

# ATENUACIÓN DE LUZ, RADIACIÓN INTERCEPTADA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DEL FÓSFORO

## Light Attenuation Radiation Intercepted, and Yield of Maize as a Function of Phosphorus

Ernesto Díaz-López<sup>2</sup>, Edgar J. Morales-Rosales<sup>1‡</sup>, Omar Franco-Mora<sup>2</sup> y Aurelio Domínguez-López<sup>2</sup>

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto del fósforo en campo sobre el coeficiente de atenuación de luz, índice de área foliar, radiación interceptada y materia seca, se sembraron en el Cerrillo Piedras Blancas México, bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial, los cultivares de maíz: Amarillo Almoloya, Cacahuacintle y Cóndor a seis niveles de fósforo ( $P_2O_5$ ): 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg ha<sup>-1</sup>, y densidad de 7.2 plantas m<sup>-2</sup>. Los resultados indican que el fósforo afectó al rendimiento, índice de área foliar, radiación interceptada, materia seca, y el coeficiente de atenuación de luz, a los 95 y 120 días después de la siembra. La interacción cultivar × fósforo solo fue significativa para rendimiento de grano.

**Palabras clave:** *septómetro, índice de cosecha, ley de Beer.*

### SUMMARY

To evaluate the effect of phosphorus on yield, light attenuation coefficient, leaf area index, intercepted radiation and dry matter, the maize cultivars Amarillo Almoloya, Cacahuacintle and Condor were grown in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico, with six levels of phosphorus ( $P_2O_5$ ) (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha<sup>-1</sup> and density of 7.2 plants m<sup>-2</sup>). Under a randomized block design in a factorial arrangement, the results indicated that phosphorus affects yield, leaf area index, intercepted radiation, biomass and the light attenuation coefficient,

95 and 120 days after sowing. The interaction cultivar × phosphorus was significant only for grain yield.

**Index words:** *septometer, harvest index, law of Beer.*

### INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los cultivos es el resultado de la interacción de múltiples factores, entre los cuales se pueden citar al fenotipo, que es la resultante del genotipo y la interacción genotipo × ambiente (Márquez, 1990), dentro de este ámbito, es la fotosíntesis lo que determina la acumulación de materia seca en un cultivo, en este proceso intervienen factores externos, como la calidad de luz mejor conocida como intensidad y la capacidad del cultivo para interceptarla (Muchow *et al.*, 1993). Dentro de los factores internos que intervienen en este mecanismo, podemos citar los diferentes tipos de autotrofia C3, C4 y CAM (Gimenez *et al.*, 1994; Salisbury y Ross, 1993; Taiz y Zeiger, 1998). Otro aspecto importante que también afecta el rendimiento de grano, son los nutrimentos y entre estos el fósforo es de gran importancia, ya que interviene en la formación del sistema radical de los cultivos, además que forma parte de macromoléculas como el ADN, fosfolípidos, ATP y algunos hidratos de carbono que son importantes para el metabolismo de las plantas (Rodríguez, 1996), por ello cuando este nutrimento falta se afecta el rendimiento, así bajo esta tendencia Cruz *et al.* (2001), al trabajar con triticale (*X Triticosecale* Wittmarck), evaluaron la eficiencia del uso de fósforo y mencionan que el cultivar Stier responde de manera positiva al incremento en la fertilización de este elemento, no así la interacción tipo de suelo × cultivar. Por su parte Morales *et al.* (2007), al aumentar fósforo en el cultivo de girasol, observaron que la materia seca se incrementó significativamente superando al testigo. Asimismo, Andrade *et al.* (1996) mencionan que el índice de área foliar se afecta por la fertilización fosfatada, ya que bajas concentraciones de este nutrimento provocan senescencia prematura en maíz. Guzmán (1994), en este mismo cultivo,

<sup>1</sup> Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100, Col. Centro. 56000 Toluca, estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (ejmorales@colpos.mx)

<sup>2</sup> Programa de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (PCARN). UAEM. Centro Universitario km 15 Carretera Toluca-Ixtlahuaca entronque a Tlachaloya. Apartado Postal 829. Toluca, México.

