

FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y SINCRONÍA FLORAL DE LOS PROGENITORES DEL HÍBRIDO DE MAÍZ QPM H-374C*

PHENOLOGY, PLANT GROWTH AND FLORAL SYNCHRONY OF THE PARENTAL LINES OF H-374C QPM MAIZE HYBRID

Luis Alberto Noriega González¹, Ricardo Ernesto Preciado Ortiz^{1§}, Enrique Andrio Enríquez², Arturo Daniel Terrón Ibarra¹ y Jorge Covarrubias Prieto²

¹Campo Experimental Bajío. INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. Celaya, Guanajuato, México. A. P. 112. C. P. 38110. Tel. 01 461 6115323. Ext. 203. (terrón.arturo@inifap.gob.mx). ²Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8. Celaya, Guanajuato, México. C. P. 38110. [§]Autor para correspondencia: inifapreciado@prodigy.net.mx.

RESUMEN

La temperatura es uno de los parámetros climáticos que mayor influencia ejercen sobre la fisiología de las plantas; por otro lado, en la producción de semilla de maíz (*Zea mays* L.), la caracterización fenológica de progenitores con base en unidades calor, permite definir con exactitud la fecha de siembra para lograr sincronía floral en la formación de híbridos. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de la temperatura en el crecimiento y las etapas de desarrollo de los progenitores del híbrido trilineal de maíz QPM H-374C, que determinan la coincidencia floral y la producción de semilla. El material genético utilizado fue: el progenitor femenino de cruce simple (CML 176*CML 142), sus líneas endogámicas progenitoras (CML 176 y CML 142) y la línea endogámica CML 186, progenitor masculino del H-374C. La investigación se condujo en condiciones de riego durante el ciclo primavera-verano 2007 en Celaya, Guanajuato, México. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las etapas fenológicas determinadas con el método residual fueron las siguientes: diferenciación floral, espigamiento, floración masculina y femenina, y madurez fisiológica. Para el análisis de crecimiento se realizaron muestreos semanales de materia seca cuando la planta exhibió cuatro

ABSTRACT

The temperature is a climatic parameter with the greatest influence on plants physiology; on the other hand, in maize (*Zea mays* L.) seed production, phenological characterization of progenitors based on heat units, defines the exact date of planting to achieve floral synchrony in hybrids formation. The objective of this research was to study the effect of temperature on growth and development stages of the trilinear hybrid progenitors of maize QPM H-374C, which determine the flower matching and seed production. The genetic material used was: the single-cross female parent (CML 176*CML 142), their inbred lines progenitor (CML 176 and CML 142) and inbred line CML 186, male parent of H-374C. The research was conducted under irrigation during the spring-summer 2007 in Celaya, Guanajuato, Mexico. A randomized complete block design with three replications was used. The phenological stages determined with the residual method, were: floral differentiation, tasseling, male and female flowering and physiological maturity. For growth analysis dry matter samples were taken weekly, when the plant showed four ligulated leaves and until physiological maturity. It was observed that simple cross was precocious to flowering with respect

* Recibido: junio de 2010
Aceptado: julio de 2011

hojas liguladas y hasta madurez fisiológica. Se observó que la cruz simple fue más precoz a floración con respecto a las líneas progenitoras; sin embargo, la etapa de llenado de grano fue más prolongada. La sincronía floral entre el progenitor femenino (CML 176*CML 142) y el progenitor masculino (CML 186) fue alta, mientras que para formar la cruz simple CML 176*CML 142 el progenitor femenino requirió 30 grados días de desarrollo (dos días) más que el progenitor masculino para la emisión de estigmas. El progenitor femenino de cruz simple manifestó heterosis en área foliar, biomasa, índice de área foliar y duración de área foliar. Este vigor y el prolongado periodo de llenado de grano, reflejó mayor rendimiento de semilla.

Palabras clave: *Zea mays* L., análisis de crecimiento, etapas fenológicas, grados día de desarrollo, progenitores.

