

Eficiencia agronómica del fósforo, biomasa y rendimiento de dos variedades nativas de maíz y un híbrido en el centro de México

Agronomic efficiency of phosphorus, biomass and yield of two native varieties of maize and one hybrid in central Mexico

Díaz-López E¹, JM Loeza-Corte², I Brena-Hernández², JM Campos Pastelín², IJ Orlando-Guerrero², G Salgado-Benítez³

Resumen. El valle de Toluca, México, es considerado un valle alto ya que se encuentra a una altura de 2560 msnm. En éste, el maíz es el principal cultivo. Se siembran desde materiales de polinización libre Amarillos, rojos, Azules y harinosos como el Cacahuacintle, hasta materiales híbridos. Su rendimiento se ve afectado negativamente por una inadecuada fertilización a base de fósforo. Dicho nutriente influye directamente sobre el número de nomófilos, flores, frutos y semillas. El objetivo de este estudio fue determinar la biomasa aérea y rendimiento agronómico (kg/ha) de tres cultivares de maíz en función de seis niveles de fósforo en el valle de Toluca, México. Se sembraron los materiales Amarillo Almoloya, Cacahuacintle y Cóndor bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, donde un factor de estudio fueron los cultivares (3), y el otro los seis niveles de fósforo: 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg/ha de P₂O₅. Se tuvo en cuenta que para la zona de estudio se recomiendan 90 kg/ha de P₂O₅. Las variables analizadas fueron: rendimiento, biomasa y eficiencia agronómica del fósforo. Los resultados indicaron que la aplicación de fósforo afectó el rendimiento, la biomasa y la eficiencia agronómica del fósforo positivamente. El cultivar de polinización libre Cacahuacintle fue el que presentó una mejor respuesta en la zona de estudio.

Palabras clave: Polinización libre; Materiales autóctonos; Cacahuacintle; Híbrido.

Abstract. The Toluca's México valley is considered a high valley because it is situated at 2560 m.a.s.l. In this region, maize is the most important crop; free pollination [Yellow, red, blue and flour maize (Cacahuacintle)] and hybrid materials are grown. Corn yield is negatively affected by an inadequate P fertilization. The aim of this study was to determine the agronomic effectiveness of phosphorus in terms of biomass and yield on three cultivars of maize as a function of six levels of phosphorus fertilization in the Toluca's valley, Mexico. The materials Amarillo Almoloya, Cacahuacintle and Cóndor were sown under a completely randomized block design with a factorial arrangement. One of the factors were the cultivars (three), and the other factor were the six levels of phosphorus: 0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha of P₂O₅. Yield, biomass and agronomic efficiency of phosphorus were evaluated. The results indicated that the application of phosphorus affected yield, biomass and agronomic efficiency of phosphorus in a positive way. The free pollination Cacahuacintle was the cultivar that presented a better response to P in the study area.

Keywords: Free pollination; Autochthonous materials; Cacahuacintle; Hybrid.

¹ 1 Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación de la 1 sur No. 1101, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla C.P. 75859.

² Universidad de la Cañada, Carretera Teotitlán-San Antonio Nanahuatipam s/n paraje Titlacuautla, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca.

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto literario No. 100. Colonia Centro, Toluca, México.