menciona que el rendimiento puede incrementarse si se aplican 300 a 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en forma de roca fosfórica y que estos rendimientos pueden alcanzar hasta un 80% con respecto al testigo. Por otro lado, el coeficiente de atenuación de luz (k) es un parámetro que relaciona el índice de área foliar por planta y la cantidad de radiación interceptada por la misma. Este coeficiente se basa en la ley de Beer:  $F = 1 - \exp(-k \text{ IAF})$ . Esta expresión ayuda a conocer la cantidad de luz que se extingue, al transmitirse por los estratos inferiores del dosel de la planta. En trabajos realizados bajo esta tendencia, se ha demostrado que valores de 0.7 para coeficiente de atenuación de luz en maíz, se presentan en cultivares cuyas hojas tienen un ángulo planófilo, extinguiéndose así el 70% de luz en los estratos inferiores del cultivo, que parece indicar que solo el 30% de radiación incidente está llegando a los estratos inferiores (Camacho *et al.*, 1995).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de seis niveles de fósforo sobre el coeficiente de atenuación de luz, radiación interceptada así como la materia seca y rendimiento de grano en el cultivo de maíz. La hipótesis planteada fue que la aplicación de fósforo en distintos niveles afecta de manera significativa al rendimiento de maíz así como sus componentes y coeficiente de atenuación de luz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo bajo condiciones de punta de riego, dando un riego pesado hasta alcanzar su capacidad de campo antes del surcado, en el Cerrillo Piedras Blancas estado de México, a 19° 24' N, 99° 54' O y 2600 m de altitud, en un suelo tipo vertisol con un pH de 6.6, 0.30 m de profundidad, 2.6% de materia orgánica y un nivel inicial de fósforo de 5.8 mg kg<sup>-1</sup> determinado por el método de Bray y Kurtz (1945) y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 14.5 cmol(+) kg<sup>-1</sup> de suelo secado al aire, conductividad eléctrica (CE) 0.03 dS m<sup>-1</sup>, calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables 5.1 y 15 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, en un clima Cw<sub>eg</sub> que corresponde a un clima templado, con lluvias en verano y una precipitación de 800 a 1250 mm, temperatura media anual de 12 °C, una oscilación de la misma entre 7 y 14 °C y el mes más cálido antes del solsticio de verano, que para la zona corresponde a mayo. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo factorial, donde un factor de estudio fueron los cultivares Amarillo

Almoloya y Cacahuacintle de polinización libre, además del híbrido Cóndor a una densidad de 7.5 plantas m<sup>-2</sup> y otro factor los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg ha<sup>-1</sup>, cuya fuente fue superfosfato de calcio triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Estos nutrimentos se aplicaron al momento de la siembra. Todo el experimento fue fertilizado con 190 kg ha<sup>-1</sup> de N y 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, las fuentes fueron: urea (46% N) y cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O). La unidad experimental consistió en cinco surcos de 4 m de largo, con una separación 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 4 muestreos destructivos a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra (DDS) siguiendo el mismo diseño (Escalante y Kohashi, 1993), tomando tres plantas de la parcela útil con competencia completa, donde se evaluó: materia seca de la parte aérea (BS) la cual se determinó separando las estructuras del cultivo (hojas, tallos, brácteas, inflorescencias masculinas y femeninas) y sometiéndolas a secado hasta alcanzar peso constante, en una estufa de aire forzado a 70 °C por 72 horas y posteriormente pesando en una balanza analítica dichas estructuras, área foliar (AF) calculada con ayuda de un integrador de área foliar modelo (Li-Cor 3100) y partiendo de esta se estimó el índice de área foliar (IAF) por medio de la ecuación  $\text{IAF} = (\text{AF}) (\text{DP}) / \text{AS}$ , donde: AF es el área foliar, DP es la densidad de población y AS es el área sembrada (Escalante y Kohashi, 1993), radiación interceptada (RI) medida a los 34, 63, 95 y 120 DDS con ayuda de un sensor lineal modelo Li-Cor 191 que mide radiación interceptada en porcentaje y radiación fotosintéticamente activa entre 400 – 700 nm. Para conocer la cantidad de luz que se extingue a través del dosel del cultivo, se determinó el coeficiente de atenuación de luz por medio de la ley de Beer:  $F = 1 - \exp(-k \text{ IAF})$ , donde; F es la fracción de radiación interceptada, K es el coeficiente de atenuación de luz y IAF es el índice de área foliar, los cuales fueron medidos previamente. Las siguientes variables se evaluaron en la cosecha: rendimiento (R) en madurez fisiológica, cuando el grano presentaba una humedad del 13%, pesando el grano de diez mazorcas obteniendo el promedio y expresándolo en g planta<sup>-1</sup>, peso hectolítrico (PH) de grano tomando tres repeticiones, para lo cual se utilizó un recipiente de 1 litro de capacidad, el cual fue llenado en su totalidad de grano de cada uno de los cultivares, para posteriormente, pesar dicho volumen y expresarlo en g L<sup>-1</sup>, diámetro de mazorca (DM) con un vernier se midió el grosor ecuatorial de diez