INTRODUCCIÓN

El efecto de la temperatura en el desarrollo de las plantas de maíz, se puede evaluar con el cálculo de los grados días de desarrollo (GDD) que requiere el cultivo para llegar a las etapas de emergencia, diferenciación floral, espigamiento, floración masculina y femenina, y madurez fisiológica. En un lote de producción de semilla híbrida, los requerimientos térmicos de cada progenitor permiten un manejo adecuado de los mismos, para lograr la sincronía floral indispensable para la formación del grano; también es importante conocer el comportamiento de las variables de crecimiento como el área foliar (AF), biomasa o peso seco (PS), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF); las cuales contribuyen al rendimiento y calidad de la semilla (Torres *et al.*, 2004).

Después de la diferenciación floral se determinan las espiguillas estaminadas y las yemas axilares, y se define el número final de flores. Cuando las plantas tienen entre cuatro y seis hojas completamente expandidas (un cuarto a un tercio del total de hojas), inicia en el meristemo apical la diferenciación de las espiguillas estaminadas correspondientes a la espiga (Stevens *et al.*, 1986), para posteriormente dar lugar a la floración masculina cuando la espiga ha emergido completamente del cogollo. Al aumentar la temperatura de 15 a 20 °C el inicio de la floración masculina se acelera, mientras que a temperaturas menores de 15 °C ocurre un retraso en el espigamiento (Andrade *et al.*, 1996).

to parental lines, but the grain filling stage was longer. Floral synchrony between female parent (CML 176*CML 142) and male parent (CML 186) was high, while in order to form the single-cross CML 176*CML 142, the female parent required 30 degree days of development (two days) more than the male parent to silking. The single-cross female parent expressed heterosis in leaf area, biomass, leaf area index and leaf area duration. This vigor and prolonged grain filling period reflected higher seed yield.

Key words: *Zea mays* L., degree days of development, growth analysis, phenological stages, parents.

INTRODUCTION

The effect of temperature on maize plants development can be evaluated by calculating the degree days of development (DDD) that crop requires to reach the emergence, floral differentiation, tasseling, male and female flowering and physiological maturity stages. In a lot of hybrid seed production, the thermal requirements of each parent allow an appropriate management of themselves, to achieve floral synchrony essential for grain formation, it is also important to know the growth variables behavior such as leaf area (LA), biomass or dry weight (DW), leaf area index (LAI) and leaf area duration (LAD), which contribute to yield and seed quality (Torres *et al.*, 2004).

After floral differentiation, staminate spikelets and axillary buds are determined and it is defined the final number of flowers. When the plants have four to six fully expanded leaves (fourth to one third of the total leaves), it begins in the apical meristem the differentiation of staminate spikelets corresponding to the tassel (Stevens *et al.*, 1986) that will later lead into male flowering when the tassel has completely emerged from the bud. When temperature increases from 15 to 20 °C, the onset of male flowering is accelerated, while at temperatures below 15 °C it occurs a delay in tasseling (Andrade *et al.*, 1996).

Anthesis usually occurs one or two days before the silking. Under field conditions the greater the synchrony between the tassel and stigma development, the greater the chance of fertilization (Colgado and Brown, 1975; Fischer and Palmer, 1984).

Normalmente la antesis ocurre uno o dos días antes de la emisión de los estigmas. En condiciones de campo entre mayor sea la sincronía entre el desarrollo de la espiga y de los estigmas, mayor será la posibilidad de fecundación (Coligado y Brown, 1975; Fischer y Palmer, 1984).

Para realizar un análisis de crecimiento se requiere medir las variables área foliar y peso seco, registradas durante las etapas de desarrollo del cultivo. La primera medida se refiere a la magnitud del aparato fotosintético laminar del material vegetal, el cual transforma la energía física (radiación) por medio de la fotosíntesis y la respiración en la energía química (carbohidratos) que necesita la planta. El área foliar puede ser descrita en términos de tamaño del IAF, el cual determina la eficiencia de la intercepción de luz por la planta, y duración del área foliar, que es la habilidad de la planta para producir y mantener el área foliar (Radford, 1967; Wallace *et al.*, 1972; Hunt, 1982).

