

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE CRUZAS SIMPLES EN MAÍZ

EFFECT OF FOLIAR FERTILIZATION ON YIELD AND SEED QUALITY OF CORN SINGLE CROSSES

Rosalba Zepeda Bautista^{1*}, Aquiles Carballo Carballo¹, Gabriel Alcántar González², Adrián Hernández Livera¹ y J. Arahón Hernández Guzmán³

¹ Programa de Semillas, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36. 5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230. Montecillo, Edo. de México. Tel: 01 (595) 952-0200 Ext. 1555, Fax: 01 (595) 952-0262. Correo electrónico: rze09@yahoo.com. ²Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Tel: 01 (595) 952-0200 Ext. 1188. ³Campus Puebla, Colegio de Postgraduados. Km. 125.5. Carr. Federal México-Puebla. C.P. 72130. Puebla, Puebla. Tel: 01 (222) 285-0013.

* Autor responsable

RESUMEN

Para evaluar el efecto de la fertilización foliar sobre la floración de los progenitores, rendimiento y calidad de semilla de cruas simples en maíz (*Zea mays* L.), se estableció durante el ciclo primavera-verano de 1999 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, un lote de desespigamiento con dos líneas hembra (CL-1 y CL-21) y la línea CL-4 como macho, para formar los híbridos de crusa simple H-14 y H-214. Bajo un diseño de bloques completos al azar, en dos etapas fenológicas se aplicaron los fertilizantes foliares constituidos por macro más micronutrientes, macronutrientes, micronutrientes y miel de abeja. Se midió la floración media, el rendimiento y la calidad física y fisiológica de la semilla; ésta última mediante la prueba de germinación estándar y la de velocidad de emergencia en microtúnel, a dos profundidades de siembra. Los resultados indican que los fertilizantes foliares tuvieron efecto significativo sobre los porcentajes de germinación y de viabilidad, peso seco de parte aérea, de raíz y de plántula, pero no en floración media de los progenitores, ni en rendimiento ni calidad física. La solución con macro más micronutrientes y la de micronutrientes incrementaron en 5 y 4 % el porcentaje de germinación, respectivamente, además de una tendencia a mejorar el vigor de la semilla medido con el porcentaje de establecimiento y peso seco de parte aérea. El factor genético fue importante en la expresión del rendimiento, calidad física, germinación y vigor de la semilla.

Palabras clave: *Zea mays* L., nutrición foliar, germinación, vigor de semilla, peso volumétrico.

SUMMARY

In order to evaluate the effect of foliar fertilization on the flowering date of the progenitors, and on yield and seed quality of corn single crosses (*Zea Mays* L.), during the Spring-Summer season of 1999, a detasseling lot was established at the Colegio of Postgraduados Experimental Station, Montecillo, México. Two female lines (CL-1 and CL-21) and one male CL-4 were planted to produce seed of two single cross hybrids, H-14 and H-214. The experiment was established in a randomized complete block design with foliar fertilizers applied at two growth stages; the foliar fertilizers treatments were: macronutrients and micronutrients, macronutrients, micronutrients and bee honey. Traits evaluated were average flowering date, yield, and physical and physiological seed quality; this

last one by the standard germination test and the emergency rate in two sowing depths in a microtunnel. Foliar fertilizers had a significant effect on germination and viability percentages, aerial biomass dry weight, root dry weight and seedling dry weight; however, the average flowering date progenitors, seed yield and physical quality, were unaffected. Fertilizing with macronutrients and micronutrients and with micronutrients increased the germination percentage by 5 and 4 %, respectively. These treatments also tended to increase seed vigor, measured as present of establishment and as aerial biomass dry weight. The genetic factor was important for seed yield, physical quality, germination and vigor.

Index words: *Zea mays* L., foliar nutrition, germination, seed vigor, volumetric weight.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es la base de la alimentación del pueblo. En 1997 se sembraron 9.13 millones de hectáreas con una producción de 17.66 millones de toneladas (SAGAR-CEA, 1997), que no cubrió el consumo nacional de 23.8 millones, y hubo que recurrir a la importación (INEGI, 1997). Para incrementar la producción es esencial contar con semilla de calidad, con todos los atributos físicos, biológicos, sanitarios y genéticos (Basra, 1995) que aseguren un rápido y uniforme establecimiento del cultivo, y que permitan desarrollar el máximo potencial de rendimiento en diversas condiciones de campo (Dornbos, 1995).

La semilla se procura producir en condiciones óptimas de manejo. Como no existen métodos específicos publicados para la producción de semilla de híbridos o variedades de maíz, se utilizan prácticas culturales del cultivo comercial, con modificaciones (Curtis, 1980). En lo que se refiere a nutrición, de la cual depende, en gran parte, la calidad física y fisiológica de la semilla, es necesario evaluar técnicas que proporcionen los nutrimentos en el momento y cantidad adecuada. Por ello,

la fertilización foliar puede ser una alternativa para incrementar el rendimiento y calidad de semilla mediante la aportación y rápida asimilación de los nutrimentos durante la formación y desarrollo de la

misma, especialmente cuando se produce semilla de cruza simples, cuyos rendimientos son bajos y los costos elevados (Jugenheimer, 1981). Aun cuando la cruza simple se usara como progenitor para producir semilla de cruza doble, su alto valor económico hace rentable un buen manejo para optimizar rendimiento y calidad.

