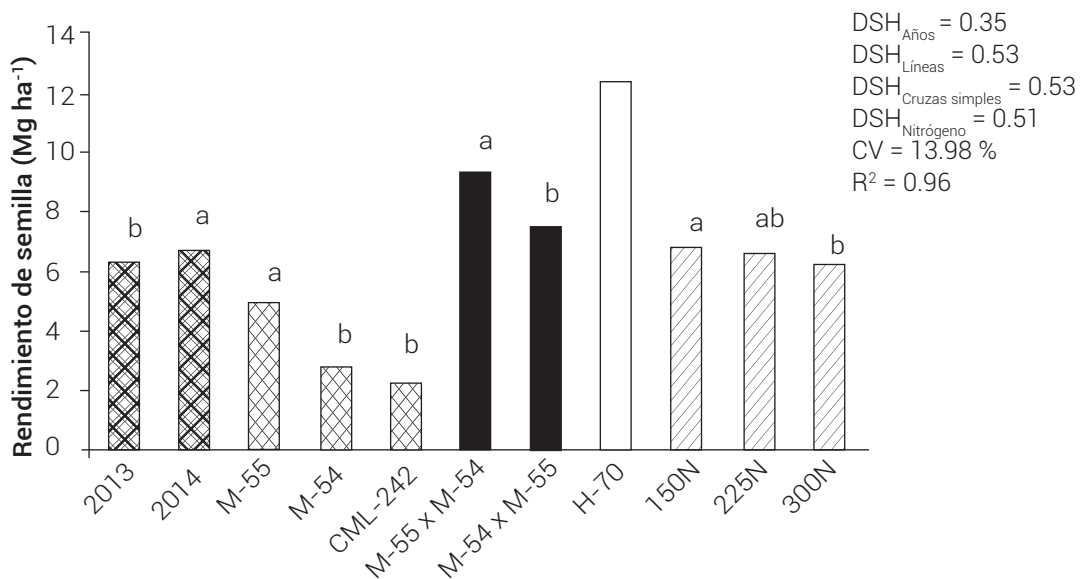


Figura 2. Rendimiento de semilla promedio entre años, líneas de maíz, híbridos de cruza simple y dosis de N en fertirriego. Chapingo, Edo. de México. 2013-2014. Medias con la misma letra entre niveles de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación.

floración media, altura de planta, rendimiento de semilla en progenitores e híbrido de maíz (Cuadro 3), debido posiblemente a que la cantidad de N aplicado a través del agua de riego en función de la etapa fenológica de la planta mejoró su disponibilidad y absorción por la planta, lo que influyó en el crecimiento, desarrollo y productividad a causa de la modificación de la actividad fotosintética (Nazir *et al.*, 2016) y al contenido de clorofila en la hoja (Kovács *et al.*, 2014). Resultados similares fueron observados por Kovács *et al.* (2014) y Zamudio-González *et al.* (2016) al aplicar N para producir grano, y por Cervantes-Ortíz *et al.* (2013) para producir semilla híbrida de maíz. La información sobre el uso de N en líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de maíz es limitada y específica, es por ello que se usa la información para producir grano y semilla, con modificaciones.

Las dosis de 225 y 300 kg N ha⁻¹ en fertirriego retrasaron el IFM en promedio 1 y 2.5 d y el IFF hasta en 3 d (Cuadro 3), los que son útiles para eliminar la espiga del progenitor hembra en un lote de producción de semilla híbrida, así como lograr la sincronía floral entre progenitor masculino y femenino. Situación similar se observó con la floración media masculina y femenina, importantes para la polinización y formación de la semilla en el progenitor hembra. Por el contrario, Cervantes-Ortíz *et al.* (2013) no encontraron cambio en la floración femenina al evaluar la línea CML-176 y la cruza simple CML-176×CML-142, progenitor femenino del H-374C, con 150, 250 y 350 kg N ha⁻¹ aplicados al suelo.