Address Correspondence to: Ernesto Díaz-López, e-mail: lernesto@colpos.mx

Recibido / Received 2.II.2013. Aceptado / Accepted 30.VI.2013

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cereal considerado como básico en la alimentación de los pueblos latinoamericanos, y México no es la excepción. Éste fue domesticado por las culturas prehispánicas en los valles centrales de México, actualmente en los estados de México, Oaxaca y Puebla (Muñoz et al., 2001). Restos primitivos de este cultivo que datan aproximadamente de 6250 años fueron encontrados en las cuevas de Guilá Naquitz en Oaxaca y Coxcatlan Puebla México. Esto demuestra el origen geográfico y la importancia que representaba el maíz para estas culturas (Hernández y Santos, 2007). Dentro de sus usos actuales están: alimento para el ser humano, forraje, extracción de almidón, aceite y obtención de bioetanol como carburante para automóviles, lo cual pone en evidencia la gran gama de productos que se pueden obtener de este cultivo (Aguirre et al., 2004; De Boever et al., 2005; Antolin et al., 2009). Por otro lado, el fósforo es un macroelemento que (junto con el nitrógeno) está estrechamente relacionado con el rendimiento de los cultivos. Éste forma parte de macromoléculas como el ADN, fosfolípidos y moléculas de alta energía como ATP (Díaz et al., 2011). Un buen suministro de fósforo incrementa el índice de área foliar (IAF), y como consecuencia la cantidad de radiación interceptada que se transforma en biomasa e incrementa el rendimiento de grano en cereales (Graybill, 1991; González et al., 1998; Tomas et al., 2001; Peña et al., 2002). En México existen una gran variedad de maíces regionales denominados criollos, variedades mejoradas e híbridos, los cuales requieren de paquetes tecnológicos que permitan incrementar el rendimiento y hacer un uso eficiente de los nutrientes. La obtención de esta información contribuiría a evitar gastos innecesarios, cuando se desconocen (1) la dosis óptima de nutrientes que produce la mayor cantidad de grano, y (2) las fertilizaciones excesivas, que pueden ocasionar daños al suelo a mediano y largo plazo (Zubillaga y Lavado, 2002). Dentro de estos nutrientes, el fósforo es uno de los que tiene un fuerte impacto en la repuesta del cultivo de maíz. El objetivo del presente estudio fue determinar la eficiencia agronómica del fósforo, biomasa y rendimiento de tres cultivares de maíz, en función de seis niveles de fósforo en el valle de Toluca, México. La hipótesis planteada fue que los materiales criollos presentan una mejor respuesta a la aplicación de fósforo que el híbrido evaluado, en cuanto a la asignación de biomasa aérea y rendimiento agronómico, y eficiencia agronómica del fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en maíz bajo condiciones de punta de riego, dando un riego hasta alcanzar capacidad de campo antes del surcado, en el Cerrillo Piedras Blancas valle de Toluca, estado de México (19° 24' N, 99° 54' O, 2600 msnm). El suelo tiene las siguientes características: (1) es de tipo vertisol

con un pH de 6,6; (2) 0,30 m de profundidad; (3) 2,6% de materia orgánica; (4) un nivel inicial de fósforo de 5,8 mg/kg [determinado por el método de Bray y Kurtz (1945)]; (5) una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 14,5 Cmol(+)/kg de suelo secado al aire; (6) una conductividad eléctrica (CE) de 0,03 ds/m; (7) niveles de Ca y Mg intercambiables de 5,1 y 15 mg/kg, respectivamente, y (8) saturación de bases de 5,38. El clima es C(w')w₁eg, que corresponde a un clima templado con lluvias en verano, y precipitaciones de 800 a 1250 mm. La temperatura media anual es de 12 °C, con una oscilación de 7 a 14 °C. El mes más cálido antes del solsticio de verano para la zona corresponde a Mayo, y hay sequía intraestival (García, 1986).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo factorial, donde un factor fueron los cultivares (Amarillo Almoloya y Cacahuacintle de polinización libre, además del híbrido Cónдор a una densidad de 7,5 plantas/m²) y el otro factor los niveles de fósforo (P₂O₅) 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg/ha. La fuente fosforada (superfosfato de calcio triple) se aplicó al momento de la siembra. Todo el experimento fue fertilizado con 190 kg/ha de N, y 60 kg/ha de K₂O, cuyas fuentes fueron: urea (46% N) y cloruro de potasio (60% K). La unidad experimental se constituyó de cinco surcos de cuatro metros de largo, con una separación entre hileras de 0,80 m; la parcela útil fueron los tres surcos centrales. Con el objeto de observar diferencias entre las etapas de crecimiento del cultivo, se realizaron cuatro muestreos destructivos a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra (dds) siguiendo el mismo diseño (Escalante y Kohashi, 1993). Se muestrearon 3 plantas de la parcela útil en competencia completa, donde se evaluó biomasa seca (**BS**) solo de la parte aérea. Ésta se calculó separando el material cosechado en hojas, tallos, brácteas e inflorescencias masculinas y femeninas. Dicho material fue secado durante 72 h en una estufa de aire forzado a 70 °C, y posteriormente pesado en una balanza analítica. El rendimiento agronómico (**R**) se evaluó en madurez fisiológica, cuando el grano presentaba una humedad del 13%; esto se efectuó pesando el grano de diez mazorcas, y obteniendo el promedio para expresarlo en g/planta. Se evaluó el peso hectolítrico (**PH**) de grano tomando tres repeticiones: se utilizó un recipiente de 1 litro de capacidad que fue llenado con grano de cada uno de los cultivares, y luego se pesó dicho volumen de grano (g/L). En las mazorcas se midieron su (1) diámetro en cm (**DM**) con ayuda de un vernier, midiendo el diámetro ecuatorial de diez mazorcas (y obteniendo el promedio correspondiente), y (2) longitud en cm (**LM**), midiendo con una cinta métrica 10 mazorcas desde la base hasta la parte apical de la misma (y obteniendo el promedio). El índice de cosecha (**IC**) se calculó por medio de la fórmula $IC = RA / RB$, donde: RA es el rendimiento agronómico, y RB es el rendimiento biológico (Escalante y Kohashi, 1993).