La fertilización foliar utilizada como complemento a la aplicación de fertilizantes al suelo ha permitido incrementar el rendimiento y calidad de los productos. Pérez (1988) señala que la aplicación foliar de NPK en el estado vegetativo del maíz establecido en un suelo andosol de la Sierra Tarasca, incrementó significativamente el rendimiento medio de grano en 13 % con relación al testigo, y en 22 % con la aspersión de NPK + micronutrimentos. Asimismo, Ashoub *et al.* (1996) mencionan que al aplicar una fertilización de 190 a 286 kg N ha⁻¹ más 1 ó 2 aplicaciones foliares de 72 mg L⁻¹ de Zn o de 84 mg L⁻¹ de Mn, y el de ambos en combinación, se incrementó el rendimiento de grano de maíz al aumentar de una a dos las aplicaciones de Zn o Mn, y más aún con una combinación de ambos elementos.

Según Below *et al.* (1985), con la aspersión de urea marcada con ¹⁵N, 7 días antes y 7 días después de antesis, a una dosis de 22.3 kg N ha⁻¹, no hubo diferencias significativas en el rendimiento de grano de maíz con relación al testigo. En este contexto, Trejo (2000) menciona que la aplicación del fertilizante foliar NV4, elaborado con base en calcio, magnesio y potasio, al maíz sembrado en un suelo ácido, incrementó significativamente el diámetro de tallo, la concentración de N y el peso seco, pero no la altura de planta ni el área foliar.

Acerca del efecto de la fertilización foliar en el rendimiento y la calidad de la semilla, Ren *et al.* (1988) señalan que la aplicación foliar de sulfato de zinc 0.2 % en maíz, en el estado fenológico de ocho hojas, incrementó en 18 % el rendimiento respecto al testigo. Asimismo, Espinoza (1994) observó que la aspersión de N al follaje previo a la antesis amplió la duración del periodo de floración en las líneas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) CH-91-767 y CH-91-811, e incrementó la proporción de semilla grande (17, 40 y 16 %) y el rendimiento de la semilla beneficiada (2, 10 y 7 %), con las dosis de 52, 56 y 50 kg N ha⁻¹, mientras que en postantesis, la aplicación de 50 kg de N ha⁻¹ incrementó el rendimiento de semilla en 6 %.

En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) la respuesta a la aplicación foliar de fertilizantes no fue significativa, pero se notó una tendencia a incrementar la calidad fisiológica, siendo ésta mayor con la solución de micronutrimentos, seguida de los macronutrimentos (N, K, P), y finalmente la fórmula completa (solución con macro y micronutrimentos) (Herrera, 1998).

Recientemente la miel de abeja ha sido utilizada como fertilizante foliar y surfactante. Sobre el particular, Rodríguez (1997) señala que su aplicación a 2 % sobre el follaje de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y en el agua de riego (solución Steiner con miel de abeja a 1 %), incrementó notablemente la altura, el área foliar y el vigor de las plántulas. Esto debido a su aportación de carbohidratos (97 %), proteínas, minerales (inferior a 1 %), vitaminas y aminoácidos (Hooper, 1990).

Considerando la escasa información existente en México respecto al uso de la fertilización foliar en la producción de semilla de híbridos y variedades de maíz, los objetivos de esta investigación fueron: 1) Evaluar la respuesta a la aplicación de fertilizantes foliares en dos etapas fenológicas de tres líneas de maíz, en términos del rendimiento, y de la calidad física y fisiológica de la semilla de dos híbridos de cruza simple formados con las líneas y en la semilla de la línea macho; 2) Determinar el efecto de los tratamientos de fertilización foliar sobre los días a floración media de cada uno de los tres progenitores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en la Especialidad de Postgrado en Producción de Semillas del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Se utilizaron las líneas CL-1, CL-21 y CL-4, proporcionadas por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética de la Especialidad; las dos primeras participaron como progenitor femenino y la tercera como progenitor masculino, para formar los híbridos de cruza simple CL-1 x CL-4 y CL-21 x CL-4, a los que en lo sucesivo se les denominará H-14 y H-214, respectivamente. Algunas características importantes de estos materiales genéticos se muestran en el Cuadro 1.