mazorcas y se obtuvo el promedio, longitud de mazorca (LM) se determinó con ayuda de una cinta métrica, midiendo 10 mazorcas desde la base hasta la parte apical y se determinó el promedio, índice de cosecha cosecha (IC) para estimar este índice se aplicó la fórmula  $IC = RA / RB$ , donde: RA es el rendimiento agronómico y RB es el rendimiento biológico (Escalante y Kohashi, 1993).

A las variables respuesta se les aplicó la prueba de comparación de promedios de la diferencia significativa honesta (DSH) con un nivel de significancia del 5% de probabilidad de error.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta la significancia estadística emanada del análisis de varianza para rendimiento de grano, peso hectolítrico, diámetro de mazorca, longitud de mazorca e índice de cosecha. No hubo diferencias estadísticas entre niveles de fósforo para peso hectolítrico, longitud y diámetro de mazorca, pero sí se registraron diferencias estadísticas significativas para rendimiento de grano. En lo que respecta a cultivares, sólo se observaron diferencias significativas para rendimiento, peso hectolítrico y diámetro de mazorca, pero no para longitud de mazorca e índice de cosecha. En relación a la interacción cultivar  $\times$  fósforo sólo fue significativa para rendimiento de grano.

Al realizar el análisis de comparación de medias para el factor cultivares, el rendimiento más alto lo presentó el cultivar Cacahuacintle con  $6459.6 \text{ kg ha}^{-1}$  quien superó a los cultivares Cónдор y Amarillo Almoloya, los cuales

**Cuadro 1. Análisis de varianza para variables agronómicas rendimiento de grano (R), peso hectolítrico (PH), diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM) e índice de cosecha (IC), en un experimento de respuesta a tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

Fuente de variación	gl	R	PH	DM	LM	IC
Repeticiones	2	ns	ns	ns	ns	ns
Cultivares (C)	2	**	**	**	ns	ns
Fósforo (P)	5	**	ns	ns	ns	**
C $\times$ P	10	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)		10.1	4.9	9.5	9.8	23.2

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; CV = coeficiente de variación.

presentaron un rendimiento estadísticamente similar con  $5597.0$  y  $5390.8 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Esta misma tendencia se observó en la variable diámetro de mazorca donde estos dos genotipos tuvieron un comportamiento similar (Cuadro 2). Los rendimientos obtenidos son relativamente bajos para el sistema de punta de riego, este hecho se atribuye a que los cultivares Cacahuacintle y Cónдор presentaron problemas de acame y *Fusarium*, mientras que el cultivar Amarillo Almoloya registró un rendimiento similar al reportado en la zona de estudio.

El mayor peso hectolítrico se obtuvo en los cultivares Cónдор y Amarillo Almoloya con  $966.89$  y  $963.89 \text{ g L}^{-1}$  superando a Cacahuacintle, que presentó un peso hectolítrico de  $825.33 \text{ g L}^{-1}$ . Lo anterior se debe 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 el Cacahuacintle, esto fue demostrado por Narváez *et al.* (2007) quienes mencionan que maíces con endospermo vítreo como los amarillos y algunos híbridos presentan un mayor peso específico y, a su vez, esta característica puede modificar sus propiedades de pastificado, y otras propiedades funcionales del almidón como: la nixtamalización, gelatinización y retrogradación.