La eficiencia agronómica del fósforo (EAP) se estimó por la ecuación $EAP = (RCP - RSP) / CP$, donde: EAP es la eficiencia agronómica del fósforo aplicado (kg de semilla por kg de

P₂O₅ aplicado), RCP es el rendimiento de semilla con fósforo (kg/m²), RSP es el rendimiento de semilla sin fósforo (kg/m²) y CP es la cantidad de fósforo aplicado (Kakar, 2002). Cuando las pruebas de F del ANOVA resultaron significativas, se les aplicó la prueba de comparación de promedios de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Se utilizó el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico SAS ver. 8.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999-2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el año 2008, la temperatura máxima osciló entre 22 y 30 °C, y la temperatura mínima entre 2 y 7 °C (Fig. 1). Durante el ciclo de crecimiento, la precipitación fue de 1113 mm. La mayor cantidad de lluvia ocurrió en la última decena del mes de Abril con 154 mm, lo que contribuyó a una rápida germinación 12 días después de la siembra (dds) y la primera decena de Julio. Bajo estas condiciones, el cultivo tuvo un desarrollo normal y pudo alcanzar su madurez fisiológica sin problemas.

Rendimiento, peso hectolítrico (g/L), diámetro y longitud de mazorcas (cm) e índice de cosecha. En la Tabla 1 se presenta el análisis de varianza para los factores de estudio, niveles de fósforo (P₂O₅), y cultivares. Hubo diferencias altamente significativas para el factor cultivares en rendimiento, peso hectolítrico y diámetro de mazorcas. Respecto a los niveles de fósforo, las diferencias altamente significativas ocurrieron para rendimiento e índice de cosecha. La interacción solo fue significativa para rendimiento, de modo que se obtuvieron valores confiables para el coeficiente de variación que osciló entre 4 y 23%, respectivamente.

La variedad Cacahuacintle presentó el mayor (p<0,05) rendimiento de grano con 6459,6 kg/ha, la cual superó a los cultivares Cónдор y Amarillo Almoloya, que presentaron un rendimiento estadísticamente igual (p>0,05) con 5597,0 y 5390,8 kg/ha, respectivamente. El mayor (p<0,05) diámetro de mazorca lo presentó Cacahuacintle con 5,85 cm, mientras que Cónдор y Amarillo Almoloya fueron estadísticamente iguales (p>0,05) con 4,39 cm. González et al. (2006) informaron que Cacahuacintle presentó un mayor tamaño de mazorca y granos que los otros cultivares estudiados. El peso hectolítrico fue superior (p<0,05) en los cultivares Cónдор y Amarillo Almoloya con 966,89 y 963,89 g/L, respectivamente. Estos resultados pueden deberse en gran medida al tamaño y la consistencia cristalina del grano en los cultivares Cónдор y Amarillo Almoloya, cuya densidad es mayor que en los granos harinosos como en Cacahuacintle (Narváez et al., 2007). Estos autores mencionaron que maíces con endospermo vítreo, como los amarillos y algunos híbridos, presentan un mayor peso específico y esta característica puede modificar además sus propiedades de pastificado.

Respecto al factor niveles de fósforo, solo hubo diferencias significativas (p<0,05) para rendimiento e índice de cosecha. El máximo rendimiento (7136,7 kg/ha) se presentó con 80 kg/ha de fósforo. Los menores rendimientos se observaron en los niveles alto (200 kg/ha) y bajo (0 kg/ha) de fósforo, cuyos rendimientos fueron de 5139,4 y 4686,7 kg/ha, respectivamente. Estos últimos fueron estadísticamente iguales (p>0,05). El índice de cosecha se comportó semejante al rendimiento, ya que el valor máximo (0,31) correspondió a la dosis de 80 kg/ha de fósforo y los niveles inferiores (0,18 y 0,22) se observaron a 200 y 0 kg/ha, respectivamente, de fertilización. Esto demuestra que el fósforo y el nitrógeno en dosis altas pueden tener un efecto antagónico para el cultivo (Ortega, 1981).