Evaluación en campo

Durante el ciclo primavera-verano de 1999 se estableció un lote de desespigamiento, en suelo franco con pH 7.6, bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con seis repeticiones para la línea CL-1, dos para CL-21 y ocho para CL-4. La unidad experimental

constó de seis surcos de 6.5 m de largo y 0.8 m de ancho, de la que se usó como parcela útil a los dos surcos centrales. Se evaluaron cinco fertilizantes foliares: NV3[®], NV4[®], NV5[®], miel de abeja y Semi-maz[®] (Cuadro 2), aplicados mediante aspersión hasta punto de goteo en la etapa V8 (45 días después de la siembra) y otra en floración media, a las 7:30 horas del día.

Cuadro 1. Características de los materiales genéticos utilizados.

Característica	Genotipo		
	¹ H-14	² H-214	³ CL-4
Origen	Híbrido	Híbrido	Línea
Días a floración ⁴	96.00	86.00	88.00
Rendimiento de semilla (t ha ⁻¹)	3.19	1.56	1.83
Peso volumétrico ⁵ (kg HL ⁻¹)	65.72	71.54	71.66
Peso de mil semillas (gramos)	166.39	322.03	235.08
Porcentaje de germinación	81.00	95.00	76.00

¹H-14=Híbrido de cruz simple (CL-1xCL-4); ²H-214=Híbrido de cruz simple (CL-21xCL-4); ³CL-4=Línea autofecundada; ⁴días después de la siembra, ⁵kg HL⁻¹=kilogramos por hectolitro.

Cuadro 2. Composición química de los fertilizantes foliares asperjados a tres materiales genéticos de maíz. Montecillo, Méx., 1999.

Tratamiento de fertilizante foliar	Composición
NV3 ¹ (macro y micronutrientes a 1 %)	N, P, K, S, Zn, Cu, B, Mn, Fe N, P, K, Ca, S, Mg
NV4 ¹ (macronutrientes a 1 %)	N, S, Mo, B, Mn, Cu, Zn, Fe
NV5 ¹ (micronutrientes a 1 %)	Carbohidratos, proteínas y minerales.
Miel de abeja a 2 %	
Semi-maz ¹ (macro y micronutrientes a 3 L ha ⁻¹)	N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Mo, Cl, Co, Ni

¹NV3, NV4, NV5 y Semi-maz, son marcas registradas.

Se fertilizó el suelo con la dosis 160N-60P-00K, formulada con urea y superfosfato de calcio triple como fuentes de nitrógeno y fósforo, respectivamente. Se aplicó la mitad del nitrógeno (N) y todo el fósforo (P) al momento de la siembra, y el resto del N 40 días después. La siembra fue diferencial entre progenitores, las dos líneas hembras fueron sembradas el 7 de mayo de 1999 y, la línea macho 7 y 12 días después, para asegurar la sincronía en la floración, en una relación 4:2. Se hizo la depuración varietal previo a la floración y se desespigó oportunamente al progenitor femenino. El lote se mantuvo sin malezas y en buenas condiciones de humedad del suelo durante el ciclo de cultivo.

Las variables evaluadas fueron: días a floración femenina y masculina (DF) de los progenitores, considerando los días transcurridos de la siembra hasta 50 % de plantas con estigmas expuestos o espigas con dehiscencia de anteras, respectivamente; el rendimiento de semilla (REN) fue estimado con base en el peso por parcela útil, ajustado a 12 % de humedad y transformado a t ha⁻¹.

Evaluación en laboratorio

En el Laboratorio de Análisis de Semillas se evaluó la calidad física de los genotipos H-214, H-14 y CL-4 en cuanto a peso volumétrico (PV), peso de 1000 semillas (PMS) y porcentaje de semillas plano medio (PPME). Para las dos primeras variables, se utilizó la metodología recomendada por la International Seed Testing Association (ISTA, 1993) y por Hernández (1998); en la tercera variable la semilla se clasificó por forma y tamaño. Para obtener el PPME, la semilla del híbrido H-214 se tamizó con una criba de perforaciones redondas No. 9; la semilla retenida se consideró como plano grande; la que pasó se tamizó nuevamente por la criba de perforaciones redondas No. 8 y la retenida se pasó a través de la criba de perforaciones oblongas No. 5.25; la semilla retenida por esta criba fue considerada plano medio, y la semilla plano chico fue la que pasó ambas cribas. El procedimiento se repitió para H-14 y CL4, en el que se utilizaron diferentes cribas. Finalmente, se pesó cada uno de los tamaños de semilla y se calculó el porcentaje con respecto al peso total. El tamaño de la semilla se definió con base en su anchura y espesor. La semilla plano medio fue: 8 mm + 5.25 mm, 6 mm + 4.25 mm, 7 mm + 4.75 mm para H-214, H-14 y CL4, respectivamente. Esta fue la semilla que se utilizó para la evaluación de la calidad fisiológica.