La altura de la planta (AP) fue mayor con la dosis de 150

kg N ha⁻¹ y ligeramente menor con 225 y 300 kg N ha⁻¹ (Cuadro 3). La AP en el progenitor masculino es importante para polinizar, pues en ocasiones las líneas macho tienen porte bajo y el jilote del progenitor hembra está por encima de la espiga, lo que dificulta la polinización y consecuente formación de la semilla. La línea CML-242 midió 148.3 cm de altura, es progenitor macho de la cruza simple hembra M-55×M-54, que tuvo 257.5 cm; en fertirriego la línea CML-242 tuvo altura mayor en comparación con la fertilización al suelo (150N-70P-30K), de acuerdo con lo reportado por Virgen-Vargas *et al.* (2014), suficiente para polinizar al jilote de la hembra M-55×M-54 que tuvo una altura de 134.94 cm.

El rendimiento de semilla promedio fue mayor con la aplicación de 150 kg N ha⁻¹, éste disminuyó en 4.23 y 9.50 % con 225 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente (Figura 2), debido a la disponibilidad de los macronutrientes (N-60P-30K) en la cantidad y etapa fenológica requerida por el maíz y fue mayor en fertirriego (Cuadro 1) en comparación con la fertilización al suelo y a la respuesta de los progenitores al N (Cervantes-Ortíz *et al.*, 2013; Garnett *et al.*, 2015). Lo anterior indica que para producir semilla híbrida categoría registrada y certificada es mejor aplicar los nutrientes a través del riego por goteo, lo cual es una alternativa viable para obtener un rendimiento de semilla promedio de 3.28 y 8.44 Mg ha⁻¹ en líneas y cruza simples progenitoras con menor uso de fertilizantes (150N-60P-30N) (Cuadro 1, Figura 1), y el uso de agua, en 2013 y 2014, entre 1750 y 1417 m³ ha⁻¹ al 100 % de evaporación de maíz, en comparación con 3.0 Mg ha⁻¹ de semilla certificada comercializable de H-515 y H-516 con la dosis promedio de 180N-60P-60K

Cuadro 3. Efecto de dosis de N y años sobre floración, altura de la planta y peso de semilla promedio de progenitores e híbrido de maíz en fertirriego. Chapingo, Edo. de México, 2013-2014.

Nitrógeno	IFM	FM	IFF	FF	AP	PH	PMS
	(días)				(cm)	(kg hL ⁻¹)	(g)
150	68.06c	76.75c	70.75c	78.61c	231.25a	73.13a	330.14a
225	68.81b	77.89b	71.89b	80.08b	219.58b	73.01a	336.08a
300	70.42a	79.64a	73.72a	81.89a	223.81b	73.06a	326.98a
P > F	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.96	0.52
DSH (0.05)	0.45	0.55	0.68	0.59	6.63	1.00	19.33
Años (ciclos agrícolas primavera-verano)							
2013	71.06a	79.81a	73.20a	81.74a	226.63a	74.41a	348.08a
2014	67.13b	76.37b	71.04b	78.65b	223.13a	71.73b	314.05b
P > F	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.12	< 0.01	< 0.01
DHS (0.05)	0.31	0.37	0.46	0.40	4.51	0.68	13.16

Medias con la misma letra en cada columna, dentro de cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$), DSH: diferencia significativa honesta, IFM: inicio floración masculina, FM: floración media masculina, IFF: inicio floración femenina, FF: floración media femenina, AP: altura de planta, PH: peso hectolítrico, PMS: peso de mil semillas.

(Barrón, 2010) y entre 3.0 y 4.0 Mg ha⁻¹ en H-318 con 250N-40P-60K (Vallejo *et al.*, 2008) aplicados al suelo. El híbrido H-70 rindió en promedio 32.16 y 79.35 % más con 150N-60P-30K en fertirriego en comparación con P3646H y H-51 AE con 120N-20P-20K y 300N-90P-90K aplicado al suelo (Araújo *et al.*, 2014; Zamudio-González *et al.*, 2016).

Resultados similares a los obtenidos por Martínez *et al.* (2014), de 35 % más rendimiento en fertirriego en comparación con la aplicación al suelo. En general, la respuesta de los genotipos al N fue similar a lo reportado por Cervantes-Ortíz *et al.* (2013), el progenitor femenino del H-374C disminuyó el rendimiento de semilla en 2.63 y 9.11 % al aumentar la dosis de N de 150 a 250 y 350 kg ha⁻¹.

No hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para peso de la semilla, se observó una ligera tendencia a incrementar peso de mil semillas con la dosis 225 kg N ha⁻¹. Los pesos hectolítrico y de mil semillas (Cuadro 3) están dentro de los parámetros de calidad física señalados por Virgen-Vargas *et al.* (2014) para líneas (promedio 65.33 kg hL⁻¹ y 263.30 g) y por Virgen-Vargas *et al.* (2016b) para cruza simples progenitoras de híbridos de maíz (promedio 64.87 kg hL⁻¹) con fertilización al suelo con 150N-70P-30K; resultados contrarios a los reportados por Haegele *et al.* (2013), al evaluar cruza simples con variantes de N, esto indica que para producir semilla híbrida categoría registrada y certificada, el aplicar 150N-60P-30K a través del riego por goteo es viable para incrementar el rendimiento y calidad de semilla; dosis similares a las reportadas por Fischer y Edmeades (2010) y Mueller y Vyn (2016) para producir grano de maíz.

Condiciones climáticas y su efecto en la producción y peso de la semilla

Para producir semilla de líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de maíz es básico conocer las condiciones climáticas, la respuesta del genotipo (Virgen-Vargas *et al.*, 2014) y las prácticas de manejo (Fischer y Edmeades, 2010). Entre ciclos agrícolas primavera-verano 2013 y 2014 se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para inicio de la floración masculina y femenina, altura de planta, rendimiento y peso de semilla (Cuadro 3, Figura 2), lo que indica que por lo menos una característica fue diferente de un año a otro. En 2013, la precipitación registrada durante el ciclo fenológico del maíz fue de 541.3 mm, menor en 37 % a la ocurrida en 2014 (743.7 mm) con temperaturas promedio similares entre años (19.78 vs. 19.41 °C), pero con 50 % de temperaturas promedio semanales mayores entre 0.05 y 3.21 °C en 2013 (Figura 3). Estas diferencias posiblemente contribuyeron a modificar los días a IFM, IFF, FM, FF, así como AP, rendimiento y peso de semilla de los genotipos. Efectos similares de la

precipitación y la temperatura sobre la productividad y número y aborción de granos en la mazorca de híbridos de maíz fueron observados por varios autores (Haegele *et al.*, 2013; Kovács *et al.*, 2014), mientras que en rendimiento y calidad física de semilla de líneas y cruza simples progenitoras son menores (Arisnabarreta y Solari, 2017; Ghete *et al.*, 2020; Virgen-Vargas *et al.*, 2014; 2016b).

Los días a IFM e IFF, así como FM y FF son parámetros importantes para producir semilla híbrida categorías registrada y certificada para iniciar el desespigue del progenitor hembra y tener sincronía floral entre los progenitores hembra y macho para formar la semilla. Entre ciclos agrícolas primavera-verano, en 2013 se observó mayor número de días para IFM e IFF, así como para FM, FF y AP que en 2014 (Cuadro 3), lo que puede ser atribuido a que durante las etapas de germinación y desarrollo vegetativo de la planta (primeras seis semanas) la temperatura semanal promedio fue mayor entre 0.05 y 3.21 °C y hubo menor precipitación semanal registrada (entre 10.4 y 50.3 mm) en comparación con 2014 (Figura 3), lo que causó estrés a la planta reflejado en menor crecimiento y desarrollo. Entre ciclos agrícolas, en la línea CML-242 y la cruza simple M-55×M-54 se observaron entre 3 y 5, y entre 1 y 2 días en las etapas fenológicas para hoja ligulada 10, floración, grano masoso y madurez fisiológica (Figura 3), atribuidas a la diferencia en precipitación y temperatura. Efectos similares fueron observados por Noriega *et al.* (2011) en líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de maíz QPM en el Bajío, y por Virgen-Vargas *et al.* (2016b) en Valles Altos de México.