Respecto al factor niveles de P, sólo hubo diferencias significativas para rendimiento e índice de cosecha. El máximo rendimiento ocurrió con  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de P con un rendimiento de  $7136.7 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los rendimientos menores se observaron en los niveles bajo y alto de  $\text{P}_2\text{O}_5$   $0$  y  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  cuyos rendimientos fueron  $4686.7$  y  $5139.4 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, resultando estadísticamente iguales. El índice de cosecha se comportó similar al rendimiento de grano, ya que

**Cuadro 2. Rendimiento de grano, peso hectolítrico y diámetro de mazorca en un experimento de respuesta a tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

Cultivar	Rendimiento de grano	Peso hectolítrico	Diámetro de mazorca
	$\text{kg ha}^{-1}$	$\text{g L}^{-1}$	cm
Amarillo Almoloya	5390 b <sup>z</sup>	963.89 a	4.39 b
Cacahuacintle	6459 a	825.33 b	5.85 a
Cónдор	5597 b	966.89 a	4.39 b
DSH	484	37.1	0.39

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales, según DSH a  $P \leq 0.05$ .

el máximo valor 0.31, correspondió a 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y los niveles inferiores 0.18 y 0.22, correspondieron a 200 y 0 kg ha<sup>-1</sup> del nutrimento (Cuadro 3). Lo anterior sugiere que altos niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (200 kg ha<sup>-1</sup>), cuando el maíz es cultivado en suelos con reacción ácida (vertisoles), presenta un efecto antagonista que se refleja en bajos rendimientos de grano (Zubillaga y López, 1999). En relación a las variables peso hectolítrico, diámetro y longitud de mazorca, el P no tuvo efecto.

La interacción cultivar × P fue significativa para rendimiento de grano (Cuadro 4). Al realizar la prueba de medias para la interacción los valores más altos para el rendimiento se observaron con 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para Cacahuacintle (9195 kg ha<sup>-1</sup>) y Cándor (6845 kg ha<sup>-1</sup>) mientras que Amarillo Almoloya (6386 kg ha<sup>-1</sup>) alcanzó su máximo valor cuando se suministraron 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

En el Cuadro 5 se presenta el índice de área foliar a 34, 63, 95 y 120 DDS para el factor cultivar. En él se aprecia la manera ascendente de este índice en todos los genotipos. En ese sentido, el máximo valor se presentó para Cacahuacintle con 0.23, 1.05 y 3.96 respectivamente, para luego disminuir a los 120 DDS a 3.06. La menor expansión foliar se observó en el cultivar Cándor cuyos valores oscilaron entre 0.19 (34 DDS) a 2.82 (95 DDS) para después descender (2.55) a los 120 DDS. Lo anterior se debe a la arquitectura del dosel que presenta el cultivar Cacahuacintle cuya anchura y longitud de la hoja son relativamente grandes comparada con algunos híbridos (Aceves *et al.*, 2002). En lo que respecta a radiación interceptada (RI), ninguno de los tres genotipos alcanzó el índice de área foliar

**Cuadro 3. Rendimiento de grano e índice de cosecha en un experimento de respuesta a tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rendimiento de grano	Índice de cosecha
----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
0	4686 d <sup>z</sup>	0.22 b
40	5523 cd	0.23 b
80	7136 a	0.31 a
120	6023 bc	0.24 ab
160	6384 ab	0.24 ab
200	5139 d	0.18 b
DSH	843	0.07

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según DSH a  $P \leq 0.05$ .

**Cuadro 4. Rendimiento de grano en la interacción cultivar × fósforo en un experimento de respuesta a tres cultivares de maíz y seis niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Amarillo Almoloya	Cacahuacintle	Cándor
----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
0	4711 b <sup>z</sup>	4553 c	4795 c
40	4994 b	6345 b	5232 b
80	5370 b	9195 a	6845 a
120	6261 a	6486 b	5320 b
160	6386 a	6863 b	5903 a
200	4620 b	5311 c	5486 b
DSH		988	

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según DSH a  $P \leq 0.05$ .

crítico (el cual corresponde al 95% de RI). La mayor RI la logró Cacahuacintle a los 95 DDS 89.3%, seguido de Amarillo Almoloya 84.9% y Cándor con 82.6% (Cuadro 5). Estos resultados fueron consecuencia de un mayor IAF presentado por Cacahuacintle ya que al tener un mayor dosel vegetal este genotipo captó mayor porcentaje de luz. La producción de materia seca presentada por Cacahuacintle a 95 DDS (206.52 g planta<sup>-1</sup>) confirma la relación estrecha entre el IAF y la RI. La menor capacidad de interceptar la radiación incidente mostrada por los cultivares Amarillo Almoloya (173.36 g planta<sup>-1</sup>) y Cándor (132.42 g planta<sup>-1</sup>) redundó en rendimientos menores de materia seca en relación a Cacahuacintle. Tendencias similares a los resultados de esta investigación fueron reportadas por (Escalante y Kohashi, 1982; Vega *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2004) quienes afirman que altas asignaciones de materia seca en los cultivos, se deben a la mayor captación de radiación interceptada debida a la expansión adecuada de las hojas.