Para evaluar la calidad fisiológica de la semilla producida por los tres genotipos y los seis tratamientos de fertilización foliar, el 27 de enero de 2000 se hizo una prueba de germinación estándar en laboratorio. La unidad experimental constó de 50 semillas. Se utilizó el método "entre papel" recomendado por la ISTA. La distribución de los tratamientos en la cámara de germinación fue en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Durante la prueba se mantuvieron constantes el nivel de agua y la temperatura a 25 °C. Las variables estudiadas fueron: porcentaje de germinación (PG) con base en el número de plántulas normales; porcentaje de viabilidad (PVI), como la suma de plántulas normales y anormales; peso seco de parte aérea (PSA), de raíz (PSR) y de plántula (PSP) de las plántulas normales, expresadas en gramos por unidad experimental después del secado en estufa durante 72 horas a 70 °C. Las plántulas normales presentan todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, proporcionales y sanas; en las plántulas anormales, alguna de sus estructuras esenciales puede faltar, tener daño irreparable, deforme, estar fuera de proporción o enferma (ISTA, 1993).

Para la prueba de vigor se estableció un experimento con dos profundidades de siembra (5 y 10 cm) en microtúnel, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y un arreglo de tratamientos en

parcelas subdivididas, en donde la parcela principal fue la profundidad de siembra, la parcela mediana se asignó a los genotipos (H-214, H-14 y CL4) y la pequeña correspondió a los tratamientos de fertilización foliar. La unidad experimental fue un surco con 25 semillas. La siembra se hizo el 14 de febrero de 2000, en un almácigo (5.0 m x 2.10 m x 20 cm) con arena de río como sustrato y un espesor de 10 y 15 cm. Se trazaron los surcos a una distancia de 5 cm entre ellos y 90 cm de largo; se sembró la semilla introduciendo el pedicelo en la arena, dejando expuesta la corona; luego se cubrió con una capa de arena de 5 ó 10 cm, se regó y se colocó sobre el almácigo un microtúnel elaborado con metal y plástico semitransparente. Se regó cada tercer día. Las plántulas se extrajeron cuando 80 % de ellas, en cada profundidad, presentaban una hoja ligulada. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de establecimiento (PE) con base en las plántulas normales presentes al final de la prueba, y el peso seco de parte aérea (PSA), en gramos después del secado en estufa durante 72 horas a 70 °C.

A cada uno de los experimentos se le aplicó un análisis de varianza mediante el procedimiento PROC ANOVA del Statistical Analysis System (SAS, 1989), y a las variedades cuyos cuadrados medios resultaron significativos se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a floración y rendimiento de semilla

La aplicación foliar de las distintas formulaciones de fertilizante no tuvieron efecto significativo ($P > 0.05$) sobre la floración media de las líneas progenitoras (Cuadro 3), posiblemente porque los fertilizantes NV3, NV4 y NV5 están elaborados con base en el balance de iones y en los requerimientos nutrimentales del cultivo (Alcántar, 1999¹); de igual modo, Semi-maz está constituido de macronutrientes más micronutrientes y, finalmente, la miel de abeja tiene una concentración de minerales, principalmente K, menor de 1 % (Hooper, 1990). A ello se atribuye el que ninguna solución haya causado un retraso o adelanto en la maduración (Fernández, 1990a). Resultados similares fueron reportados por Espinosa (1994), al aplicar Nitrofoska (5-15-5-0.2 de N, P, K y Mg, respectivamente) sobre el follaje de 25 familias de frijol. En cambio, la aspersión de N en preantesis, am-

plió la duración del periodo de floración en líneas de sorgo (Espinoza, 1994).

Cuadro 3. Cuadrados medios de las variables floración media, rendimiento y calidad física de semilla, resultado de aplicar fertilización foliar a tres genotipos de maíz, en dos etapas fenológicas. Montecillo, Méx., 2000.

F. V.	G. L.	DF	REN	PV	PMS	PPME
	CL-1♀					
						Híbrido H-14
Repeticiones	5	1.23	0.69	1.38	105.63**	32.68**
Tratamiento	5	0.56	0.31	1.88	51.63	18.09
Error	25	1.04	0.36	0.92	48.41	7.50
	CL21♀					
						Híbrido H-214
Repeticiones	1	0.33	0.08	0.78	188.55	229.86
Tratamientos	5	0.33	0.04	0.58	72.46	93.92
Error	11	0.13	0.05	0.87	72.23	97.70
	CL-4♂					
						Línea CL-4
Repeticiones	7	1.43	0.16	0.35	38.26	25.46*
Tratamientos	5	0.95	0.10	0.78	20.81	8.68
Error	35	0.64	0.13	0.72	47.27	10.48

*,** significativo a 5 y 1 % de probabilidad; DF=Días a floración de los progenitores femeninos (CL-1 y CL-21) y masculino (CL-4); REN=Rendimiento de semilla; PV=Peso volumétrico; PMS=Peso de mil semillas; PPME=Porcentaje de semilla plano medio; H-214=Híbrido de cruce simple (CL-21xCL-4); H-14=Híbrido de cruce simple (CL-1xCL-4); CL-4=Línea autofecundada; F.V. = fuente de variación.