La duración del área foliar depende del genotipo, de la temperatura y de las condiciones del cultivo. Existe una relación estrecha entre productividad y DAF (Fischer y Palmer, 1984). En la planta de maíz el número de hojas está determinado genéticamente, pero aumenta conforme se incrementa la temperatura y la fertilidad del suelo; en cambio, decrece con el aumento en la densidad de población (Barbieri *et al.*, 2000). El fotoperiodo también tiene efecto positivo en el número de hojas el cual está correlacionado con la altura de la planta (Allen *et al.*, 1973).

El peso seco es un indicador de la cantidad de material vegetal existente. La biomasa total producida por la planta está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca pues ocupa cerca de 40% la biomasa seca total (Fischer y Palmer, 1984). En la fase reproductiva se determina el número de mazorcas por planta, el número de granos por mazorca, el peso del grano, y el índice de cosecha.

De los dos componentes de los rendimientos principales, el número de granos es el más sensible a las variaciones ambientales y a la disponibilidad de componentes como la radiación, temperatura, agua y nutrientes en el suelo; mientras que el peso de grano es más estable y depende principalmente de la relación fuente/demanda durante el periodo de llenado de grano (Andrade *et al.*, 1999; Borrás y Otegui, 2001; Lee y Tollenaar 2007; Sala *et al.*, 2007).

In order to perform a growth analysis it's required to measure leaf area and dry weight variables, recorded during the crop development stages. The first measure relates to the extent of laminar photosynthetic apparatus of plant material, which transform physical energy (radiation) through photosynthesis and respiration, in chemical energy (carbohydrates) that the plant needs. The leaf area can be described in terms of LAI size, which determines the efficiency of light interception by the plant and leaf area duration, which is the plant's ability to produce and maintain leaf area (Radford, 1967; Wallace *et al.*, 1972; Hunt, 1982).

The leaf area duration depends on genotype, temperature and culture conditions. There is a close relationship between productivity and LAD (Fischer and Palmer, 1984). In maize plant, leaf number is genetically determined, but it increases with higher temperature and soil fertility; on the other hand, it decreases with greater population density (Barbieri *et al.*, 2000). The photoperiod also has positive effect on the leaves number, which is correlated with plant height (Allen *et al.*, 1973).

The dry weight is an indicator of the existing plant material amount. The total biomass produced by the plant is highly correlated with the cob final size, occupying about 40% of total dry biomass (Fischer and Palmer, 1984). In the reproductive phase is determined the cobs number per plant, kernels number per ear, grain weight and harvest index.

From the two main yield components, grains' number is the most sensitive to environmental variation and components availability such as radiation, temperature, water and soil nutrients, while grain weight is more stable and depends mainly on supply/demand relation, during the grain filling period (Andrade *et al.*, 1999; Borrás and Otegui, 2001; Lee and Tollenaar, 2007; Sala *et al.*, 2007).

This research was conducted with the following objectives: 1) to estimate in the parents of the trilinear hybrid maize H-374C, the degree days of development required to achieve floral differentiation, tasseling, male and female flowering and physiological maturity; 2) to determine the sowing time of the trilinear hybrid parents H-374C, to achieve an optimal floral synchronization; and 3) to perform the growth analysis of trilinear hybrid parents H-374C.

La presente investigación se realizó con los siguientes objetivos: 1) estimar en los progenitores del híbrido trilineal de maíz H-374C, los grados días de desarrollo requeridos para lograr la diferenciación floral, espigamiento, floración masculina y femenina, y madurez fisiológica; 2) determinar el momento de siembra de los progenitores del híbrido trilineal H-374C, para lograr una sincronización floral óptima; y 3) realizar el análisis de crecimiento de los progenitores del híbrido trilineal H-374C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad de prueba

El trabajo de campo se condujo durante el ciclo primavera-verano 2007 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Celaya, Guanajuato, México (20° 31' latitud norte, 100° 45' longitud oeste, y 1 765 msnm). El clima del sitio experimental es semicálido BS₁Hw(e), con una precipitación de 550 a 710 mm durante el año y temperatura media anual de 18.4°C (García, 1973). Los suelos son de tipo Vertisol Pélico, que se caracterizan por ser arcillosos, de coloración oscura.