El aumento en el suministro de P incrementó significativamente el IAF hasta llegar a un máximo de 3.8 cuando se adicionaron 200 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6). Estos resultados son congruentes con los reportados por Liben *et al.* (2002); Shah *et al.* (2002) y Colomb *et al.* (2000) quienes concluyeron que el P es un elemento que influye directamente en el crecimiento y desarrollo vegetativo modificando positivamente la expansión de la hoja y el IAF.

En todos los muestreos realizados se detectaron diferencias estadísticas significativas para la materia

**Cuadro 5. Índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y materia seca (MS) de tres cultivares de maíz y seis niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

Cultivar	Variable	Días después de la siembra			
		34	63	95	120
Amarillo Almoloya	Índice de área foliar	0.23 b <sup>z</sup>	0.68 b	3.62 b	2.71 b
Cacahuacintle		0.32 a	1.05 a	3.96 a	3.06 a
Cóndor		0.19 c	0.50 c	2.82 c	2.55 b
Amarillo Almoloya	Radiación interceptada (%)	8.33 b	37.7 b	84.9 b	82.9 b
Cacahuacintle		10.38 a	41.3 a	89.3 a	87.1 a
Cóndor		6.05 c	34.2 c	82.6 c	80.2 c
Amarillo Almoloya	Materia seca (g planta <sup>-1</sup> )	15.71 b	46.70 b	173.36 b	128.40 a
Cacahuacintle		58.81 a	84.70 a	206.52 a	128.90 a
Cóndor		14.35 b	40.50 b	132.42 c	101.20 b
DSH <sub>IAF</sub>		0.03	0.09	0.15	0.21
DSH <sub>RI</sub>		1.39	1.7	1.3	1.43
DSH <sub>MS</sub>		4.50	9.80	9.40	20.40

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según DSH a  $P \leq 0.05$ .

seca. Los valores más elevados de materia seca se alcanzaron a los 95 DDS en todos los niveles de P ensayados. Cuando no se suministró este elemento la producción de materia seca fue de 139.6 g planta<sup>-1</sup>. Sin embargo, cuando fueron adicionados 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la producción de materia seca fue de 212.2 g planta<sup>-1</sup> existiendo un incremento de 34.2% con relación al testigo (Cuadro 6). Lo anterior concuerda con lo reportado por autores como Maddonni y Otegui (1996); Shivarumu y Shivashankar (1994) y Sinclair y Muchow (1999) quienes mencionan que la materia seca en los cultivos responde de manera significativa al suministro de P.

El IAF y RI para los tres cultivares se ajustaron a un modelo logarítmico (Figura 1) donde los coeficientes de determinación fueron 0.83, 0.85 y 0.90 para Cacahuacintle, Cóndor y Amarillo Almoloya, respectivamente, de los cuales Amarillo Almoloya presentó el mejor ajuste. El coeficiente de atenuación de luz (k) respecto al tiempo para Amarillo Almoloya se ajustó a un modelo lineal mientras que los cultivares Cacahuacintle y Cóndor correspondieron a un modelo cúbico (Figura 2).

Los coeficientes de atenuación de luz (k), correspondientes al nivel de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a 34, 63, 95 y 120 DDS se presentan en el (Cuadro 7). Las cifras indican diferencias significativas para 95 y 120 DDS. Los k más elevados se alcanzaron con 200, 160 y 120 kg ha<sup>-1</sup>

de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a los 120 DDS con valores de k de 0.71, .70 y 0.74, respectivamente. Esto indica que cuando los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en este estudio oscilaron entre 120 y 200 kg ha<sup>-1</sup> la luz se extingue en un rango de 70 a 74% en el estrato inferior del dosel maíz. Estos datos coinciden con los publicados por Andrade *et al.* (1996) quien reporta que un mayor dosel vegetal es el resultado de plantas bien abastecidas con nitrógeno y P lo que da como resultado que el cultivo intercepte una mayor cantidad de radiación incidente en los estratos medio y superior de la planta.

Los bajos coeficientes de atenuación de luz en testigo y niveles bajos de P (entre 59 y 62%) son el resultado de una nutrición inadecuada con P lo que impide que el cultivo desarrolle un buen dosel vegetal (Zubillaga y López, 1999).