La fertilización foliar, utilizada como complemento a la edáfica, tampoco tuvo efecto significativo ($P > 0.05$) sobre el rendimiento de semilla (Cuadro 3), quizá por insuficiencia en la cantidad aplicada de nutrimentos, y a la influencia de factores ambientales sobre la absorción foliar (concentración y pH de la solución, temperatura, humedad relativa, entre otros) y de factores metabólicos de la planta al momento de la aspersión (Marschner, 1995). Además, el rendimiento depende de diversos factores (Austin y Lee, 1998; Tollenaar y Wu, 1999). Esto coincide con lo encontrado por Below *et al.* (1985), al asperjar urea ¹⁵N sobre maíz, 7 días antes y 7 días después de la antesis en suelo arcillo arenoso. Es importante señalar que la respuesta a la fertilización foliar puede depender también de la fertilidad natural del suelo; así, por ejemplo, en un Andosol de la Sierra Tarasca se encontró un incremento en el rendimiento de maíz de 13 y 22 % al asperjar con NPK y NPK + micronutrientes, al comparar con el testigo (Pérez, 1988) y de 18 % al aplicar sulfato de zinc a 0.2 % (Ren *et al.*, 1988). El rendimiento promedio de semilla obtenida de los híbridos H-14 y H-214 fue de 3.19 y 1.56 t ha⁻¹, respectivamente, y en CL-4, 1.83 t ha⁻¹.

Calidad física de la semilla

Ninguno de los fertilizantes foliares utilizados tuvieron un efecto significativo ($P > 0.05$) en las variables de calidad física de la semilla de los tres genotipos (Cuadro

¹ Alcántar González, Gabriel E. Profesor Investigador del Área de Nutrición Vegetal, Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Comunicación personal.

3). Ello posiblemente obedeció a que la aportación de nutrimentos vía foliar pudo ser insuficiente, ya que estos fertilizantes se caracterizan por su baja concentración y menor durabilidad en comparación con la fertilización al suelo (Rodríguez, 1996). Sin embargo, al aplicar NV5 en el híbrido H-14 se observó un incremento de 3 % (Cuadro 4) en la proporción de semilla plano medio (PPME), en relación al testigo. La solución foliar NV5 contiene micronutrimentos que, según Tanji (1990), son de baja disponibilidad en suelos con pH ligeramente alcalinos (7.6) como el del sitio experimental. Las semillas del híbrido H-214 y de la línea CL-4 fueron superiores a las del H-14, en cuanto a calidad física (Cuadro 1), en virtud de sus pesos volumétricos y pesos de mil semillas mayores, que se ubican dentro de los valores recomendados por Fernández (1990b): 70 a 75 kg HL⁻¹ y 250 a 350 g, con un contenido de humedad de 15 %.

Cuadro 4. Comparación de medias para porcentaje de semilla tamaño plano medio del híbrido H-14 con la aplicación de soluciones foliares en dos etapas fenológicas. Montecillo, Méx., 2000.

Tratamientos de fertilización foliar	PPME (%)
NV3	59.91 ab
NV4	62.02 ab
NV5	62.97 a
Miel de abeja	58.08 b
Semi-maz	60.01 ab
Testigo	60.08 ab
DMS	4.87

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, =0.05), DMS=Diferencia mínima significativa, PPME=Porcentaje de semilla tamaño plano medio; NV3= macro y micronutrimentos a 1 %; NV4=macronutrimentos a 1 %; NV5=micronutrimentos a 1 %, miel de abeja a 2 %; Semi-maz=macro y micronutrimentos a 3 L ha⁻¹.

Prueba de germinación estándar

Se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos y entre tratamientos de fertilización foliar para todas las variables estudiadas (Cuadro 5). Esto sugiere que los nutrimentos aplicados vía foliar contribuyeron a mejorar el funcionamiento de la planta, posiblemente con una mayor acumulación de sustancias de reservas en la semilla, mismas que son utilizadas para la germinación. Espinoza (1994), al asperjar N en líneas de sorgo, también logró un incremento de la germinación; en arroz (*Oriza sativa* L.) se logró el mismo efecto con la aplicación foliar de fosfato diamónico a 2 %, sólo o con la combinación de KCl a 1 %, ZnSO₄ a 0.5 % y ácido succínico a 0.1 % (Jayaraj y Chandrasekharan, 1997). En girasol (*Helianthus annuus* L.), la aplicación de Bayfolan forte® no tuvo efecto (Hernández y Carballo, 1988). Entonces, el efecto de la nutrición foliar sobre la germinación de la semilla debe estar en función de las necesidades del cultivo, composición de la solución fertilizante, momento y frecuencia de aplicación, y fertilidad edáfica,

y de otros factores no controlables, como el pH del suelo.

Cuadro 5. Cuadros medios y significancia estadística para las variables de la prueba de germinación estándar. Montecillo, Méx., 2000.

