

Efectos de la fertilización con P sobre la duración del área foliar acumulada, biomasa y rendimiento de tres cultivares de maíz en Toluca, México

Fertilization effects with P on accumulated leaf area duration, biomass and yield of three cultivars of maize in Toluca, Mexico

Díaz López E¹, A Morales Ruíz¹, EJ Vargas Ramírez¹, P Hernández Herrera¹, RC Reséndiz Melgar¹, I Brena Hernández², JM Loeza Corte²

Resumen. Se determinó el efecto de seis niveles de fósforo (0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg/ha) sobre la duración del área foliar acumulada, biomasa y rendimiento agronómico en los cultivares de maíz: Amarillo Almoloya, Cacahuacintle y Cóndor en los años 2010 y 2011. Dichos cultivares fueron sembrados en el Cerrillo Piedras Blancas México. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial. Niveles altos de fósforo (120, 160 y 200 kg/ha) afectaron de manera positiva la duración del área foliar acumulada; los mayores valores de dicha variable se presentaron en Cacahuacintle. Además, una mayor duración del área foliar acumulada contribuyó a determinar altos valores de acumulación de biomasa y rendimiento de grano en este cultivar. La duración del área foliar pareció entonces constituir un parámetro útil para evaluar diferentes genotipos en un ambiente determinado.

Palabras clave: Cultivares; Biomasa; Rendimiento; Polinización libre; Maíz; Área foliar; Fósforo.

Abstract. The effect of six phosphorus levels (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg/ha) on the duration of cumulative leaf area, biomass and agronomic yield was determined in the maize cultivars: Amarillo Almoloya, Cacahuacintle and Condor in 2010 and 2011. Such cultivars were sown in the Cerrillo Piedras Blancas Mexico. A completely randomized complete block design with factorial arrangement was utilized. High phosphorus levels (120, 160 and 200 kg/ha) positively affected the duration of cumulative leaf area; greatest values were obtained in Cacahuacintle. A greater duration of accumulated leaf area contributes to determine high values of biomass accumulation and grain yield in this cultivar. Leaf area duration appeared to be a useful tool for evaluating different genotypes in a given environment.

Keywords: Cultivars; Biomass; Yield; Free pollination; Maize; Leaf area; Phosphorus.

¹Ingeniería en Agricultura Sustentable y Protegida, Universidad Tecnológica de Tehuacán. Prolongación de la 1 sur, No. 1101 San Pablo Tepetzingo, Tehuacán Puebla, México. C.P. 75859.

²Ingeniería en Agroindustrias, Universidad de la Cañada. Carretera Teotitlán San Antonio Nanahuatipam s/n, México.

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

Recibido / Received 28.VIII.2014. Aceptado / Accepted 18.X.2014.

INTRODUCCIÓN

El maíz y el frijol son considerados básicos en la alimentación de muchos pueblos latinoamericanos. El rendimiento de estos cultivos, en particular el maíz, se ve afectado por diferentes factores ambientales (por ejemplo: radiación solar; precipitación pluvial; temperatura; nutrición mineral a base de nitrógeno, fósforo y potasio). En este sentido, el fósforo junto con el nitrógeno, son macroelementos que influyen de manera significativa en el rendimiento (Rodríguez, 1996; Reta et al., 2007; Serna et al., 2011). Un uso eficiente de nutrimentos y prácticas agronómicas (por ejemplo, arreglos topológicos y selección de genotipos adecuados) puede mantener una superficie fotosintéticamente activa por mayor tiempo (es decir, una mayor duración del área foliar, DAF) (Ogbomo y Ogbomo, 2009). Muchow y Davis (1988), Escalante (1999) y Morales et al. (2007) demostraron que las aplicaciones de nitrógeno y fósforo incrementan al área foliar y *per se* la duración de la misma. Esto determina una mayor producción de biomasa y granos. El rendimiento, como variable cuantitativa, es quizá el aspecto más importante que se ha tomado en cuenta en las plantas de cultivo, y es el resultado de varios componentes como por ejemplo el número de granos por metro cuadrado o por hectárea. Dicha producción depende principalmente de un buen suministro de nitrógeno y fósforo. El fósforo (P) forma parte de macromoléculas como ácidos nucleicos, fosfolípidos, e interviene en el metabolismo de los carbohidratos y de moléculas de alta energía como el ATP. Estas últimas son la principal fuente de energía para los seres vivos incluidas las plantas. Debido a esto es importante que los cultivos tengan un buen suministro de P para un adecuado funcionamiento metabólico, el cual va a repercutir positivamente en el cultivo.

El objetivo principal de la presente investigación fue cuantificar la duración del área foliar acumulada, biomasa y su efecto sobre el rendimiento de maíz bajo seis niveles de fósforo en Toluca Estado de México.

Se planteó la hipótesis de que la fertilización con P incrementa significativamente la duración del área foliar acumulada, biomasa y rendimiento en los materiales de polinización libre e híbrido en estudio, bajo las condiciones ecológicas de Toluca, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en maíz en 2010 y 2011 bajo distintos niveles de riego. Se efectuó un riego hasta alcanzar la capacidad de campo antes del surcado, en el Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México (19° 24' N, 99° 54' O, 2600 m.s.n.m.) El tipo de suelo fue vertisol en proceso de formación [pH=6,6; 0,30 m de profundidad; 2,6% de materia orgánica; un nivel inicial de fósforo de 5,8 mg/kg determinado por el método de Bray y Kurtz, y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 14,5 Cmol(+)/kg de suelo secado al aire]. El clima es templado [Cw₁(w)eg], con un período de lluvias

de Junio a Septiembre y la presencia de sequía intraestival. La precipitación es de 800 a 1250 mm, y la temperatura media anual de 12 °C. Esta última oscila entre 7 y 14 °C. El mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano, que para la zona corresponde a Mayo (García, 2005). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo factorial (3 genotipos x 6 niveles de fertilización). Los cultivares fueron Amarillo Almoloya y Cacahuacintle de polinización libre, además del híbrido Cóndor a una densidad de 7,5 plantas/m². Se utilizaron 6 niveles de fósforo (P₂O₅; 0; 40; 80; 120, 160 y 200 kg/ha) cuya fuente fue superfosfato de calcio triple. Estos nutrimentos se aplicaron al momento de la siembra. Todo el experimento fue fertilizado con 190 kg/ha de N y 60 kg/ha de K₂O. Se utilizó urea (46% N) y cloruro de potasio (60% K). La unidad experimental fue de cinco surcos de cuatro metros de largo, con una separación de 0,80 m entre ellos. La parcela útil fueron los tres surcos centrales. Se realizaron cuatro muestreos destructivos a 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra (dds) con el objeto de observar diferencias entre las etapas de crecimiento del cultivo, siguiendo el mismo diseño experimental (Escalante y Kohashi, 1993). Para ello se tomaron 3 plantas de la parcela útil en competencia completa, donde se evaluaron: el área foliar (AF), la densidad de población (DP), el área sembrada (AS), biomasa seca (BS) y rendimiento (R). El AF se midió con un integrador de área foliar modelo (Li - cor 3100). Se calculó el índice de área foliar (IAF) por medio de la ecuación IAF = (AF) (DP) / AS. Con el IAF se determinó la duración del área foliar (DAF), dada por la relación DAF =