Material genético

El material genético utilizado fue el progenitor femenino de cruce simple (CML 176*CML 142); y la línea endogámica CML 186, progenitor masculino del H-374C. También se sembraron las líneas endogámicas CML 176 y CML 142 como progenitores femenino y masculino de la cruce simple.

Las líneas progenitoras del H-374C fueron derivadas por el CIMMYT (CIMMYT, 1998) y se describen a continuación: CML 176 es una línea endogámica de tres autofecundaciones cuya genealogía es (P63-12-2-1/P67-5-1-1)-1-2-B-B) derivada de un cruzamiento de líneas S₃ de las poblaciones 63 (de origen tropical, blanco dentado 1 QPM) y 67 (de origen subtropical, templado blanco cristalino-QPM). CML 142 es una línea endogámica de cinco autofecundaciones cuya genealogía es (P62C₅HC93-5-6-1-3-B-B-B-7-B-B-#), derivada de la población 62 (de origen tropical y subtropical). La CML 186 es una línea endogámica de tres autofecundaciones cuya genealogía es (P67C₂HC26-1-2-1-B-B), derivada de la población 67 templado blanco cristalino-QPM (origen subtropical).

MATERIALS AND METHODS

Test location

Fieldwork was conducted during the Spring-Summer 2007 cycle, at El Bajío Experimental Station (CEBAJ) of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Institute (INIFAP), located in Celaya, Guanajuato, Mexico (20° 31' north latitude, 100° 45' west longitude and 1 765 masl). The climate of the experimental site is semi-warm BS₁Hw(e), with a rainfall of 550 to 710 mm during the year and average annual temperature of 18.4°C (García, 1973). The soils are Pelic Vertisol type, which are characterized by being clayey, dark colored.

Genetic material

The genetic material used was single-cross female parent (CML 176*CML 142), and inbred line CML 186, male parent of H-374C. Also inbred lines CML 176 and CML 142 were planted as female and male parents of simple cross.

The parental lines of H-374C, were derived by CIMMYT (CIMMYT, 1998) and described below: CML 176 is an inbred line of three self-fertilizations, whose genealogy is (P63-12-2-1/P67-5-1-1)-1-2-B-B), derived from S₃ lines crossing of populations 63 (tropical origin, white teathed 1 QPM) and 67 (subtropical origin, warm white crystalline-QPM). CML 142 is an inbred line of five self-fertilizations, whose genealogy is (P62C₅HC93-5-6-1-3-B-B-B-7-B-B-#), derived from population 62 (tropical and subtropical origin). CML 186 is an inbred line of three self-fertilizations, whose genealogy is (P67C₂HC26-1-2-1-B-B), derived from 67 population warm white crystalline QPM (subtropical origin).

Experimental work

The separation between rows was 76 cm; applied fertilization 250-60-60, for sowing 60-60-60 and the rest of nitrogen 40 days later; planting was manual according to the established procedure for seed production in two isolated lots; using a population density of 70 000 plants ha⁻¹, with a separation of 19 cm between plants. The experiments were established under irrigated conditions. Planting of both isolated lots was held on July 20, 2007.

Trabajo experimental

La separación entre surcos fue de 76 cm; se aplicó la dosis de fertilización 250-60-60, aplicando a la siembra 60-60-60 y el resto del nitrógeno a los 40 días después; la siembra fue manual conforme el procedimiento establecido para producción de semilla en dos lotes aislados; se utilizó una densidad de población de 70 mil plantas ha⁻¹, con una separación de 19 cm entre plantas. Los experimentos se establecieron bajo condiciones de riego. La fecha de siembra de ambos lotes aislados se realizó el 20 de julio de 2007.