F. V.	G. L.	PG (%)	PVI (%)	PSA (g)	PSR (g)	PSP (g)
Repeticiones	3	1.11	3.26	0.20**	0.02	0.30**
Genotipos (Gen)	2	1926.52**	1905.50**	3.60**	5.00**	16.90**
Tratamientos (Trat)	5	39.20**	26.34**	0.10**	0.04**	0.20**
Gen x Trat	10	15.08**	13.10**	0.03*	0.02*	0.10**
Error	51	6.15	5.62	0.01	0.01	0.04

*, ** significativo a 5 y 1 % de probabilidad; PG=Porcentaje de germinación; PVI =Porcentaje de viabilidad; PSA=Peso seco de parte aérea; PSR =Peso seco de raíz; PSP=Peso seco de plántula.

La interacción genotipo x tratamiento de fertilización foliar (Gen x Trat) fue significativa ($P \leq 0.05$) en todas las variables de la germinación. Es decir, cada genotipo presentó una respuesta diferencial a la aplicación de las distintas soluciones al follaje, en virtud de sus características genéticas particulares. Lo idóneo entonces sería ideal tener una formulación foliar para cada material genético, bajo condiciones específicas de manejo del cultivo y propiedades del suelo. El híbrido H-14 y la línea CL-4 presentaron el mayor porcentaje de germinación (96.75 y 78.56 %, respectivamente) con la aspersión foliar de NV5, mientras que el híbrido H-214 germinó mejor (89.75 %) con Semi-maz; respuesta similar a ésta se presentó con el porcentaje de viabilidad y peso seco de parte aérea.

En todos los casos los genotipos resultaron ser estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$), excepto para viabilidad de la semilla donde H-214 y CL-4 fueron estadísticamente iguales (Cuadro 6). El híbrido H-14 presentó mayor porcentaje de germinación y viabilidad que H-214 y CL-4, lo que indica que es semilla de calidad fisiológica superior, en comparación con los otros genotipos. En peso seco de parte aérea, de raíz y de plántula, el H-214 tuvo el promedio más alto, debido posiblemente a su mayor tamaño de semilla (8 mm + 5.25 mm), en comparación con H-14 y CL-4 (6 mm + 4.25 mm y 7 mm + 4.75 mm, respectivamente). De acuerdo con Wood *et al.* (1977), las semillas de mayor tamaño producen plántulas grandes, por su mayor tamaño de embrión y cantidad de reservas.

El fertilizante foliar Semi-maz mostró los valores promedio más altos, seguido del NV5, ambos estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) y superiores al testigo (Cuadro 6). Esto puede deberse a que sus micronutrimentos fueron rápidamente absorbidos y asimilados por las hojas, toda vez que los elementos menores son componentes de sistemas enzimáticos y catalizadores, que promueven un mayor suministro de nutrimentos a los

órganos de demanda (Salisbury y Ross, 1994), en este caso la semilla, donde se realiza la acumulación de sustancias de reservas utilizadas durante la germinación. En promedio de genotipos, la aplicación foliar de la solución con macro y micronutrientes con Semi-maz y la de micronutrientes con NV5 incrementaron en 5 y 4 % la germinación de la semilla de maíz. La ganancia más significativa se tuvo en el híbrido H-214, con un aumento de 12 y 5 % respecto al testigo (78 % de PG), respectivamente; este híbrido es de bajo porte, la cual podría dar lugar a un menor desarrollo de su sistema radical y una menor eficiencia en la absorción de nutrientes del suelo, de manera que puede aprovechar eficientemente los fertilizantes foliares. Las respuestas menos significativas correspondieron a los genotipos CL-4 y H-14 con un incremento en el porcentaje de germinación de 4 y 2 %, respectivamente, con la aplicación de NV5. Lo anterior muestra que el factor genético es importante en la respuesta a la aplicación de soluciones foliares.

Cuadro 6. Comparación de medias para las variables de la prueba de germinación estándar. Montecillo, Méx. 2000.

	PG (%)	PVI (%)	PSA (g)	PSR (g)	PSP (g)
Genotipos					
H-214	81.33 b	83.41 b	2.24 a	1.53 a	3.78 a
H-14	95.36 a	97.99 a	1.86 b	0.92 b	2.78 b
CL-4	76.09 c	85.06 b	1.47 c	0.64 c	2.11 c
DMS	1.93	1.69	0.09	0.08	0.15
Tratamientos de fertilización foliar					
NV3	84.01 bc	88.45 ab	1.84abc	1.05ab	2.90ab
NV4	83.98 bc	88.75 ab	1.87abc	0.99ab	2.87 ab
NV5	86.02 ab	90.07 ab	1.93 ab	1.09ab	3.02 a
Miel de abeja	81.87 c	87.27 b	1.75 c	0.96 b	2.71 b
Semi-maz	87.38 a	91.13 a	1.96 a	1.09 a	3.06 a
Testigo	82.30 c	87.27 b	1.79 bc	0.97ab	2.76 b
DMS	3.35	2.94	0.16	0.13	0.25

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PG = Porcentaje de germinación; PVI = Porcentaje de viabilidad; PSA = Peso seco de parte aérea; PSR = Peso seco de raíz; PSP = Peso seco de plántula; H-214=Híbrido de cruz simple (CL-21xCL-4); H-14=Híbrido de cruz simple (CL-1xCL-4); CL-4=Línea autofecundada; NV3= macro y micronutrientes a 1 %; NV4=macronutrientes a 1 %; NV5=micronutrientes a 1 %, miel de abeja a 2 %; Semi-maz=macro y micronutrientes a 3 L ha⁻¹.