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{(IAF1 + IAF2)(T2 - T1)}{2} \right)$$

Donde IAF1, IAF2, son los índices de área foliar para los tiempos T1 y T2, respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993). La biomasa de la parte aérea se efectuó separando las estructuras del cultivo (hojas, tallos, brácteas, inflorescencias masculinas y femeninas). Las mismas se secaron hasta alcanzar peso constante en una estufa de aire forzado a 70 °C, por 72 horas; posteriormente, dichas muestras se pesaron en una balanza analítica. El R se evaluó en madurez fisiológica, cuando el grano presentó una humedad del 13%; se pesó el grano de diez mazorcas para obtener el promedio y expresarlo en g/planta.

A las variables respuesta, se les aplicó la prueba de comparación de promedios de Tukey, a un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS

Elementos del clima. En la Figura 1 se presentan variables climáticas para el año 2010. Se puede apreciar que la temperatura máxima osciló entre 22 y 30 °C, mientras que la temperatura mínima lo hizo entre 2 y 7 °C. La precipitación fue de 1113 mm durante el ciclo de crecimiento. La mayor can-

tividad de lluvia ocurrió en la última decena de Abril con 154 mm, los cuales contribuyeron a una rápida germinación de las semillas 12 días después de su siembra (dds). En la primer decena de Julio, se aplicó una lámina de riego de pre-siembra de 150 mm, teniendo un total de agua (precipitación natural + riego) de 1163 mm durante 2010. Bajo estas condiciones, el cultivo tuvo un desarrollo normal y pudo alcanzar la madurez fisiológica.

Las variables climáticas del año 2011 se presentan en la Figura 2. La temperatura máxima fluctuó entre 20 y 26 °C, y la mínima en 2 y 10 °C. La precipitación fue de 879 mm (21% menor en relación al año 2010); la germinación para este año se presentó a los 17 dds, cinco días después que el año anterior. Esto se produjo por la disminución en la precipitación durante la primer decena del mes de Mayo; para el ciclo 2011 se aplicó

una lámina de pre-siembra de 200 mm, 50 mm más que el año anterior. En 2011, la precipitación natural + riego fue de 1079 mm; esto permitió que el cultivo alcanzara su madurez fisiológica.

Duración del área foliar. Los análisis de varianza para duración del área foliar en los años 2010 y 2011 se presentan en las Tablas 1 y 2. Se observaron diferencias altamente significativas para los niveles de fósforo y variedades, así como la interacción fósforo x variedad, a los 34, 63, 95 y 120 días después de la siembra. No hubo diferencias significativas entre bloques para las fechas antes mencionadas. Los coeficientes de variación oscilaron entre 4 y 15% para el año 2010, y 14,80 y 22,60% para el año 2011. La duración del área foliar respecto a niveles de fósforo para el año 2010 mostró una respuesta

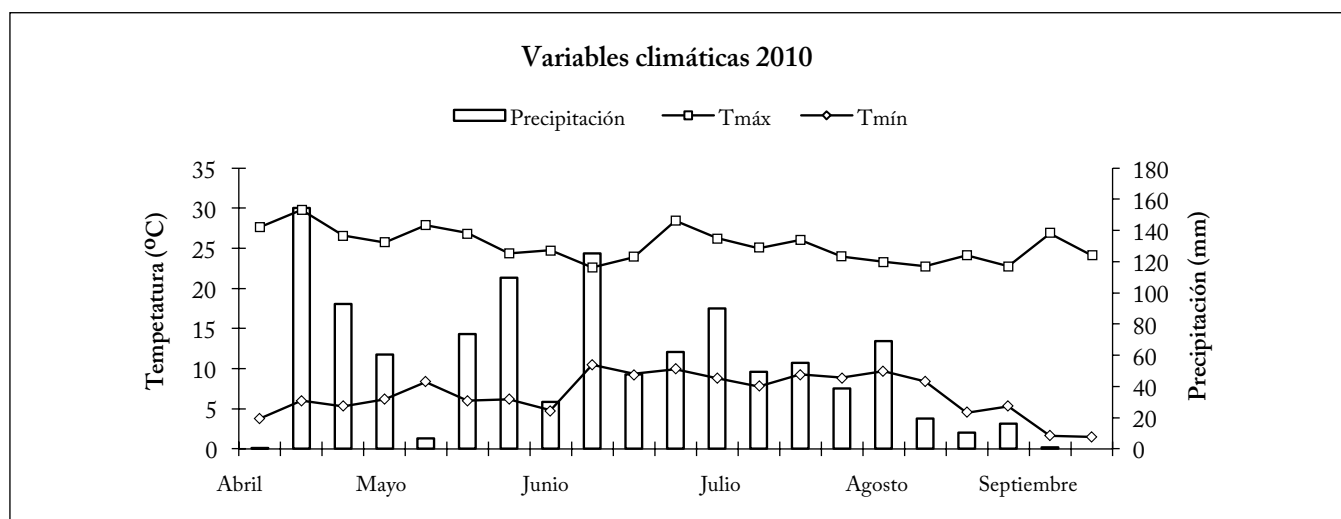


Fig. 1. Temperaturas máximas y mínimas, y precipitación en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.
 Fig. 1. Maximum and minimum temperatures, and precipitation in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