Debido que el trabajo se realizó simulando lotes de producción de semilla con una relación 4:2, cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos para los progenitores femeninos y dos surcos para los progenitores masculinos, con 10 m de longitud. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar con tres repeticiones.

El análisis estadístico para las variables diferenciación floral, etapa de espigamiento, floración masculina y femenina, y madurez fisiológica, se realizó de acuerdo al modelo de bloques completos al azar propuesto por Steel y Torrie (1985). Mientras que para los componentes del análisis de crecimiento integrado por las variables: área foliar (AF), biomasa seca (PS), índice y duración del área foliar (IAF y DAF); fueron realizados a través de análisis estadísticos individuales para cada muestreo y análisis combinados con el propósito de conocer el comportamiento de los genotipos a través del tiempo.

Para expresar las mediciones a las diferentes etapas de desarrollo se calculó los grados días de desarrollo (GDD) para lo cual se utilizó el método residual cuyo modelo es el siguiente: $GDD = (T_{\max} + T_{\min})/2 - T_{\text{base}}$, donde: T_{\max} = temperatura máxima diaria, (°C); T_{\min} = temperatura mínima diaria, (°C); T_{base} = temperatura base, 10 °C. Las temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo del cultivo fueron registradas en la estación meteorológica del CEBAJ.

El cálculo de los GDD requeridos para lograr la diferenciación floral, el espigamiento, la floración masculina y femenina y la madurez fisiológica, se realizó al acumular los GDD cuando 50% de las plantas de cada progenitor alcanzaron cada una de las variables.

Para el análisis de crecimiento en los genotipos estudiados se realizaron muestreos semanales en tres plantas con competencia completa, al azar, a partir de los 47 días

Because the study was done by simulating production batches of seed with 4:2 ratios each experimental unit consisted of four rows for female parents and two rows for male parents, with 10 m length. Experimental design used was randomized complete block design with three replications.

Statistical analysis for floral differentiation, tasseling stage, male and female flowering and physiological maturity variables, was performed according to the randomized complete block model proposed by Steel and Torrie (1985). While for the components of growth analysis consisting of the variables: leaf area (LA), dry biomass (DB) index and leaf area duration (LAI and LAD), were made through individual statistical analysis for each sample and combined analysis, in order to understand the genotypes behavior over time.

In order to express measurements at different developmental stages, degree days of development (DDD) were calculated, for which it was used the residual method modeled as follows: $DDD = (T_{\max} + T_{\min})/2 - T_{\text{base}}$; where: T_{\max} = maximum daily temperature (°C); T_{\min} = minimum daily temperature (°C); T_{base} = base temperature, 10 °C. Maximum and minimum temperatures during the crop cycle were recorded at the weather station of CEBAJ.

The calculation of DDD required to achieve the floral differentiation, tasseling, male and female flowering and physiological maturity was performed by accumulating the DDD when 50% of the plants from each parent reached each of the variables.

For growth analysis in the studied genotypes, samples were taken weekly in three plants with full competition at random, from the 47 days after planting (DAP); at this stage genotypes showed six to seven ligulated leaves. In order to determine leaf area, the ligulated leaves were separated from the stem and measured with a measure tape. The equation $AF = \text{length} * \text{width} * 0.75$ (Mendoza and Ortiz, 1973) was used. To calculate total area per plant, values of all measured sheets were summed.

For obtaining the variable dry biomass, samples of whole plants were fragmented into small pieces and placed in brown paper bags, their weight was recorded and subsequently they were introduced in a convection oven at

después de la siembra (DDS); en esta etapa los genotipos exhibieron entre seis y siete hojas liguladas. Para determinar el área foliar, las hojas liguladas fueron separadas del tallo y medidas con una cinta métrica. Se utilizó la ecuación $AF = \text{largo} \times \text{ancho} \times 0.75$ (Mendoza y Ortiz, 1973). Para calcular el área total por planta fueron sumados los valores de todas las hojas medidas.