Vigor de semilla

Se observó un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) de la profundidad de siembra en el porcentaje de establecimiento y peso seco de parte aérea, variables que evalúan el vigor de la semilla, el cual decreció al incrementarse la profundidad (Cuadro 7). Resultados similares fueron reportados por Veera *et al.* (1988), al evaluar en campo el porcentaje de plántulas emergidas a partir de diferentes tamaños de semilla del híbrido de maíz Ganga 5. Entre genotipos también se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en ambas variables.

Hernández (1998), al utilizar la prueba de emergencia de plántula en microtúnel, igualmente detectó diferencias significativas entre genotipos de maíz con características contrastantes. En cambio, no se encontró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de los fertilizantes foliares en el vigor de la semilla, aunque el porcentaje de establecimiento de las plántulas aumentó en 5 % con la aspersión foliar de Semi-maz, que contiene macronutrientes y micronutrientes. Es de suponerse entonces que la dosis de los fertilizantes foliares aplicados no fue suficiente para mejorar significativamente el vigor de la semilla.

Cuadro 7. Cuadrados medios y valor de probabilidad para las variables de la prueba de vigor. Montecillo, Méx., 2000.

F. V.	G. L.	PE	PSA
Repeticiones	3	163.58	1.85*
Profundidad (Prof)	1	6755.91**	2.50**
Genotipo (Gen)	2	6489.18**	50.26**
Tratamiento (Trat)	5	60.96	0.20
Prof x Gen	2	329.97**	2.43**
Error	130	64.10	0.25

*, ** significativo a 5 y 1 % de probabilidad; PE=Porcentaje de establecimiento; PSA=Peso seco de parte aérea.

La interacción profundidad de siembra x genotipo fue altamente significativa ($P \leq 0.01$), lo que muestra que cada material genético responde de manera diferente a la profundidad de siembra. El porcentaje de establecimiento fue mayor en la profundidad de 5 cm para los tres materiales, y disminuyó en 20 %, en promedio, a la profundidad de 10 cm.

El porcentaje de establecimiento y peso seco de la parte aérea de las plántulas resultaron mejores en la profundidad de 5 cm, tratamiento en el que se logró 81.5 % de establecimiento en comparación con 63.1 % a 10 cm (Cuadro 8). Al respecto, Veera *et al.* (1998), al evaluar en campo el porcentaje de plántulas emergidas en diferentes tamaños de semilla del híbrido de maíz Ganga-5, observaron que la semilla de tamaño mediano presentó una reducción de 16.76 a 19.74 % al pasar de 5 a 10 cm de profundidad de siembra. Entre genotipos, el H-14 presentó un establecimiento rápido y uniforme, que resultó estadísticamente mayor al de los genotipos H-214 y CL-4. En cambio, el híbrido H-214 tuvo el mayor peso seco de parte aérea por tener una semilla grande (8 mm + 5.25 mm) en comparación con H-14 y CL-4 (6 mm + 4.25 mm y 7 mm + 4.75 mm, respectivamente); con mayor tamaño de embrión y cantidad de reservas se producen generalmente plántulas vigorosas (Wood *et al.*, 1977). No obstante, las semillas pequeñas también pueden producir plántulas vigorosas, ya que Villaseñor (1984), al evaluar líneas de maíz, encontró que no siempre las plántulas vigorosas provinieron de semillas grandes, pues la relación entre la velocidad y porcentaje de emergencia y el tamaño de la semilla, resultó baja.

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables en la prueba de vigor bajo condiciones de microtúnel. Montecillo, Méx. 2000.

	PE (%)	PSA (g)
Profundidad de siembra		
5 cm	81.50 a	2.34 a
10 cm	63.06 b	2.08 b
DMS	3.79	0.17
Genotipo		
H214	73.92 b	3.13 a
H14	86.83 a	2.39 b
CL4	56.08 c	1.10 c
DMS	5.57	0.25

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PE=Porcentaje de establecimiento; PSA = Peso seco de parte aérea; H-214=Híbrido de cruza simple (CL-21xCL-4); H-14=Híbrido de cruza simple (CL-1xCL-4); CL-4=Línea autofecundada.

CONCLUSIONES

La fertilización foliar con macronutrientes y micronutrientes, al igual que la de micronutrientes, incrementaron significativamente el porcentaje de germinación de la semilla, así como el peso seco de parte aérea, de raíz y de plántula en tres genotipos de maíz.