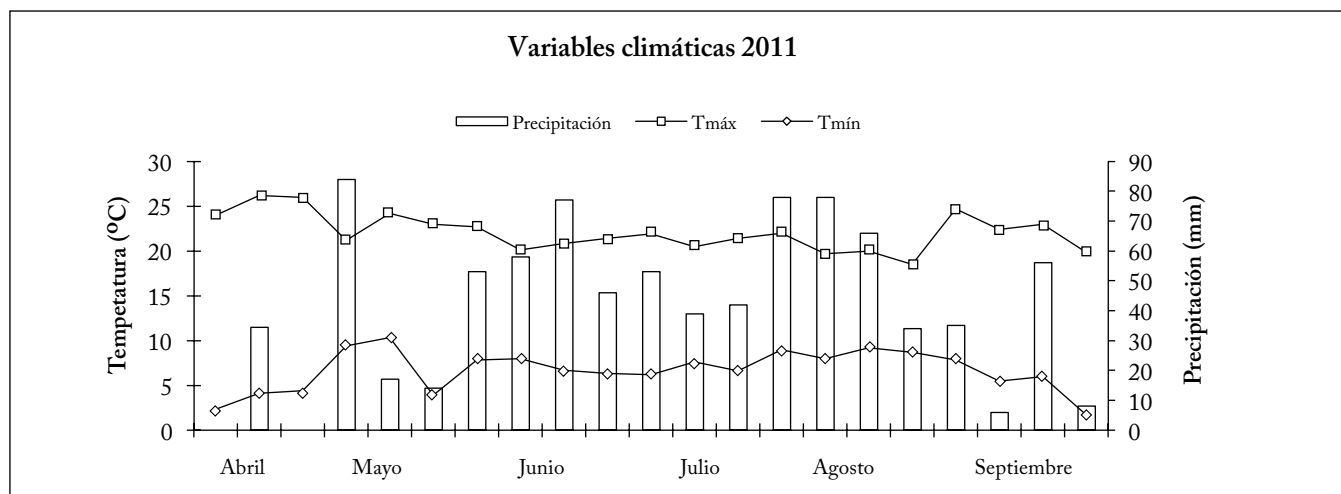


Fig. 2. Temperaturas máximas y mínimas, y precipitación en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2011.
 Fig. 2. Maximum and minimum temperatures, and precipitation in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2011.

ascendente entre los 34 y los 120 dds para todos los niveles de P, incluyendo el testigo (Tabla 1). La máxima duración (82,91 días) se observó en el nivel de 200 kg/ha de P₂O₅ a los 120 dds, mientras que la menor duración (72,63 días) ocurrió en el testigo (0 kg/ha de P₂O₅). La respuesta fue similar en 2011, con una disminución en la duración de aproximadamente 10 al 12% respecto a 2010 (Tabla 2). Estos datos coinciden con los reportados por González et al. (1998), Estos autores mencionaron que la dinámica de crecimiento de la hoja, así como la duración del área foliar, están relacionados con la extracción del fósforo por la planta, y también dependen de altas concentraciones de este nutrimento en el suelo. Además informaron que aunque no se fertilice con fósforo, la planta presenta una respuesta ya que siempre existe un nivel inicial de este elemento en el suelo.

Para el factor cultivares, la duración de área foliar (DAF) mostró una respuesta similar al factor niveles de fósforo. El mínimo valor fue a los 34 dds para los tres cultivares, y el máximo a los 120 dds. El cultivar Cacahuacintle obtuvo los máximos valores en ambos ciclos de crecimiento, presentando una ligera disminución en 2011 (Tablas 3 y 4). El cultivar por Cóndor presentó la mínima duración del área foliar a los 34, 63, 95 y 120 dds. Esto se atribuye a la plasticidad fenotípi-

ca que presentaron los materiales de polinización libre, como Cacahuacintle y Amarillo Almoloya, que mostraron una mejor respuesta que el híbrido Cóndor a las condiciones ecológicas de la zona.

La interacción fósforo x cultivar resultó significativa para 2010; en la Figura 3 se muestra la respuesta diferencial entre estos factores. La mejor interacción correspondió al cultivar Cacahuacintle con 200 kg/ha de P₂O₅ a 63, 95 y 120 dds. Esto sugiere que el alto suministro de este elemento afectó de manera positiva al cultivo, incrementando así la duración del área foliar, hasta alcanzar el valor máximo de 95 días. La menor duración ocurrió en Cóndor a 0 kg/ha de P₂O₅ a los 34, 63, 95 y 120 dds. Para 2011 la interacción fue no significativa.

Biomasa. El análisis de varianza de esta variable para ambos factores de estudio se presenta en la Tabla 5. Para fósforo ocurrieron diferencias significativas solo a 63 y 95 dds. Para cultivares hubo diferencias significativas a los 34, 63, 95 y 120 dds. El coeficiente de variación osciló entre 19,23 y 28,30%. La biomasa por planta fue siempre superior en el cultivar Cacahuacintle a 34, 63 y 95 dds (superando a los cultivares Amarillo Almoloya y Cóndor) con 58,81; 84,7 y 206,52 g/planta, respectivamente. Este último fue el valor máximo que

Tabla 1. Análisis de varianza y prueba de medias para duración del área foliar (DAF) bajo distintos niveles de fósforo a los 34, 63, 95 y 120 dds y tres cultivares de maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.

Table 1. ANOVA and mean tests for leaf area duration under various P levels at 34, 63, 95 and 120 days after sowing and three maize cultivars in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

Nivel de fósforo (kg/ha)	DDS			
	34	63	95	120
	DAF (días)			
200	4,85 ab ^z	18,04 a	76,49 a	82,91 a
160	5,17 a	15,59 ab	70,82 b	81,25 a
120	4,89 ab	15,04 b	68,71 b	78,05 ab
80	4,19 cb	13,88 b	66,48 bc	78,47 ab
40	3,55 cd	13,45 bc	61,81 cd	73,61 bc
0	3,11 d	11,24 c	59,96 d	72,63 c
DSH	0,96	2,55	5,20	5,35
Bloques	n.s	n.s	n.s	n.s
Fósforo	**	**	**	**
Cultivares	**	**	**	**
P*cultivar	**	**	**	**
CV%	15,82	12,36	5,43	4,83

DDS: días después de la siembra; DSH: diferencia significativa honesta; DAF: duración del área foliar; ^z valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey a p≤0,05. *significativo 5%, **significativo 1%, ***significativo al 0,1%; CV: coeficiente de variación; n.s.: no significativo.

DAS: days after sowing; DSH: honest significant difference; DAF: leaf area duration; ^z mean values for treatments within each column followed by the same letter are statistically equal according to Tukey at p≤0.05. * Significant 5% ** significant 1%, *** significant at 0.1%; CV, coefficient of variation; n.s.: not significant.

Tabla 2. Análisis de varianza y prueba de medias para duración del área foliar (DAF) bajo distintos niveles de fósforo a los 34, 63, 95 y 120 dds y tres cultivares de maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2011.

Table 2. ANOVA and mean tests for leaf area duration under various P levels at 34, 63, 95 and 120 days after sowing and three maize cultivars in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2011.

Nivel de fósforo (kg/ha)	DDS			
	34	63	95	120
	DAF (días)			
200	4,36 ab ^z	16,23 a	68,84 a	72,96 a
160	4,65 a	14,03 ab	63,73 b	71,50 a
120	4,40 ab	15,53 b	61,83 b	68,68 ab
80	3,77 cb	12,49 b	59,83 bc	78,47 ab
40	3,19 cd	12,10 bc	55,62 cd	73,61 bc
0	2,79 d	10,11 c	53,96 d	63,91 c
DSH	0,86	2,29	4,68	4,70
Bloques	n.s	n.s	n.s	n.s
Fósforo	**	**	**	**
Cultivares	**	**	**	**
P*cultivar	**	**	**	**
CV%	14,80	18,10	22,60	20,40

DDS: días después de la siembra; DSH: diferencia significativa honesta; DAF: duración del área foliar; ^z valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey a $p \leq 0,05$. *significativo 5%, **significativo 1%, ***significativo al 0,1%; CV: coeficiente de variación; n.s.: no significativo.