Para la obtención de la variable biomasa seca, la muestra de las plantas completas fueron fragmentadas en trozos pequeños y colocadas en bolsas de papel de estraza; se registró su peso y posteriormente se introdujo en estufa de convección a 70°C; finalmente se registró el peso seco hasta llegar a peso constante. Una vez obtenidos los valores de las variables biomasa seca y área foliar se procedió a realizar los cálculos de los parámetros de crecimiento (Hunt, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de unidades calor en etapas de crecimiento y desarrollo del maíz

Se observaron diferencias significativas en GDD entre los progenitores, para las variables diferenciación floral, floración femenina y madurez fisiológica (Cuadro 1); para las variables espigamiento y floración masculina no se detectaron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza en etapas fenológicas de los progenitores del híbrido trilineal de maíz QPM H-374C. Primavera-verano 2007.

Table 1. Mean squares of variance analysis in phenological stages of the progenitors of trilinear hybrid maize QPM H-374C. Spring-Summer 2007.

FV	GL	Etapas fenológicas				
		VR	FF	FM	ESP	MF
Rep	2	3.2	22.53	20.3	64.2	14.36
Trat	3	135.38**	445.17*	167 ns	27.3 ns	3075.87**
Error	6	7.11	32.54	241.1	9.6	45.6
Total	11	15.19	165.07	138	35	866.36
CV (%)		1.54	3.81	7.3	1.5	0.92

*,**= indican diferencia significativa $p=0.05$ y $p=0.01$ respectivamente; ns= diferencia no significativa; VR= diferenciación floral; FF= floración femenina; FM= floración masculina; ESP= espigamiento y MF= madurez fisiológica.

De acuerdo con los GDD, para la diferenciación floral el progenitor femenino CML 176*CML 142, fue estadísticamente más precoz con 165 GDD, lo que se atribuyó a la heterosis, ya que las líneas endogámicas

70°C, and finally, dry weight was recorded until constant weight. Once obtained the values of the variables dry biomass and leaf area, the calculations of growth parameters were made (Hunt, 1982).

RESULTS AND DISCUSSION

Accumulation of heat units in maize stages of growth and development

Significant differences in DDD between the parents were observed, for floral differentiation, silking and physiological maturity variables (Table 1); for tasseling and flowering male variables, significant differences were not detected.

According to DDD, for female parent flower differentiation CML 176*CML 142, was statistically earlier with 165 DDD, which was attributed to heterosis, as the progenitor inbred lines required more DDD (Table 2). Regarding to CML 176 progenitor, it was the latest, as it accumulated 181 DDD.

When comparing parents, in flower differentiation there is a dephasing in the hybrid H-374C hybrid production from the CML 186 male parent of 7 DDD, with respect to the female parent. In the case of the formation of CML 176*CML 142 simple cross, CML 176 female parent

was the one that presented a dephasing of 9 DDD. The total number of leaves per plant is defined by the floral differentiation. At this stage, the plants have a third or fourth part of ligulate leaves of the final number, and it is

progenitoras requirieron mayor cantidad de GDD (Cuadro 2). Respecto al progenitor CML 176, éste fue el más tardío, ya que acumuló 181 GDD.

initiated the differentiation of tassel's staminate spikelets. Subsequently, axillary buds from which is originated the cob are differentiated (Stevens *et al.*, 1986).

Cuadro 2. Comparación de medias para la acumulación de GDD en diferentes etapas fenológicas. Primavera-verano 2007.
Table 2. Comparison of means for DDD accumulation at different phenological stages. Spring-Summer 2007.

Genotipo	Emerg.	Diferenciación floral	Hoja 7	Hoja 12	Espig.	F. masc.	F. fem.	Madurez fisiol.
CML176*CML142	61	165 c	125 b	179 c	0	0	208 b	757 a
CML 186	55	172 b	163 a	196 a	203	218	223 ab	683 c
CML 176	55	181 a	166 a	196 a	0	0	238 a	735 b
CML 142	56	172 b	161 a	195 b	199	208	223 ab	743 b
CV (%)	6.05	1.54	3.65	0.87	1.54	7.28	3.81	0.92

Valores con letras iguales son estadísticamente iguales.