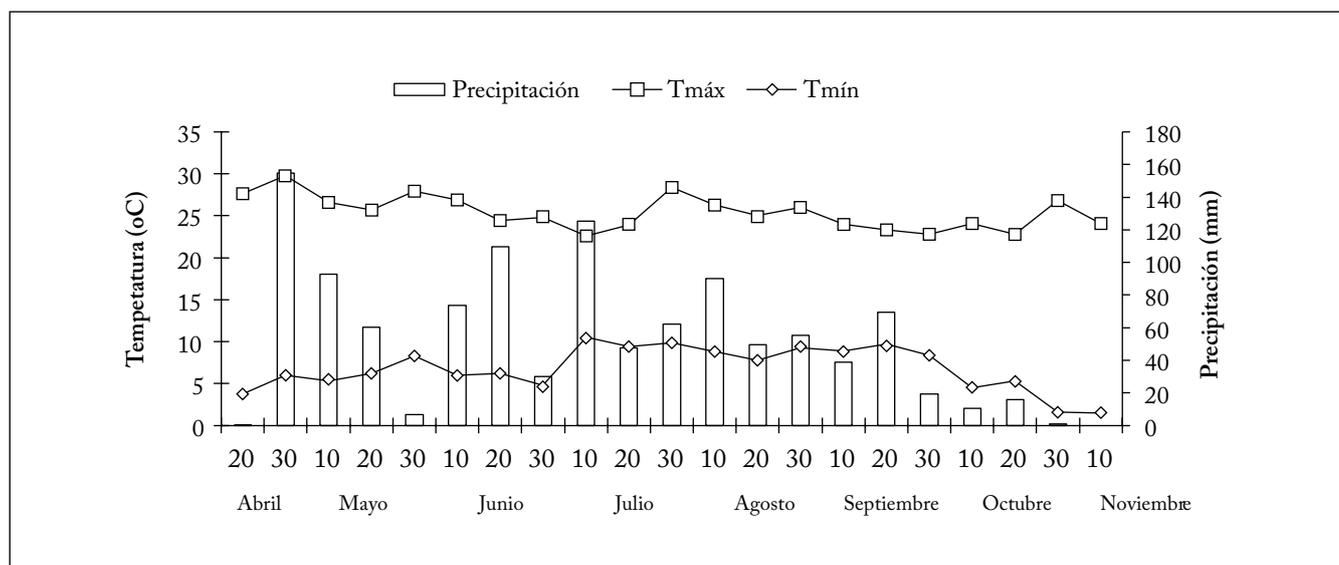


Fig. 1. Temperaturas máxima, mínima, y precipitación en el Cerrillo Piedras Blancas, México, durante 2008.

Fig. 1. Maximum and minimum temperatures, and precipitation in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico, during 2008.

Tabla 1. Rendimiento, peso hectolítrico, diámetro y longitud de mazorcas e índice de cosecha de maíz, en respuesta a tres variedades de maíz y seis niveles de fósforo, en el Cerrillo Piedras Blancas, valle de Toluca, México. Verano 2008.

Table 1. Yield, hectoliter weight, ear diameter and length, and harvest index in corn. Three cultivars and six P fertilization levels were examined in the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico. Summer 2008.

Fuente de Variación	Factor de Estudio	R (kg/ha)	PH (g/L)	DM (cm)	LM (cm)	IC
Fósforo (kg/ha)	0	4686 dz	939,78 a	4,62 a	13,93 a	0,22 b
	40	5523 cd	922,44 a	4,65 a	13,21 a	0,23 b
	80	7136 a	901,78 a	4,82 a	14,12 a	0,31 a
	120	6023 bc	943,78 a	4,90 a	14,44 a	0,24 ab
	160	6384 ab	897,78 a	5,01 a	14,28 a	0,24 ab
	200	5139 d	907,11 a	5,27 a	14,73 a	0,18 b
	DSH	843	64,70	0,68	1,89	0,07
Variedad	Amarillo Almoloya	5390 b	963,89 a	4,39 b	13,56 a	0,24 a
	Cacahuacintle	6489 a	825,33 b	5,85 a	14,50 a	0,23 a
	Cóndor	5597 b	966,89 a	4,39 b	13,70 a	0,23 a
	DSH	484	37,10	0,39	1,08	0,04
Variedades (V)		**	**	**	ns	ns
Fósforo (P)		**	ns	ns	ns	**
C*P		**	ns	ns	ns	ns
CV%		10,10	4,90	9,50	9,80	23,20

**, * Significativo al 0,01 y 0,05%, respectivamente; ns, no significativo; DSH, diferencia significativa honesta; R, rendimiento; PH, peso hectolítrico; DM, diámetro de mazorca; LM, longitud de mazorca; IC, índice de cosecha; CV, coeficiente de variación. z Valores medios de tratamientos seguidos por la misma letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) según Tukey.