DAS: days after sowing; DSH: honest significant difference; DAF: leaf area duration; ^z mean values for treatments within each column followed by the same letter are statistically equal according to Tukey at $p \leq 0.05$. * Significant 5% ** significant 1%, *** significant at 0.1%; CV, coefficient of variation; n.s.: not significant.

Tabla 3. Duración del área foliar (DAF) respecto al factor cultivares a los 34, 63, 95 y 120 dds para maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.

Table 3. Leaf area duration for the cultivars factor at 34, 63, 95 and 120 days after sowing for maize in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

Cultivar	DDS			
	34	63	95	120
	DAF (días)			
Amarillo Almoloya	4,06 b ^z	13,44 b	68,96 b	79,16 b
Cacahuacintle	5,44 a	19,98 a	79,94 a	87,50 a
Cóndor	3,38 c	10,20 c	53,23 c	66,80 c
DSH	0,55	1,46	2,99	3,07

DDS: días después de la siembra; DSH: diferencia significativa honesta; DAF: duración del área foliar, ^z valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por letras iguales son estadísticamente iguales, según Tukey a $p \leq 0,05$.

DAS: days after sowing; DSH: honest significant difference; DAF: leaf area duration, ^z mean values for treatments within columns followed by the same letter are statistically equal according to Tukey at $p \leq 0.05$.

Tabla 4. Duración del área foliar (DAF) respecto al factor cultivares a los 34, 63, 95 y 120 dds para maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2011.

Table 4. Leaf area duration for the cultivars factor at 34, 63, 95 and 120 days after sowing for maize in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2011.

Cultivar	DDS			
	34	63	95	120
	DAF (días)			
Amarillo Almoloya	3,85 b ^z	12,76 b	65,51 b	75,20 b
Cacahuacintle	5,16 a	18,98 a	75,94 a	83,12 a
Cóndor	3,21 c	9,69 c	50,56 c	63,46 c
DSH	0,52	1,38	2,84	2,91

DDS: días después de la siembra; DSH: diferencia significativa honesta; DAF: duración del área foliar, ^z valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por letras iguales son estadísticamente iguales, según Tukey a $p \leq 0,05$.

DAS: days after sowing; DSH: honest significant difference; DAF: leaf area duration, ^z mean values for treatments within columns followed by the same letter are statistically equal according to Tukey at $p \leq 0.05$.

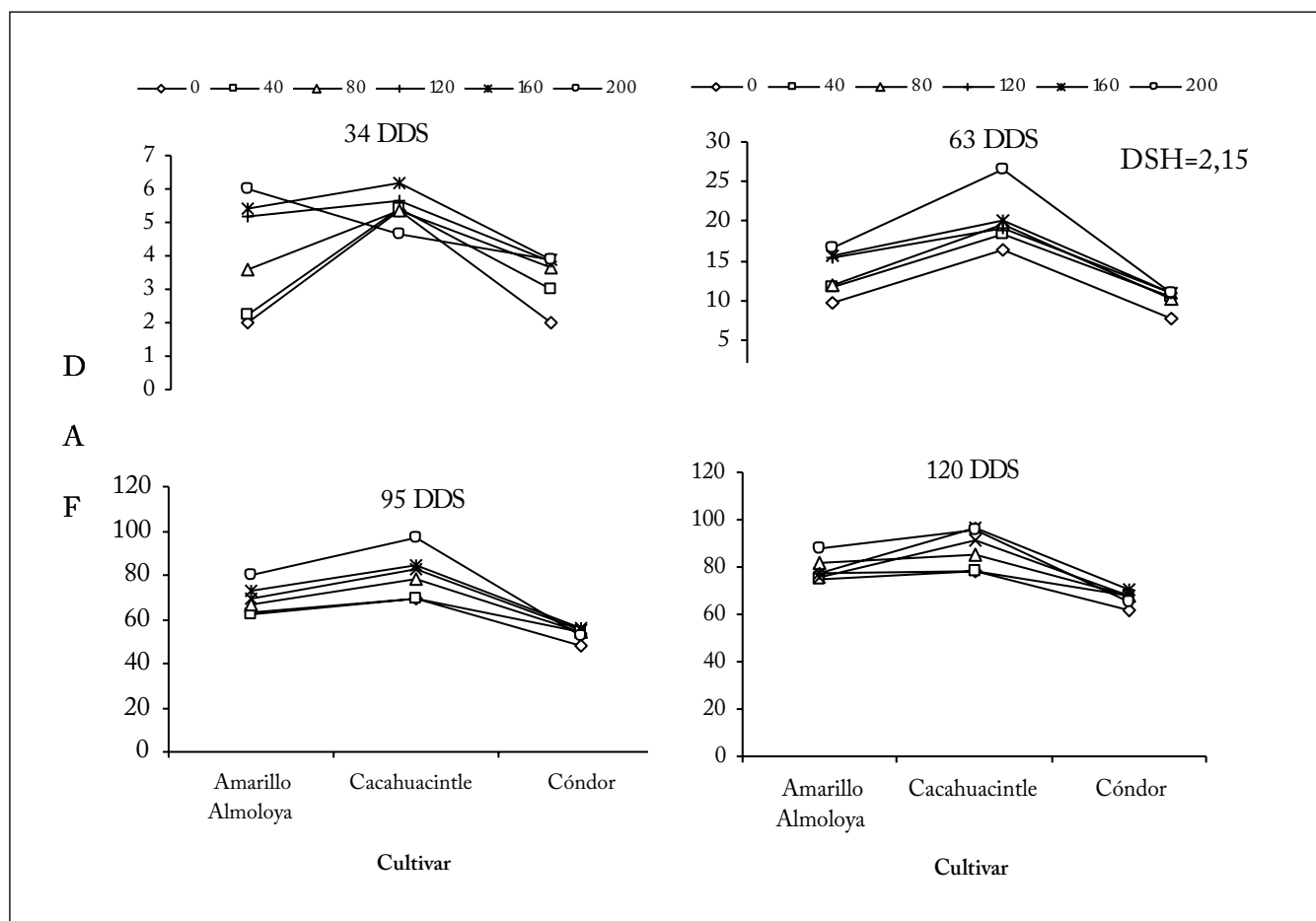


Fig. 3. Duración del área foliar (DAF; días) para la interacción cultivar x fósforo, en un experimento factorial con tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo a los 34, 63, 95 y 120 dds en el Cerrillo Piedras Blancas, México. DSH, diferencia significativa honesta. *, **, ***, significativo a $p \leq 0,05$; 0,01 y 0,001 de probabilidad, respectivamente, según Tukey. Verano 2010.