Con respecto al factor cultivares, los k presentaron diferencias significativas a los 95 y 120 DDS, alcanzando los valores más altos a 120 DDS y se obtuvieron con los cultivares Amarillo Almoloya y Cacahuacintle con 0.66 y 0.68, mientras que el valor bajo correspondió a Cóndor con 0.64 (Cuadro 8). Estos resultados se atribuyen a la forma arqueotípica de los materiales criollos que presentan las hojas en un ángulo recto con respecto al vástago interceptando una mayor cantidad de radiación en el estrato superior del cultivo, caso contrario con las hojas erectófilas de algunos híbridos como Cóndor (ángulos agudos) lo que permite que la radiación penetre

**Cuadro 6. Índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI), Materia seca (MS) en un experimento de respuesta a tres cultivares de maíz y seis niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a los 34, 63 y 95 días después de la siembra (DDS), en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Variable	Días después de siembra		
		34	63	95
0	Índice de área foliar	0.18 d <sup>z</sup>	0.59 c	3.10 c
40		0.20 cd	0.71 bc	3.10 c
80		0.25 bc	0.71 bc	3.40 b
120		0.28 ab	0.75 bc	3.50 b
160		0.30 a	0.77 b	3.60 ab
200		0.28 ab	0.95 a	3.80 a
0		Radiación interceptada (%)	7.40 a	33.80 c
40	7.80 a		35.50 bc	82.70 bc
80	8.10 a		38.40 ab	84.50 b
120	8.20 a		38.50 a	87.60 a
160	8.30 a		39.60 a	87.80 a
200	9.50 a		40.60 a	88.90 a
0	Materia seca (g planta <sup>-1</sup> )		17.50 d	41.60 bc
40		19.70 d	47.20 bc	151.3 de
80		25.20 cd	50.90 bc	159.50 cd
120		31.90 bc	62.10 b	171.60 c
160		36.20 b	57.10 bc	190.20 b
200		46.90 a	84.80 a	212.20 a
DSH <sub>IAF</sub>		0.05	0.15	0.26
DSH <sub>RI</sub>	ns	2.90	2.20	
DSH <sub>MS</sub>	7.80	17.20	16.40	

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales, según DSH a  $P \leq 0.05$ .

**Cuadro 7. Coeficiente de atenuación de luz (k) de tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo a los 95 y 120 días después de la siembra en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Coeficiente de atenuación de luz	
	Días después de la siembra	
	95	120
0	0.55 b <sup>z</sup>	0.60 b
40	0.55 b	0.59 b
80	0.54 b	0.62 b
120	0.61 a	0.74 a
160	0.58 a	0.70 a
200	0.60 a	0.71 a
DSH	0.03	0.04

\*\*, \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales, según DSH a  $P \leq 0.05$ .

en mayor cantidad al estrato inferior. Estos valores coinciden con los encontrados por Camacho *et al.* (1995) quienes mencionan que valores altos en el coeficiente de atenuación de luz se presentan en cultivares criollos debido a su arquitectura que presentan hojas planófilas en el primer estrato de la planta captando más luz que los híbridos.

## CONCLUSIONES

- El fósforo es un macroelemento que afecta de manera significativa al rendimiento de grano, el diámetro de mazorca, índice de cosecha y coeficiente de atenuación de luz en los tres cultivares de maíz en estudio, siendo Cacahuacintle y Amarillo Almoloya los que respondieron mejor a la adición de este elemento.

- Con el suministro de 120, 160 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se incrementaron el índice de área foliar, radiación