El rendimiento de semilla promedio fue 6.52 Mg ha⁻¹, en 2014 fue 3.06 % mayor, y en 2013 2.91 % menor (Figura 2), debido a la mayor disponibilidad de humedad por la precipitación en la etapa de llenado de grano, lo que contribuyó al aumento en la producción. En 2014 hubo 11.5 % más precipitación que 2013 (118.2 mm) a partir de la floración y hasta agosto, y las temperaturas fueron similares (Figura 3). Esto confirma el efecto del ambiente sobre la productividad y calidad física de semilla de líneas (Virgen-Vargas *et al.*, 2014) y de cruza simples hembra progenitoras de maíz (Virgen-Vargas *et al.*, 2016b), lo que resulta útil para determinar dónde, cuándo y cómo establecer un lote de producción de semilla. Situación contraria se observó en el peso hectolítrico y peso de mil semillas; en 2013 los pesos fueron mayores en 3.73, y 10.83 %, respectivamente, en comparación con 2014 (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

La aplicación de 150, 225 y 300 kg N ha⁻¹ a través del agua de riego (fertirriego), distribuidos semanalmente

con base en los requerimientos nutrimentales y en las etapas fenológicas de los progenitores de híbridos de maíz, pueden ser alternativa para producir semilla. El aplicar 225 y 300 kg N ha⁻¹ retrasó la floración masculina y femenina, y aumentó el rendimiento de semilla de líneas y cruza simples progenitoras. Con 300 kg N ha⁻¹ no se incrementa significativamente el rendimiento de semilla en comparación con 150 kg N ha⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, al INIFAP y UACH por el apoyo para la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Araújo E. O., A. C. T. A. Vitorino, F. M. Mercante, D. P. Nunes e S. P. Q. Scalón (2014) Qualidade de sementes de milho em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com bactérias diazotróficas. *Revista Brasileira de Ciências Agrarias* 9:159-165, <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a2695>

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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:619-626, <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i4.1651>

Arisnabarreta S. y F. Solari (2017) Hybrid maize seed production yield associations with inbred line performance in multi-environment trials. *Crop Science* 57:3203-3216, <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.04.0225>

Badu-Apraku B., A. B. Fakorede M., O. Talabi A., M. Oyekunle, C. Akaogu I., O. Akinwale R., ... and M. Aderounmu (2016) Gene action and heterotic groups of early white quality protein maize inbreds under multiple stress environments. *Crop Science* 56:183-199, <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.05.0276>

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. Chilpancingo, Guerrero, México. 65 p.

Cadahia L. C. (1998) *Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 475 p.

Castañeda Z. Y., A. González M., M. Chauvet S. y J. F. Avila C. (2014) Industria semillera de maíz en Jalisco. *Actores sociales en conflicto. Sociológica* 29:241-279.

Cervantes-Ortiz 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. *Agronomía Mesoamericana* 24:101-110 <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9645>