Fig. 3. Leaf area duration (DAF; days) for the interaction cultivar x phosphorus, in a factorial experiment with three corn cultivars and six levels of phosphorus at 34, 63, 95 and 120 days after sowing in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. HSD, honest significant difference. *, **, ***, significant at $p \leq 0.05$; 0.01 and 0.001, respectively, according to Tukey's test. Summer 2010.

se alcanzó para este genotipo, y posteriormente disminuyó a 128,9 g/planta. Esta tendencia se presentó en los tres cultivares a los 120 dds, donde Amarillo Almoloya redujo su biomasa en un 30%, Cacahuacintle en 38% y Cóndor en 23%. La mayor disminución en biomasa por Cacahuacintle es explicada porque este genotipo acumuló más materia seca que Amarillo Almoloya y Cóndor, y tuvo un mayor porte en relación a los otros dos cultivares. Además, es probable que haya ocurrido una mayor competencia intraespecífica entre las plantas de Cacahuacintle, lo que puede haber contribuido a una mayor senescencia de partes vegetativas.

La biomasa (g/planta) se presenta en la Figura 4 para los distintos niveles de fósforo. Ésta presentó una respuesta creciente entre los 34 y los 95 dds; posteriormente disminuyó a los 120 dds. Esta variable tuvo un comportamiento sigmoideo, el cual correspondió al crecimiento vegetativo de la emergencia hasta la floración, ocurriendo ésta a los 95 dds. En este momento, los niveles de 200 y 160 kg/ha de P_2O_5 tuvieron los valores más altos de biomasa, mientras que la dosis de 0 kg/ha de P_2O_5 obtuvo los menores valores (Fig. 4). Nuestros valores coinciden con los informados por González et al. (1998), Escalante (1999), Morales et al. (2007) y Santillán et al. (2004). Estos autores trabajaron con los macroelementos P y N, mencionado que estos elementos pueden (1) repercutir directamente en altos incrementos de biomasa seca si son bien abastecidos a un cultivo, y (2) reducir significativamente el rendimiento biológico si son deficientes al mismo.

Para el año 2011, el análisis de varianza mostró diferencias significativas para ambos factores de estudio solo a los 95 y 120 dds. La máxima acumulación de biomasa (180,37 g/planta) fue a los 95 dds con 200 kg/ha de P_2O_5 , mientras que la menor (118,66 g/planta) correspondió a 0 kg/ha a los 120 dds; ésta disminuyó principalmente por la senescencia de las hojas basales. Los cultivares también alcanzaron sus valores máximos a los 95 dds para posteriormente disminuir a 120 dds. Cacahuacintle acumuló 175,54 g/planta, seguido por Amarillo Almoloya y Cóndor quienes solo acumularon 147,35 y 112,55 g/planta, respectivamente (Tabla 6).

Relación duración del área foliar vs biomasa. En la Figura 5 se presenta la relación obtenida entre la duración del área foliar (DAF) y la biomasa seca (B). La biomasa dependió directamente de la duración del área foliar. El cultivar que presentó la mayor duración (Cacahuacintle) tuvo valores más altos de biomasa. Este cultivar obtuvo su máxima duración del área foliar con 79,9 días, y una biomasa seca de 205,52 g/planta a los 95 dds. En la misma fecha, la máxima DAF y B fueron 69 días y 173,36 g/planta, respectivamente en el cultivar Amarillo Almoloya, y 53,2 días y 132,42 g/planta, respectivamente en el cultivar Cóndor. Esta tendencia se mantuvo en el año 2011. Estos resultados se explican porque el 80% del peso seco o biomasa se originan durante el proceso de fotosíntesis, el cual ocurre en las hojas del cultivo como lo han demostrado Dwelle (1985) y Flores et al. (2009). La reducción abrupta de la biomasa estando activa el

Tabla 5. Biomasa seca a los 34, 63, 95 y 120 dds en tres cultivares de maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.
Table 5. Dry biomass at 34, 63, 95 and 120 das in three maize cultivars in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

Cultivar	DDS			
	34	63	95	120
	g/planta			
Amarillo Almoloya	15,71 bz	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	4,50	9,80	9,40	20,40
Bloques	n.s	n.s	n.s	n.s
Fósforo	n.s	*	*	n.s
Cultivares	*	*	*	*
P*cv	n.s	n.s	n.s	n.s
CV %	19,23	28,30	22,10	20,11

DDS: días después de la siembra; DSH: diferencia significativa honesta; * valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por letras iguales son estadísticamente iguales según Tukey a $p \leq 0,05$.

DAS: days after sowing; DSH: honest significant difference; * mean values for treatments within columns followed by the same letter are statistically equal according to Tukey at $p \leq 0,05$.

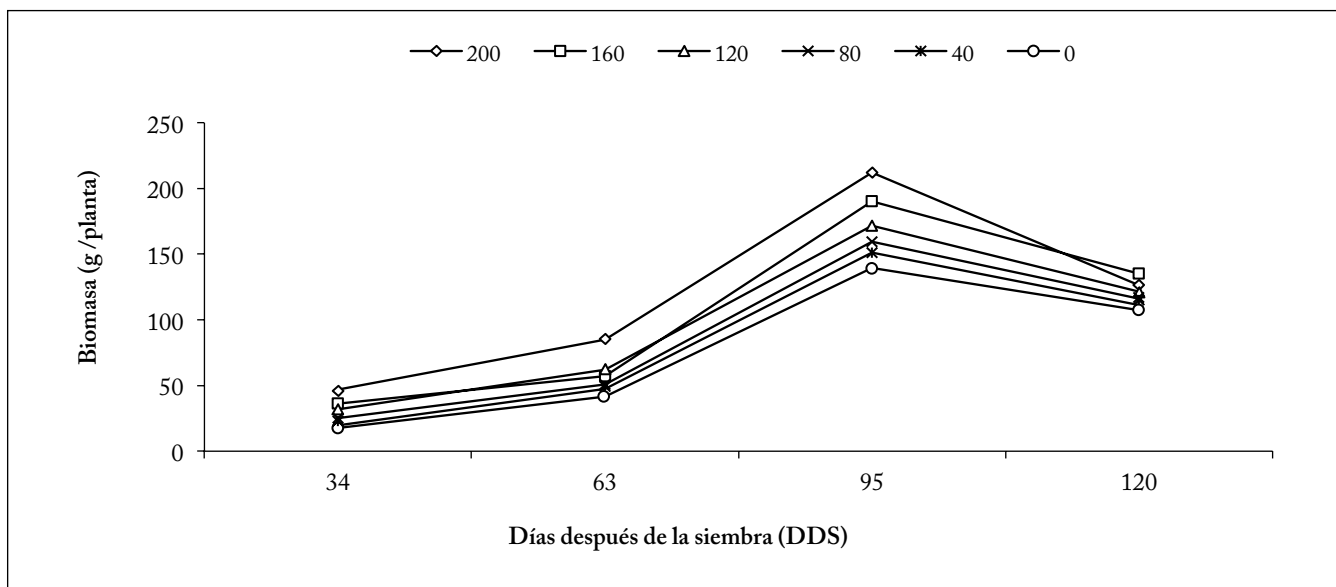


Fig. 4. Dinámica de materia seca para seis niveles de fósforo, en un experimento factorial con tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo a los 34, 63, 95 y 120 DDS, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.