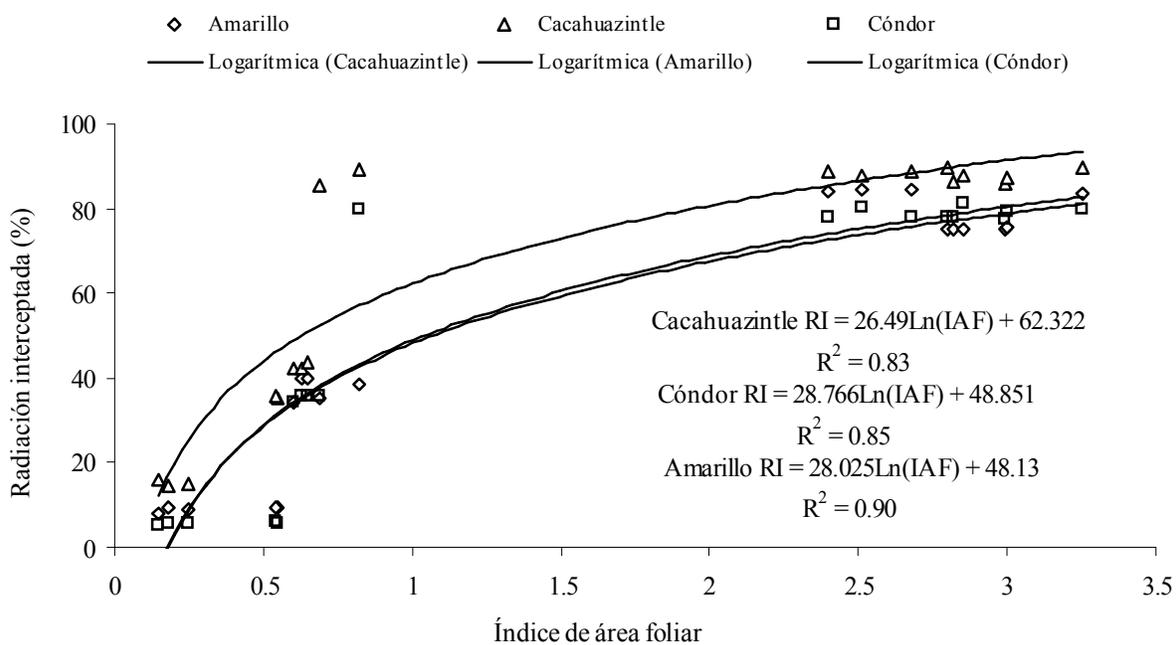


Figura 1. Relación entre radiación interceptada e índice de área foliar considerando cuatro fechas de muestreo, para los cultivares Amarillo Almoloya, Cacahuacintle y Cándor; RI = radiación interceptada, IAF = índice de área foliar. Verano 2008.

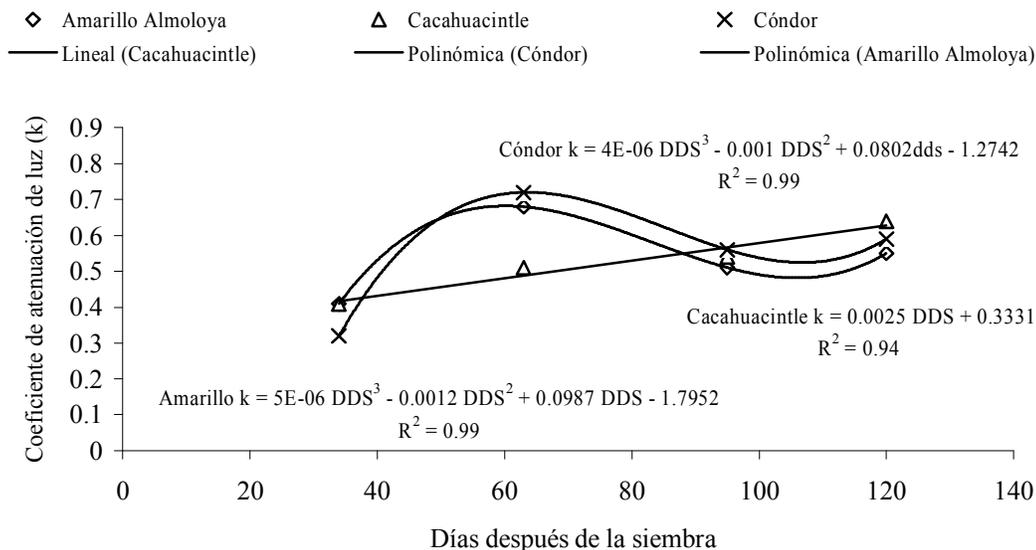


Figura 2. Variación del coeficiente de atenuación de luz respecto al tiempo para tres cultivares de maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.

**Cuadro 8. Coeficiente de atenuación de luz de tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo a 95 y 120 días después de la siembra en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2008.**

Cultivar	Coeficiente de atenuación de luz	
	Días después de la siembra	
	95	120
Amarillo Almoloya	0.52 c <sup>z</sup>	0.66 b
Cacahuacintle	0.57 b	0.68 a
Cóndor	0.62 a	0.64 c
DSH	0.093	0.019

\*\* , \* significativo al 0.01 y 0.05 de probabilidad de error respectivamente; ns = no significativo; DSH = diferencia significativa honesta; <sup>z</sup> medias de tratamientos dentro de la misma columna son estadísticamente iguales, según DSH a  $P \leq 0.05$ .

interceptada, materia seca del cultivo, así como el coeficiente de atenuación de luz.