FAO, FIDA y PMA, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

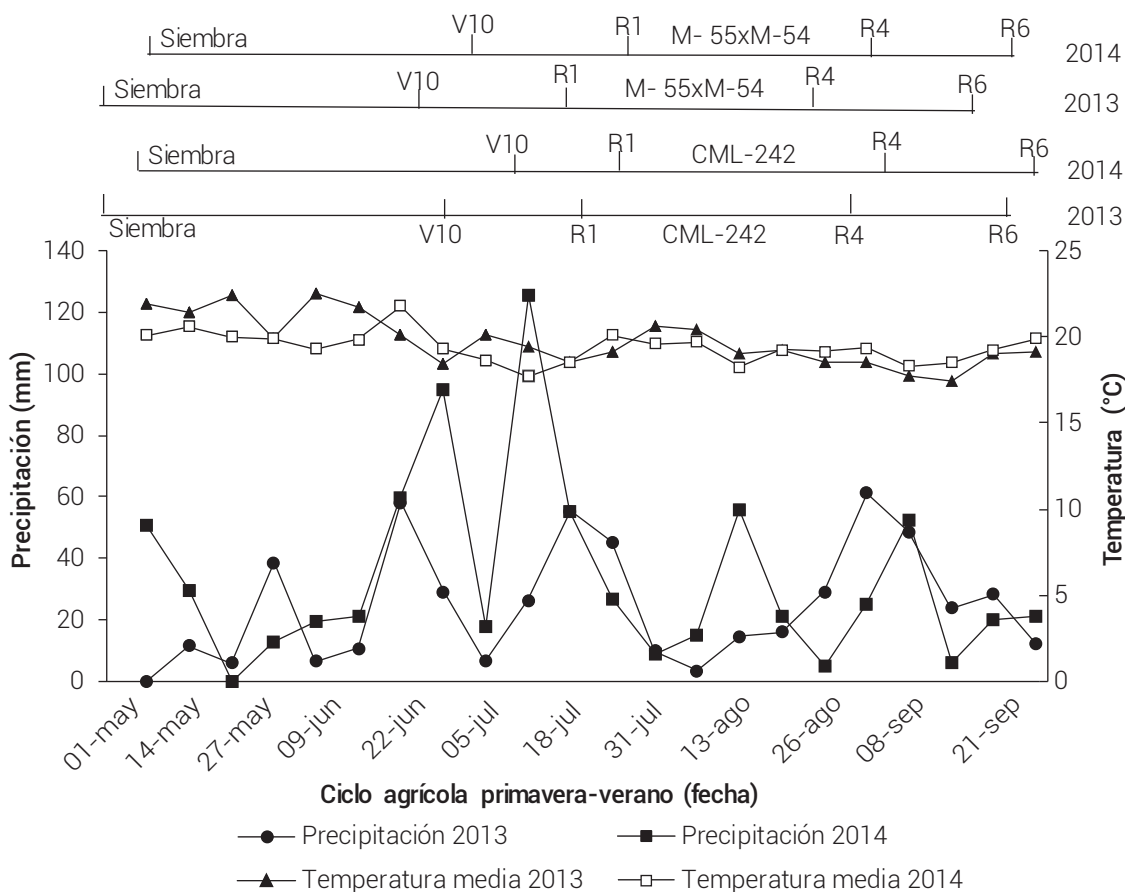


Figura 3. Temperatura y precipitación promedio semanal en 2013 y 2014. Estación Meteorológica Chapingo, Estado de México. En los progenitores CML-242 y M-55xM-54 se muestran los estados fenológicos: V10 (hoja ligulada 10), R1 (floración), R4 (grano masoso), R6 (madurez fisiológica) (Ritchie et al., 1993).