**, * Significant at 0.01 and 0.05%, respectively; ns, not significant; DSH, honest significant difference; R, yield; PH, hectoliter weight; DM, ear diameter; LM, ear length; IC, harvest index; CV, coefficient of variation. z Mean values within any column followed by the same letter are statistically equal ($p > 0.05$) after Tukey's test.

La mejor interacción para rendimiento fue la de Cacahuacintle x 80 Kg/ha de P_2O_5 , que produjo un rendimiento de 9195 kg/ha de grano. Este mismo genotipo solo alcanzó un rendimiento de 4553 kg/ha con 0 kg/ha de P_2O_5 . Esto sugiere que Cacahuacintle es más sensible a la fertilización fosfatada que los cultivares Amarillo Almoloya y Cóndor (Tabla 2).

El índice de cosecha osciló entre 0,18 y 0,31, y sólo fue significativo ($p < 0,05$) para el factor nivel de fósforo. La fertilización con 80 kg/ha P superó a los demás tratamientos, obteniendo un IC de 0,31. Esto indica que el 31% de la biomasa correspondió al órgano de interés antropocéntrico, que es el grano. El IC más bajo ocurrió con 200 kg/ha, lo que confirma el efecto antagonístico de los nutrientes a dosis elevadas.

La biomasa de los cultivares en estudio se ajustó a un modelo sigmoideo clásico, donde la fase logarítmica correspondió de los 34 a 63 dds; la fase exponencial, de 63 a 95 dds, y es en estos últimos donde se produjo el punto de inflexión. Es decir, se acumuló la mayor cantidad de biomasa para luego disminuir por la abscisión de nomófilos en la planta (Fig. 2).

La mayor ($p < 0,05$) acumulación de biomasa fue para Cacahuacintle a los 95 dds, con 216,52 g/planta, superando a Amarillo Almoloya y Cóndor quienes fueron estadísticamen-

te iguales ($p > 0,05$) con 173,36 y 132,42 g/planta, respectivamente. La aplicación de 200 kg/ha de P_2O_5 permitió obtener la mayor cantidad de biomasa (212,2 g/planta), mientras que solo se obtuvieron 139,60 g/planta con 0 kg/ha.

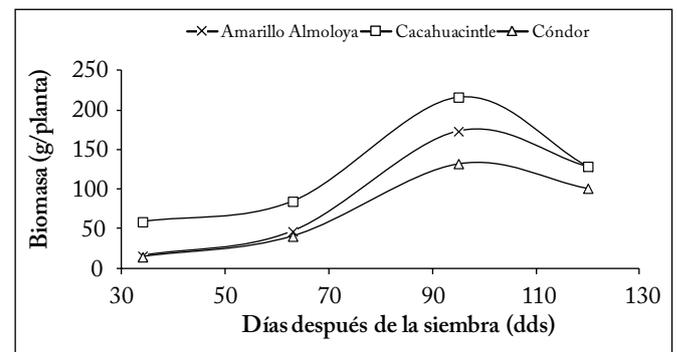


Fig. 2. Biomasa en tres genotipos de maíz a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra, en el Cerrillo Piedras Blancas Valle de Toluca, México. Verano 2008.

Fig. 2. Biomass of three corn genotypes after 34, 63, 95 and 120 days from seeding in the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico. Summer 2008.

Tabla 2. Medias de rendimiento de maíz, en la interacción variedad x fósforo en el Cerrillo Piedras Blancas valle de Toluca, México. Verano 2008.

Table 2. Corn yield in the interaction variety x phosphorus in the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico, Summer 2008.

Interacción	Factor		Rendimiento (kg /ha)
	Variedad	Fósforo (kg /ha)	
P x V	Amarillo Almoloya	200	4620,0 b
		160	6386,6 a
		120	6261,6 a
		80	5370,0 a
		40	4994,6 b
		0	4711,6 b
	Cacahuacintle	200	5311,6 c
		160	6863,0 b
		120	6486,0 b
		80	9195,0 a
		40	6345,0 b
		0	4553,3 d
	Cóndor	200	5486,6 b
		160	5903,3 a
		120	5320,0 b
		80	6845,0 a
		40	5232,0 b
		0	4795,0 b
DSH		988,4	
CV%		10,00	

Valores medios de tratamientos seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) según Tukey. DSH = diferencia significativa honesta; CV = coeficiente de variación; P, fósforo; V, variedad.

Mean values followed by the same letter in the column are statistically equal ($p > 0.05$) after Tukey's Test. DSH = honest significant difference; CV = coefficient of variation; P, phosphorus; V, variety.