Fig. 4. Dynamics of dry matter for six phosphorus levels in a factorial experiment with three corn cultivars and six levels of phosphorus at 34, 63, 95 and 120 days after sowing in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

Tabla 6. Biomasa respecto a los factores nivel de fósforo y cultivares a los 95 y 120 dds para maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2011.

Table 6. Corn biomass with respect to the factors level of phosphorus and cultivars at 95 and 120 days after sowing in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2011.

Fósforo (kg/ha)	DDS		Cultivar	DDS	
	95	120		95	120
0	118,66 e [§]	91,12 b	Amarillo Almoloya	147,35 b	109,14 a
40	128,60 de	94,35 a	Cacahuacintle	175,54 a	109,56 a
80	135,57 cd	98,77 a			
120	145,86 c	103,27 a			
160	161,67 b	114,75 a	Cóndor	112,55 c	86,02 b
200	180,37 a	107,35 a			
DSH	13,94	12,80	DSH	7,99	17,34
CV%	23,23	28,13	CV%	23,23	28,13
Bloques	n.s	n.s		n.s	n.s
Fósforo	*	*			
Cultivares				*	*
P*cv	n.s	n.s		n.s	n.s

[§] valores medios de tratamientos dentro de columnas seguidos por letras iguales son estadísticamente iguales según Tukey a $p \leq 0,05$; DDS, días después de la siembra; DSH, diferencia significativa honesta; CV, coeficiente de variación. P*cv, interacción fósforo x cultivar. *, **, ***, significativo a $p \leq 0,05$; 0,01 y 0,001, respectivamente.

[§] mean values for treatments within columns followed by the same letter are statistically equal, according to Tukey at $p \leq 0.05$; DDS, days after sowing; DSH, honest significant difference; CV: coefficient of variation. P*cv, phosphorus x cultivar interaction. *, **, *** significant at $p \leq 0.05$; 0.01 and 0.001, respectively.

área foliar es porque los nomófilos que realizaron fotosíntesis en ese instante fueron los de los estratos medio y superior del dosel vegetal; la pérdida de hojas basales ocasionó que la biomasa tuviese ese cambio de concavidad hacia abajo.

Rendimiento. En la Tabla 7 se presenta la significancia estadística así como la prueba de medias para rendimiento, para los factores cultivares y niveles de fósforo en los años de estudio. se observaron diferencias altamente significativas para ambos factores, así como para la interacción fósforo x cultivar en 2010, pero no en 2011 (que resultó no significativo). El máximo rendimiento se presentó en Cacahuacintle con 6459,60 kg/ha. Amarillo Almoloya y Cóndor resultaron estadísticamente iguales con 5390,80 y 5597,00 kg/ha, respectivamente. El máximo rendimiento (7136,70 kg/ha) ocurrió con 80 kg/ha de P₂O₅, mientras que el menor fue con 200 y 0 kg/ha de dicho fertilizante. Esto hace suponer que con dosis altas, puede ocurrir un efecto antagónico en el cultivo, provocando que el rendimiento disminuya. De igual modo, al no haber fósforo en el suelo, la planta no tendrá este macronutrimiento por lo que la síntesis de carbohidratos y el rendimiento se verán reducidos.

En 2011, el rendimiento fue poco menor que en el año anterior, y de igual forma Cacahuacintle (5490,66 kg/ha) fue mayor que Amarillo Almoloya (4582,18 kg/ha) y Cóndor (4757,45 kg/ha).

La disminución del rendimiento en 2011 es explicada por la reducción en la precipitación cuando el cultivo estaba en la etapa de llenado de grano. Dicha precipitación ocurrió durante la primera y segunda decenas del mes de Agosto. Esto coincide con lo reportado por Herrera et al. (2000). Estos autores mencionaron que los maíces criollos como el Chalqueño,

pueden presentar un amplio rango de adaptación a las condiciones cambiantes del medio, tales como la precipitación, hecho atribuido a la variabilidad genética con la que cuentan los materiales criollos.

Relación duración del área foliar acumulada vs rendimiento. Cacahuacintle tuvo la mayor duración del área foliar (DAF) seguido por Cóndor y Amarillo Almoloya (Fig. 6). Esto determinó un mayor rendimiento en Cacahuacintle que en los otros genotipos. Esto indica que a medida que la DAF aumenta, el rendimiento también se incrementa. Esto ha sido demostrado por Escalante (1999) y Bonhomm (2000). Estos autores mencionan que una mayor duración del área foliar determina una mayor intercepción de radiación incidente, lo que se traduce en una mayor producción de fotosintatos que se movilizan al grano como en girasol. Bajo este esquema, el maíz interceptará más luz debido a una mayor duración del aparato fotosintético, movilizando una mayor cantidad de hidratos de carbono al grano. Así, con una duración del área foliar acumulada de 192,86 días, el cultivar Cacahuacintle mostró un rendimiento de 6459,6 kg/ha para el año 2010. Este mismo cultivar solo acumuló una duración del área foliar de 183,20 días en 2011 bajo las condiciones meteorológicas que se presentaron en la Figura 1, disminuyendo el rendimiento en un 15% (de 6459,6 a 5490,66 kg/ha). Esto demostró que la precipitación es de gran importancia para los cultivos, en particular el maíz, y que cuando la misma falta en etapas fenológicas críticas (ej., llenado de grano o floración), el rendimiento tiende a disminuir.