La aplicación foliar de fertilizantes no tuvo efecto significativo sobre el vigor de la semilla, al incrementar el porcentaje de establecimiento sólo en 5 % con la aplicación de macronutrientes y micronutrientes.

Las diferentes soluciones foliares aplicadas como complemento a la fertilización al suelo en dos etapas fenológicas de líneas de maíz, no tuvieron efecto significativo en el rendimiento y la calidad física de semilla.

Ninguna de las formulaciones de soluciones foliares tuvo un efecto significativo sobre la floración media de los progenitores de híbridos de maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin D F, M Lee (1998) Detection of quantitative trait loci for grain yield and yield components in maize across generations in stress and nonstress environments. *Crop Sci.* 38:1296-1308.
- Ashoub M A, M S Hassanein, A I Abdel, M M Shahin, M N Gohar (1996) Influence of irrigation, nitrogen, zinc and manganese fertilization on yield and yield components of maize. *Ann. Agric. Sci. Cairo* 41(2):697-711.
- Basra A S (1995) Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications. Food Products Press. New York, U.S.A. 389 p.
- Below F E, S J Crafts-Brandner, J E Harper, R H Hageman (1985) Uptake, distribution and remobilization of ¹⁵N labeled urea applied to maize canopies. *Agron. J.* 77:412-415.
- Curtis L D (1980) Algunos aspectos de la producción de semilla de *Zea mays* L. (maíz) en E.U.A. In: Producción Moderna de Semillas. P D Hebblethwaite (ed). Montevideo, Uruguay. 798 p.
- Dornbos L D (1995) Seed vigor. In: Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications. A S Basra (ed). Food Products Press. New York, U.S. A. 389 p.
- Espinosa P H (1994) Rendimiento y calidad de semilla en familias de frijol como respuesta a los factores de densidad de población y fertilización foliar. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.
- Espinoza S F A (1994) Fenología, rendimiento y calidad de semilla de sorgo en respuesta a la poda y a la fertilización foliar. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 85 p.
- Fernández G Y M (1990a) Fertilización. In: Vademecum del Maíz. V C Liñán (ed). Semillas Pacífico. Sevilla, España. pp: 29-56.
- _____ (1990b) Siembra. In: Vademecum del Maíz. V C Liñán (ed). Semillas Pacífico. Sevilla, España. pp: 57-128.
- Hernández G J A (1998) Estudio metodológico para estimar índices de vigor en maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 118 p.
- Hernández L A, A Carballo C (1988) Respuesta del rendimiento y calidad de semilla de girasol al fertilizante y la densidad de población. *Agrociencia* 74:323-332.
- Herrera C C (1998) Condiciones de almacenamiento y su relación con la calidad fisiológica en semillas de frijol producidas bajo diferentes tratamientos de fertilización foliar. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p.
- Hooper T (1990) Las Abejas y la Miel: Guía para el Apicultor. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 300 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1997) Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo I. 500 p.
- ISTA (International Seed Testing Association) (1993) International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 21, Suplement. 288 p.
- Jayaraj T, B Chandrasekharan (1997) Foliar fertilization to enhance seed yield and quality in rice. *Seed Res.* 25(1):50-52.
- Jugenheimer W R (1981) Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Trad. G R Piña. Limusa. México, D. F. 841 p.
- Marschner H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ª. ed. Academic Press Limited. London. pp: 116 -130.
- Pérez I O (1988) Fertilización foliar de macro y micronutrientes en un andosol de la Sierra Tarasca, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 167 p.
- Ren Y Z, A L Wang, N K Feng (1988) A study of optimal application of Zinc to maize. *Shanxi Agric. Sci.* 10: 6-7.
- Rodríguez S F (1996) Fertilizantes: Nutrición Vegetal. AGT. México, D. F. 157 p.
- Rodríguez M M N (1997) Fertilización foliar en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 148 p.
- SAGAR-CEA (Centro de Estadística Agropecuaria) (1997) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. 721 p.
- Salisbury B F, C W Ross (1994) Fisiología Vegetal. Trad. V V González. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F. 759 p.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc. (1989) SAS/SAT User's Guide. Version 6. Fourth Edition. Volumen I. Cary, NC: SAS Institute Inc. 943 p.
- Tanji K K (1990) Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers. New York, U.S.A. 619 p.
- Tollenaar M, J Wu (1999) Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Sci.* 39(6):1597-1604.

- Trejo T L I (2000)** Uso de fertilizantes foliares específicos en la corrección de deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 147 p.
- Veera S N, S H Hussaini, B R Muralimohan, H Savitri, S A Mahboob, K R Anand, K R Srinivasulu, V Padma (1998)** Effect of seed size and various stresses on field performance of maize hybrid Ganga 5. Seed Res. 26 (1):28-33.
- Wood D W, C P Longden, K R Scott (1977)** Seed size variation; its extent, source and significance in field crops. Seed Sci. Tech nol. 5:337-352.
- Villaseñor M H E (1984)** Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 149 p.