Estos datos difieren con los reportados por López et al. (2004). Estos autores mencionaron que la biomasa de maíz fue de 7,85 g/planta a la etapa fenológica de 6 hojas. La diferencia hallada en los resultados obtenidos por estos autores y los nuestros pueden deberse a las diferentes condiciones ecológicas en las que se llevaron los experimentos, y a que los genotipos difieren entre sí.

El análisis de varianza para la eficiencia agronómica del fósforo mostró diferencias altamente significativas para los factores nivel de fósforo y cultivares, y diferencias significativas para la interacción fósforo x cultivar, en relación al coeficiente de variación; este último presentó un valor un poco alto de 26,33% (Tabla 4).

De los cultivares en estudio, Cacahuacintle presentó la mayor eficiencia agronómica del fósforo con 27,39 kg de semilla por kg de P_2O_5 aplicado. Este cultivar superó a Amarillo Almoloya y Cóndor, quienes resultaron ser estadísticamente

iguales ($p > 0,05$) con 12,25 y 10,63 kg de semilla por kg de P_2O_5 , respectivamente. De este modo, Amarillo Almoloya fue 56% menos eficiente en la producción de grano por kilogramo de fósforo aplicado, mientras que Cóndor fue 62% menos eficiente. Estos resultados demuestran que Cacahuacintle es un genotipo que presenta una mejor respuesta a las condiciones de la zona de estudio, razón por la que se atribuye una mayor plasticidad fenotípica a dicho cultivar. En relación a los niveles de fósforo, la mayor eficiencia se apreció en los niveles de 40 y 80 kg de fósforo con una producción de 26,31 y 31,70 kg de semilla por kg de fósforo, respectivamente. Estos últimos resultados fueron estadísticamente iguales ($p > 0,05$). Similarmente, los niveles 120, 160 y 200 kg de P_2O_5 resultaron ser estadísticamente iguales ($p > 0,05$). Los datos presentados en este estudio coinciden con los reportados por Salas et al. (2006), quienes mencionaron una efectividad de la fertilización fosfórica en la producción de grano de 53 y 72%. Estos datos con-

Tabla 3. Biomasa de la parte aérea, para los factores nivel de fósforo y variedad en tres genotipos de maíz a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra en el Cerrillo Piedras Blancas valle de Toluca, México. Verano 2008.

Table 3. Above-ground plant biomass for the study variables (P levels x genotype varieties) after 34, 63, 95 and 120 days from seeding in the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico. Summer 2008.

Fuente de variación	Factor de estudio	dds			
		34	63	95	120
		g/planta			
	0	17,50 d	41,60 bc	139,60 e	107,20 a
	40	19,70 d	47,20 bc	151,30 de	111,00 a
Fósforo (kg/ha)	80	25,20 cd	50,90 bc	159,50 cd	116,20 a
	120	31,90 bc	62,10 b	171,60 c	121,50 a
	160	36,20 b	57,10 bc	190,20 b	135,00 a
	200	46,90 a	84,80 a	212,20 a	126,30 a
	DSH	7,8	17,20	16,4	35,60
Variedad	Amarillo Almoloya	15,71 b	46,70 b	173,36 b	128,40 a
	Cacahuacintle	58,81 a	84,70 a	216,52 a	128,90 a
	Cóndor	14,35 b	40,50 b	132,42 b	101,20 b
	DSH	4,50	9,80	44,60	20,40
Variedad (V)		**	**	**	**
Fósforo (P)		**	**	**	ns
V*P		ns	ns	ns	ns
CV%		18,60	21,10	6,70	20,90

Valores medios de tratamientos seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) según Tukey; DSH = diferencia significativa honesta; CV = coeficiente de variación; dds, días después de la siembra.

Mean values within columns followed by the same letter are statistically equal ($p > 0.05$) after Tukey's Test. DSH = honest significant difference; CV = coefficient of variation; dds, days from seeding.

Tabla 4. Eficiencia agronómica del fósforo (EAP), para los factores nivel de fósforo y variedades en maíz sembrados en el Cerrillo Piedras Blancas valle de Toluca, México. 2008.

Table 4. Agronomic phosphorus efficiency (EAP) for the study variables (P levels, corn varieties) in the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico. 2008

F. V	Fósforo (kg/ha)	EAP (kg de semilla por kg P ₂ O ₅)	Variedad	EAP (kg de semilla por kg P ₂ O ₅)
	40	26,31 a	Amarillo Almoloya	12,25 b
	80	31,70 a	Cacahuacintle	27,39 a
	120	11,38 b	Cóndor	10,63 b
	160	10,54 b		
	200	3,85 b		
DSH		13,99		9,20
Fósforo (P)		**	ns	
Variedad (V)		ns	**	
P*V		*	ns	
CV%		26,33		26,33

** , *significativo al 0,01 y 0,05% de probabilidad de error, respectivamente; ns, no significativo; DSH, diferencia significativa honesta; F.V., fuente de variación; EAP, eficiencia agronómica del fósforo; valores medios de tratamientos dentro de la misma columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) según Tukey.