Precipitación para los ciclos de cultivo 2010 y 2011. La suma decenal de la precipitación durante los ciclos de cultivo

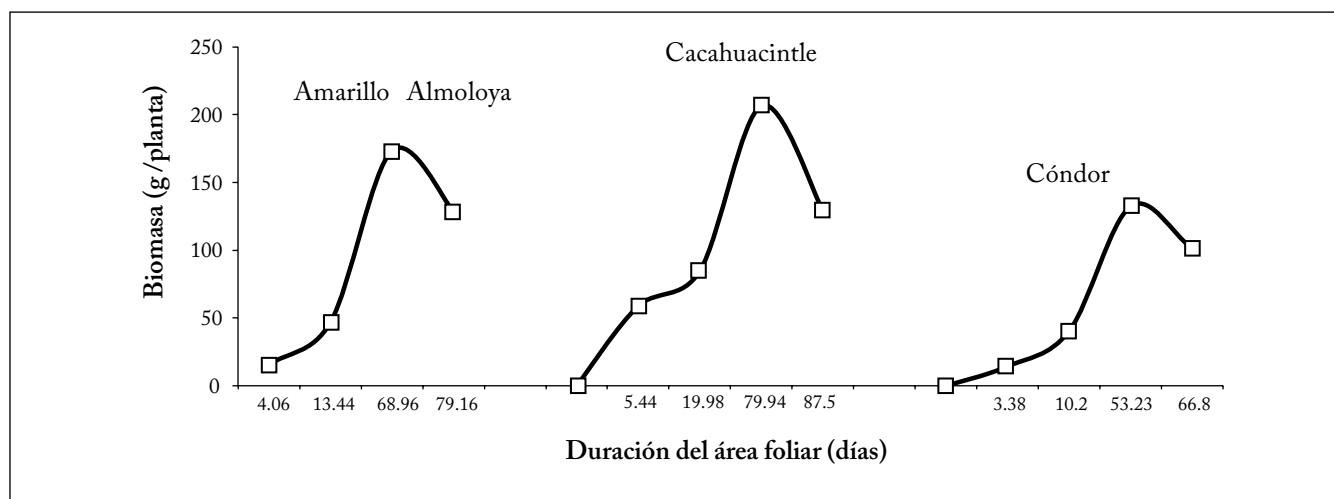


Fig. 5. Dinámica de biomasa en función de la duración del área foliar (DAF) en un experimento factorial con tres cultivares de maíz y seis niveles de fósforo a los 34, 63, 95 y 120 dds, en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010.

Fig. 5. Biomass dynamic depending on the leaf area duration in a factorial experiment with three corn cultivars and six phosphorus levels at 34, 63, 95 and 120 days after sowing in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010.

Tabla 7. Cuadrados medios y prueba de medias de rendimiento para los factores variedades y fósforo para maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México. Verano 2010 y 2011.

Table 7. Square means and mean tests for yield on the factors varieties and phosphorus in corn in the Cerrillo Piedras Blancas, Mexico. Summer 2010 and 2011.

FV	g.l	CM	Cultivares	R	Fósforo	R
Año 2010					(kg/ha)	
Bloques	2	n.s	Amarillo Almoloya	5390,8 b [§]	80	7136,7 a [§]
Fósforo (P)	5	**	Cacahuacintle	6459,6 a	160	6384,3 ab
Cultivar (C)	2	**	Cóndor	5597,0 b	120	6023,8 bc
P*C	10	**			40	5523,9 cd
Error	34				200	5139,4 d
					0	4686,7 d
DSH				484,22		843,48
CV%				10,1		10,1
Año 2011						
Bloques	2	ns	Amarillo Almoloya	4582,18 b	80	6066,19 a
Fósforo (P)	5	**	Cacahuacintle	5490,66 a	160	5426,65 ab
Cultivar (C)	2	**	Cóndor	4757,45 b	120	5120,23 bc
P*C	10	ns			40	4695,31 cd
Error	34				200	4368,49 d
					0	3983,69 d
DSH				411,58		716,95
CV%				22,33		22,33

[§] valores medios de tratamientos, con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según Tukey a $p \leq 0,05$; R: rendimiento; CM: cuadrado medio. *significativo 5%, **significativo 1%, ***significativo al 0,1%.

[§] values means of treatments with the same letter in columns are statistically equal, according to Tukey at $P \leq 0,05$; A: performance; MS: mean square. * significant 5%, 1% ** significant, *** significant at 0.1%.

2010 y 2011 se presenta en la Figura 7. La precipitación fue casi siempre superior en 2010 que en 2011. En 2011, una disminución en el volumen de agua en la última y primer decena de los meses de Abril y Mayo ocasionaron que la germinación se retrasara hasta por cinco días respecto al año anterior en los tres cultivares en estudio. No fue hasta los meses de Junio y Julio cuando la cantidad de lluvia comenzó a estabilizarse y permanecer de manera constante, pero siempre por debajo de la cantidad de precipitación en 2010. Esto ocasionó que el rendimiento de grano disminuyera en 2011, ya que dicho fenómeno coincidió con la floración femenina, la madurez fisiológica se logró en la última decena del mes de Octubre. Sin embargo, un repentino incremento en la cantidad de precipitación ocasionó problemas con *Fusarium* en el cultivar Cacahuacintle, no así en Amarillo Almoloya y Cóndor. Estos problemas se pueden minimizar con prácticas como nivelación del terreno y construcción de desagües para evitar encharcamientos en el cultivo al inicio de la siembra y durante el crecimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

La duración del área foliar es un importante parámetro dentro de la agronomía, que nos permite estudiar la respuesta de los genotipos en estudio, al poder estimar la producción de materia seca del cultivo.

El cultivar Cacahuacintle presentó una mayor duración del área foliar que los cultivares Amarillo Almoloya y Cóndor, y por consecuencia obtuvo una mayor acumulación de biomasa seca.

Las dosis de 200 y 160 hg/ha de P_2O_5 determinaron los valores más altos de biomasa seca y duración del área foliar.

El fósforo es un macroelemento que afecta la duración del área foliar y la biomasa, así como el rendimiento del cultivo de maíz.

El mayor rendimiento de maíz se presentó en Cacahuacintle, resultado de una mayor duración del área foliar acumulada en relación a Amarillo Almoloya y Cóndor.

La precipitación es un factor que influye de manera significativa en el rendimiento del cultivo de maíz, reduciendo el mismo cuando ésta disminuye.