- Por su arquitectura foliar (hojas planófilas) el híbrido Cóndor mostró el valor más bajo de coeficiente de atenuación de luz en relación a los materiales de polinización libre (criollos) Amarillo Almoloya y Cacahuacintle.

- El mayor peso hectolítrico se observó en los maíces con endospermo cristalino como Amarillo Almoloya y Cóndor.

## LITERATURA CITADA

- Andrade, F., A. Cirilo., S. Uhart y M. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo del maíz. Ed. La Barrosa, Buenos Aires, Argentina.
- Aceves R., E., A. Turrent F., J. I. Cortés F. y V. Volke H. 2002. Comportamiento agrónomico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el valle de Puebla. Rev. Fitotec. Mex. 25: 339-347.
- Bray, R. H. and I. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Camacho, R. G., O. Garrido y M. G. Lima. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.), en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz. Sci. Agric. 52: 294-298.
- Colomb, B., J. R. Kiniry, and P. Debaeke. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of fields grow maize. Agron. J. 92: 428-435.
- Cruz F., G., J. L. Tirado T., G. Alcántar G. y J. A. Santizo R. 2001. Eficiencia de uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. Terra 19: 47-54.
- Díaz O., A. C., J. A. Escalante E., A. Trinidad S., P. Sánchez G., C. Mapes S. y D. Martínez M. 2004. Rendimiento, eficiencia agrónomico del nitrógeno y eficiencia en el uso de agua en amaranto en función del manejo del cultivo. Terra Latinoamericana 22: 109-116.
- Escalante E., J. A. 1998. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra 17: 149-157.
- Escalante E., J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento de frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Escalante E., J. A. y J. Kohashi S. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol. (*Phaseolus vulgaris* L.) Agrociencia 48: 29-38.
- Gimenez, C., D. J. Connor, and F. Rueda. 1994. Canopy development, photosynthesis and radiation – use efficiency in sunflower in response to nitrogen. Field Crops Res. 38: 15-27.
- Guzmán E., C. 1994. Evaluación de la roca fosfórica en *Zea mays* L. en la costa de Jalisco, México. Terra. 12: 74-78.
- Liben, M. T., Tadesse and A. Assefa. 2002. Determination of nitrogen and phosphorus fertilizer levels in different maize-faba bean intercropping patterns in northwestern Ethiopia. pp. 513-518. In: D. K. Friesen and A. F. E. Palmer (eds.). Seventh eastern and southern Africa regional maize conference. CIMMYT/KARI. Nairobi, Kenya.
- Maddonni, G. A. and M. E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception and crop development in maize. Field Crops Res. 48: 81-87.
- Márquez S., F. 1990. Genotecnica vegetal. Tomo I. Métodos, teoría y resultados. AGT. México. D. F.
- Morales R., E. J., J. A. Escalante E. y J. A. López S. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) – frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. Ciencia ergo sum. 14: 177-183.
- Muchow, R. C., M. J. Robertson, and B. C. Pengelly. 1993. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. Field Crops Res. 32: 1-15.
- Narváez G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba, E. Castaño T. y R. A. Martínez P. 2007. Efecto del tamaño del granulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. Rev. Fitotec. Mex. 30: 269-277.
- Rodríguez S., F. 1996. Fertilizantes: nutrición vegetal. AGT. México, D. F.
- Shah, K. H., M. Y. Memon and S. H. Siddiqui. 2002. Effect of placement and broadcast application of N and P in cotton-mungbean intercropping system. Asian J. Plant Sci. 1: 34-36.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F.
- Shivarumu, H. S. and K. Shivashankar. 1994. A new approach of canopy architecture in assessing complementary of intercrops. Indian J. Agron. 39: 179-187.
- Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron. 65: 215-265.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA.
- Vega M., R., J. A. Escalante E., P. Sánchez G., C. Ramírez A. y E. Cuenca A. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. Terra 19: 75-81.
- Zubillaga, M. S. and J. C. López G. 1999. Soil phosphorus mobilization in different soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162: 201-205.