- y la Agricultura, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola y Programa Mundial de Alimentos (2015) El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. 66 p.
- Fischer R. A. and G. O. Edmeades (2010) Breeding and cereal yield progress. *Crop Science* 50:S-85-S-98, <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0564>
- Garnett T., D. Plett, V. Conn, S. Conn, H. Rabie, J. A. Rafalski, ... and B. N. Kaiser (2015) Variation for N uptake system in maize: genotypic response to N supply. *Frontiers in Plant Science* 6:936, <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00936>
- Ghete A. B., V. Has, R. Vidican, A. Copândeian, O. Ranta, C. M. Moldovan, ... and M. M. Duda (2020) Influence of detasseling methods on seed yield of some parent inbred lines of turda maize hybrids. *Agronomy* 10:729, <https://doi.org/10.3390/agronomy10050729>
- Haeghele J. W., K. A. Cook, D. M. Nichols and F. E. Below (2013) Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Science* 53:1256-1268, <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.07.0429>
- Hakeem K. R., B. A. Mir, M. I. Qureshi, A. Ahmad and M. Iqbal (2013) Physiological studies and proteomic analysis for differentially expressed proteins and their possible role in the root of N-efficient rice (*Oryza sativa* L.). *Molecular Breeding* 32:785-798, <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9906-0>
- INPOFOS, Instituto de la Potasa y el Fósforo (1997) Maximice la eficiencia de su fertilizante mediante curvas de absorción de N, P, y K en maíz de grano. *Informaciones Agronómicas* 2:1-4.
- ISTA, International Seed Testing Association (2005) International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 243 p.
- Kamara A. Y., J. G. Kling, A. Menkir and O. Ibikunle (2003) Agronomic performance of maize (*Zea mays* L.) breeding lines derived from a low nitrogen maize population. *The Journal of Agricultural Science* 141:221-230, <https://doi.org/10.1017/S0021859603003514>
- Kovács P., G. E. Van Scoyoc, T. A. Doerge, J. J. Camberato and T. J. Vyn (2014) Pre-plant anhydrous ammonia placement consequences on no-till versus conventional-till maize growth and nitrogen responses. *Agronomy Journal* 106:634-644, <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0356>
- Kuttiappurath J., A. Singh, S. P. Dash, N. Mallick, C. Clerbaux, M. Van Damme, ... and H. Varikoden (2020) Record high levels of atmospheric ammonia over India: spatial and temporal analyses. *Science of the Total Environment* 740:139986, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139986>
- MacRobert J. F., P. S. Setimela, J. Gethi and M. Worku (2014) Manual de Producción de Semilla de Maíz Híbrido. CIMMYT. México, D. F. 36 p.
- Malik W., M. T. Jiménez-Aguirre and F. Dechmi (2020) Coupled DSSAT-SWAT models to reduce off-site N pollution in Mediterranean irrigated watershed. *Science of the Total Environment* 745:141000, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141000>
- Mancera-Rico A., A. Ramírez-Jaspardo, M. R. Venegas-Ordoñez, L. M. Vásquez-Siller y C. A. Villaseñor-Perea (2019) Daño tisular y calidad fisiológica en semillas de maíz sometidas a compresiones equivalentes a ruptura. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:393-403, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.393-403>
- Martínez G. M. A., C. Jasso C., E. S. Osuna C., L. Reyes M., J. Huerta D. y B. Figueroa S. (2014) Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:937-949, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.880>
- Mohammadi A., S. Besharat and F. Abbasi (2019) Effects of irrigation and fertilization management on reducing nitrogen losses and increasing corn yield under furrow irrigation. *Agricultural Water Management* 213:1116-1129, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.007>
- Mueller S. M. and T. J. Vyn (2016) Maize plant resilience to N stress and post-silking N capacity changes over time: a review. *Frontiers in Plant Science* 7:53, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00053>
- Nazir M., R. Pandey, T. O. Siddiqi, M. M. Ibrahim, M. I. Qureshi, G. Abraham, ... and A. Ahmad (2016) Nitrogen-deficiency stress induces protein expression differentially in low-N tolerant and low-N sensitive maize genotypes. *Frontiers in Plant Science* 7:298, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00298>
- Noriega G. L. A., R. E. Preciado O., E. Andrio E., A. D. Terrón I. y J. Covarrubias P. (2011) Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:489-500, <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i4.1635>
- Ritchie S. W., J. J. Hanway and G. O. Benson (1993) How a corn plant develops. Special Report 48. Cooperative Extension Service. Iowa State University. Ames, Iowa, USA. 21 p.
- SAS Institute (2014) SAS/STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5121 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Noviembre 2020).
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (2016) Normales climatológicas por estación. Estado de México. Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex> (Mayo 2021).
- 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. Uruapan, Michoacán, México. 96 p.
- Virgen V. J., R. Zepeda B., J. L. Arellano V., M. A. Ávila P. e I. Rojas M. (2013) Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México* 1:26-32.
- Virgen-Vargas J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-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. *Agronomía Mesoamericana* 25:323-335, <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15439>
- Virgen-Vargas J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-Perches, A. Espinosa-Calderón, J. L. Arellano-Vázquez y A. J. Gámez-Vázquez (2016a) Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 27:191-206, <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21899>
- Virgen-Vargas J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-Perches, I. Rojas-Martínez, A. Espinosa-Calderón y A. J. Gámez-Vázquez (2016b) Desespigamiento en cruza simples progenitoras de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para Valles Altos de México. *Agrociencia* 50:43-59.
- Yan F., F. Zhang, X. Fan, Y. Wang, J. Guo and C. Zhang (2020) Effects of water and nitrogen fertilizer supply on yield and nitrogen absorption and utilization efficiency of spring maize in sandy soil area in Ningxia. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* 51:283-293, <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2020.07.032>
- Zamudio-González B., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, N. Martínez-Rodríguez y A. Turrent-Fernández (2016) Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1077-1089, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.233>