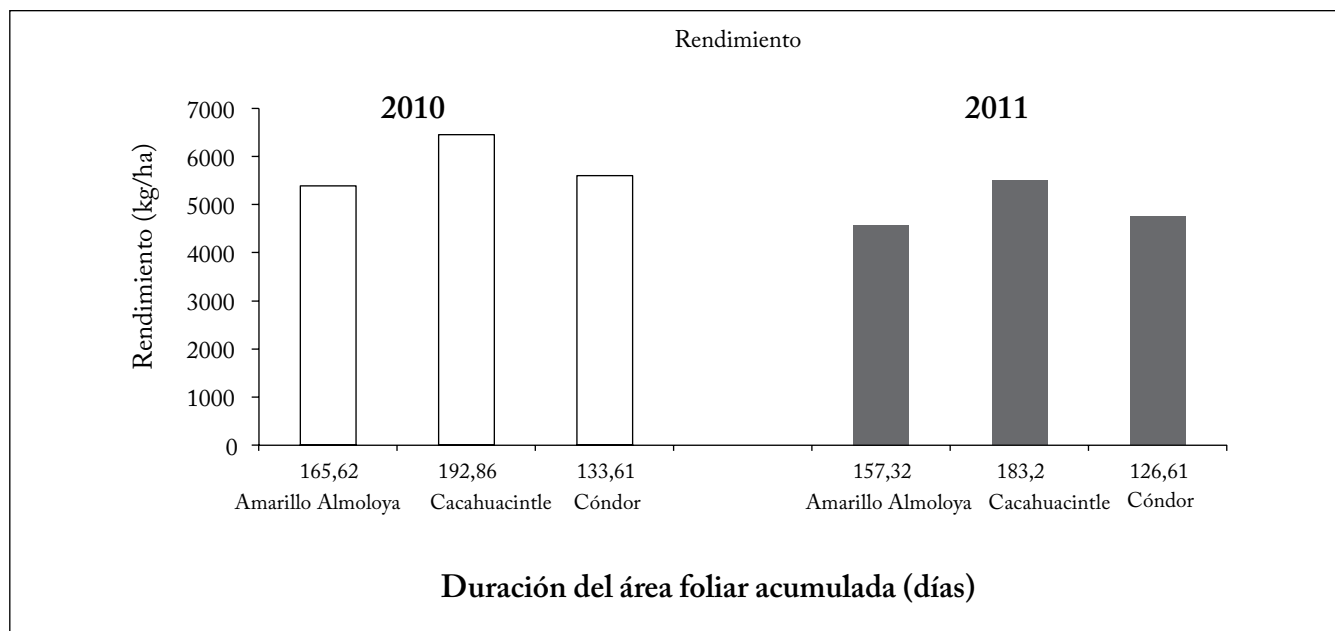


Fig. 6. Relación duración del área foliar acumulada vs rendimiento en tres cultivares de maíz para los años 2010 y 2011, en el Cerrillo Piedras Blancas, México.

Fig. 6. Relative duration vs cumulative leaf area yield in three maize cultivars for the years 2010 and 2011, in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico.

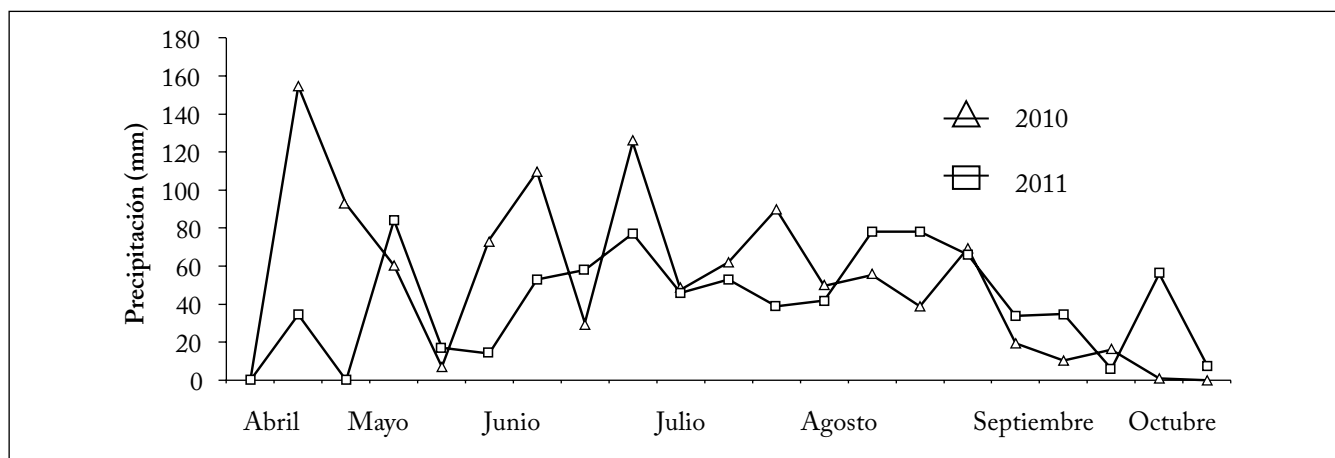


Fig. 7. Precipitación decenal en 2010 y 2011 para los ciclos de crecimiento de tres cultivares de maíz en el Cerrillo Piedras Blancas, México.

Fig. 7. Decennial rainfall in 2010 and 2011 during the growing seasons of three maize cultivars in Cerrillo Piedras Blancas, Mexico.

La precipitación fue mayor en 2010 que en 2011. Esto influyó en que el rendimiento de grano disminuyera un 15% en 2011 respecto a 2010.

REFERENCIAS

- Bonhomme, R. (2000). Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. *Field Crops Research* 68: 247-252.
- Dwelle, B.R. (1985). Photosynthesis and photoassimilate partitioning. En: Li, H.P. (ed), pp. 35-58. *Potato Physiology*. Academic Press, INC. Orlando, Florida.
- 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.
- Escalante, E.J.A. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 17: 149-157.

- Flores, L.R., C.F. Sánchez, P.J.E. Rodríguez, A.R. Mora, L.M.T. Colinas y S.H. Lozoya (2009). Influencia de la radiación solar en la producción de semilla - Tubérculo de papa bajo cultivo sin suelo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 25-30.
- García, E. (2005). 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. México. D.F.
- Giménez, C., D.J. Connor y F. Rueda (1994). Canopy development, photosynthesis and radiation use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Research* 15: 17-37.
- González, E.D.R., B.S. Alcalde, C.J. Ortíz y M.A. Castillo (1998). Dinámica de extracción de fósforo por trigo cultivado en diferentes ambientes. *Agrociencia* 32: 61-69.
- Herrera, C.B.E., G.F. Castillo, G.J.J. Sánchez, P.R. Ortega y M.M. Goodman (2000). Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: Caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotécnica Mexicana* 23: 335-353.
- Morales, R.E., E.J.A. Escalante y S.J.A. López (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. y R. Davis (1988). Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Research* 18: 17-30.
- Ogbomo, L.K.E. y L.J.E. Ogbomo (2009). The Performance of *Zea mays* as Influenced by NPK Fertilizer Application. *Notulae Scientia Biologicae* 1: 59-62.
- Reta, S.D., W.J.A. Cueto, M.A. Gaytán y C.J. Santamaría (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica de México* 32: 145-151.
- Rodríguez, S.F. (1996). Nutrición vegetal, Fertilizantes. AGT. Editor. México. D.F. pp. 11-15.
- Serna, L.C., C.L.A. Trujillo y G.R. Urrea (2011). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica de N-P-K en un andisol de la región centro occidente de caldas. *Revista Agronomía* 19: 68-76.
- Santillán, L., N.S.J. Castro, L.C. Trejo, C.C. Mendoza y C.J. Ortiz (2004). Biomasa acumulada e intercambio en maíz proveniente de semilla de diferente tamaño bajo humedad favorable y restringida. *YTON, Revista Internacional de Botánica Experimental* 73: 243-248.
- Sinclair, T. y R. Muchow (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215-265.