** , *significant at 0.01 and 0.05% level of probability, respectively; ns, not significant; DSH, honest significant difference; F.V., source of variation; EAP, agronomic efficiency of P; mean values within the same column followed by the same letter are statistically equal ($p > 0.05$) after Tukey's Test.

cuerdan con la efectividad de Amarillo Almoloya y Cóndor, a pesar de que el estudio se realizó en un suelo Ultisol, pero con un pH similar (ácido).

La interacción Cacahuacintle con 40 y 80 kg/ha de P_2O_5 presentó la eficiencia agronómica más alta con 44 y 57 kg de grano por kg de P_2O_5 aplicado, para posteriormente disminuir de los 120 a los 200 kg/ha de fósforo. Esta misma tendencia se observó con los cultivares Amarillo Almoloya y Condor, aunque estos últimos fueron equivalentes no lograron superar estadísticamente a Cacahuacintle (Fig. 3).

CONCLUSIONES

La aplicación de fósforo afectó positivamente al rendimiento e índice de cosecha al aplicar 80 kg/ha de P_2O_5 . El cultivar Cacahuacintle presentó el máximo rendimiento de grano e índice de cosecha al interactuar con 80 kg/ha de P_2O_5 . La eficiencia agronómica del fósforo fue mayor en Cacahuacintle con una aplicación de 40 y 80 kg/ha. A pesar de existir más genotipos (variedades e híbridos), los materiales utilizados en el presente trabajo son los más utilizados por los productores de la región. Debido a las condiciones ecológicas y a la respuesta adecuada del cultivar Cacahuacintle. Se considera que este genotipo es el más recomendado para la zona de estudio, a pesar de ser un material de polinización libre. Esto es debido a su alto rendimiento y capacidad de aclimatarse a la región, es decir, presenta una alta plasticidad fenotípica.

Por otro lado el híbrido Cóndor, a pesar de ser un material recomendado para valles altos como el de Toluca, fue superado por los materiales de polinización libre, Cacahuacintle y Amarillo Almoloya. Estos resultados fomentan realizar más investigación en los materiales nativos respecto a aquellos me-

jorados genéticamente. Además, estos materiales son de gran importancia para el pueblo de México, y forman parte de su cultura y folklore.

Los resultados presentados en esta investigación respecto a la eficiencia del fósforo, repercutirán directamente en la economía de los productores de maíz, que muy probablemente utilizarán la dosis óptima (80 kg/ha P). Esto bajará los costos de los insumos agrícolas, como los fertilizantes fosfatados, logrando así mayores rendimientos de grano.

REFERENCIAS

- Aguirre, C.A., F.J. Solorza, P.L.A. Bello, D.T. Rodríguez, T.J. Alcantar, S.R. González y M.G. Méndez (2004). Efecto del proceso de nixtamalización en la composición química, características térmicas y biodisponibilidad de almidón de híbridos de maíz. *Biotica* 1: 187-197.
- Antolín D., M., M. González R., S. Goñi C., I. Domínguez V. y C. Arriaga G. (2009). Rendimiento y producción de gas *in vitro* de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Técnica Pecuaria en México* 47: 413-423.
- Bray, R. H. y I.T. Kurtz (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil science* 59: 39-45.
- De Boever J.L., J.M. Aerts, J.M. Vanacker y D.L. De Brabander (2005). Evaluation of the nutrition value of maize silage using a gas production technique. *Animal Feed Science and Technology* 124: 255-265.
- Díaz, L.E., R.E.J. Morales, M.O. Franco y L.A. Domínguez (2011). Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. *Terralatinoamericana* 29: 65-72.
- Escalante, E.J.A. y S.J. Kohashi (1993). El rendimiento y crecimiento de frijol, manual para la toma de datos. Centro de Botánica - Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

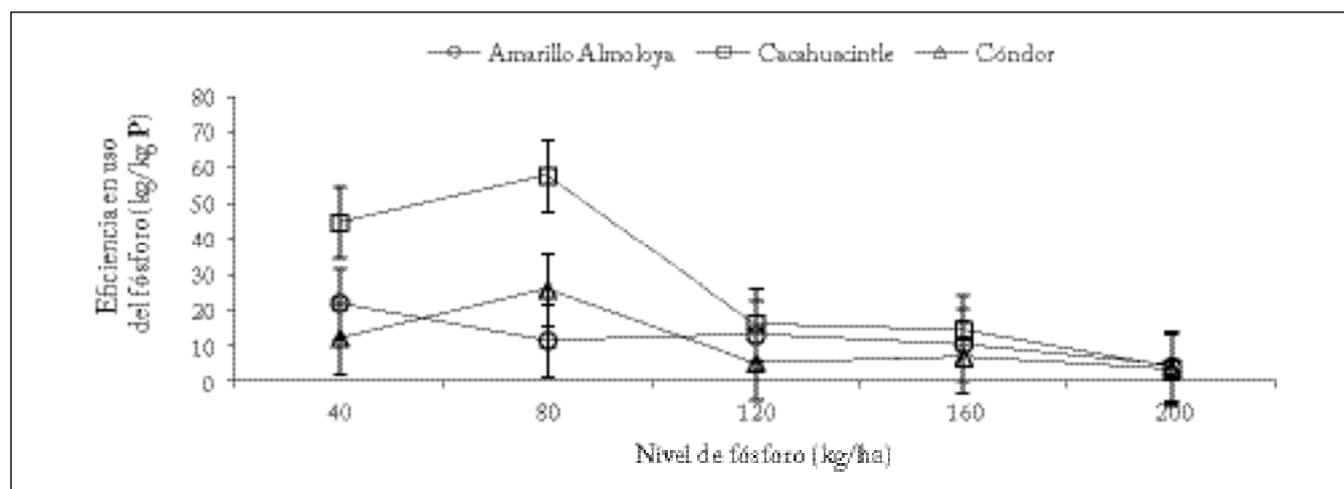


Fig. 3. Interacción variedad x nivel de fósforo, para eficiencia agronómica del fósforo en tres variedades de maíz en un experimento factorial en el Cerrillo Piedras Blancas valle de Toluca, México.

Fig. 3. Variety x P level interaction for P agronomic efficiency on three corn varieties in a factorial experiment at the Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Valley, Mexico.

- García, E. (1986). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. México, D. F.
- González, E.D., B.S. Alcalde, C.J. Ortiz y M.A. Castillo (1998). Dinámica de extracción de fósforo por trigo cultivado en diferentes ambientes. *Agrociencia* 32: 61-69.
- González, H.A., C.J. Sahagún, L.D. Pérez, L.A. Domínguez, C.R. Serrato, F.V. Landeros y C.E. Dorantes (2006). Diversidad fenotípica del maíz cacahuazintle en el Valle de Toluca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 255-261.
- Graybill, J.S., W.J. Cox y D.J. Otis (1991). Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. *Agronomy Journal* 83: 559-564.
- Hernández, T.B. y O.A. Santos (2007). México y su inserción desfavorable en el sistema agroalimentario mundial: el caso del maíz. *Revista de Geografía Agrícola* 38: 19-38.
- Kakar, K.M., F.H. Tariq y K. Nawab (2002). Phosphorus use efficiency of soybean as affected by phosphorus application and inoculation. *Pakistan Journal Agronomy* 1: 49-50.
- López, S.J.A., N.S. Castro, L.C. Trejo, C.M. Mendoza y C.J. Ortiz (2004). Biomasa acumulada e intercambio gaseoso en maíz proveniente de semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida. *Phyton, Revista Internacional de Botánica Experimental* 73: 243-248.
- Muñoz, O.A., S.J.A. Cuevas, V.A. Santacruz, H.I. Olvera y G.O. Taboada (2001). Diversidad de maíz en los nichos ecológicos y culturales de México. *Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica Serie Agroecosistemas* 5: 1-32.
- Narváez, G.E.D., C.J.D. Figueroa, S. Taba, T.E. Castaño y P.R.A. Martínez (2007). Efecto del tamaño del granulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 269-277.
- Ortega, T.E. (1981). Fósforo. En: Química de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 383-386.
- Peña, R.A., H.G. Nuñez y C.F. Gonzales (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria Mexicana* 40: 215-228.
- Salas, A., C. Rivero y E. Casanova (2006). Fuente de fósforo absorbido y efectividad agronómica relativa en el maíz en un ultisol del estado Cojedes, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56: 43-60.
- SAS, Institute (1985). SAS user's guide. SAS Institute. Cary, NC.
- Thomas, E.D., P. Mandebvu, C.S. Ballard, C.J. Sniffer, M.P. Carter y J. Beck (2001). Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, *in vitro* digestibility, and milk yield by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2217-2226.