Al comparar los progenitores, se observa en la diferenciación floral un desfase en la producción del híbrido H-374C del progenitor masculino CML 186 de 7 GDD, con respecto al progenitor femenino. En el caso de la formación de la cruce simple CML 176*CML 142, el progenitor femenino CML 176, fue el que presentó un desfase de 9 GDD. El número total de hojas por planta se define con la diferenciación floral. En esta etapa las plantas cuentan con una tercera o cuarta parte de hojas liguladas del número final, e inicia la diferenciación de espiguillas estaminadas de la espiga. Posteriormente se diferencian las yemas axilares que dan origen a la mazorca (Stevens *et al.*, 1986).

En la etapa de espigamiento los progenitores masculinos CML 186 y CML 142 acumularon 203 y 199 GDD, mientras que para la floración masculina acumularon 218 y 208 GDD, respectivamente. El periodo entre espigamiento a floración masculina fue relativamente corto; debido a la constitución genética de los progenitores, al ocurrir la floración femenina se observaron diferencias muy marcadas en GDD, por la mayor precocidad de la cruce simple (208 GDD) atribuida al vigor híbrido. Por su parte las líneas endogámicas CML 186, CML 176 y CML 142 fueron más tardías, con 223, 238 y 223 GDD, respectivamente, por los efectos de endogamia. La floración masculina del progenitor CML 186 y la floración femenina del progenitor CML 176*CML 142, se presentó con 10 GDD antes que la emisión de polen del progenitor masculino, lo que permite asegurar la receptividad de los estigmas al momento de la antesis.

Para la formación de la cruce simple del progenitor femenino del H-374C, el progenitor femenino CML 176 se presentó 30 GDD después de la emisión de polen del progenitor masculino. Esta diferencia indica que la liberación de polen

In the tasseling stage, CML 186 and CML 142 male parents accumulated 203 and 199 DDD, while for male flowering they accumulated 218 and 208 DDD, respectively. The period from tasseling to male flowering was relatively short; due to the parent's genetic constitution, at female flowering, very marked differences were observed in DDD, due to the precocious of single-cross (208 DDD) attributed to hybrid vigor. Meanwhile inbred lines CML 186, CML 176 and CML 142 were delayed with 223, 238 and 223 DDD, respectively, due to the effects of inbreeding. Male flowering of CML progenitor 186 and female flowering of the CML 176*CML 142 parent, was presented 10 DDD before the pollen emission from the male parent, which ensures the stigmas receptiveness at thesis.

For the simple cross formation of the female parent of H-374C, CML 176 female parent was presented 30 DDD after the pollen emission from the male parent. This difference indicates that pollen release from the CML 142 male parent, occurred two days before the stigmas of female parent were receptive, this information is relevant, because if any stress condition shows at this stage, can put seeds production at risk. In this respect Shaw and Thom (1951); Bolaños and Edmeades (1993a; 1993b) indicate that the period between male and female flowering is most critical during the plant development and fertilization depends on that, as well as the cob development and yield.

The grain filling period (from female flowering to physiological maturity) of the female parent of hybrid H-374C, was higher and therefore the period for biomass production was also higher (631 g plant⁻¹), this value was statistically superior to the rest of the parents. During the

del progenitor masculino CML 142, ocurrió dos días antes de que estuvieran receptivos los estigmas del progenitor femenino, esta información es relevante ya que de presentarse cualquier condición de estrés en esta etapa, puede poner en riesgo la producción de semilla. Al respecto Shaw y Thom (1951); Bolaños y Edmeades (1993a, 1993b), señalan que el período entre floración masculina y femenina, es el más crítico durante el desarrollo de la planta y de ello depende la fecundación, desarrollo de la mazorca y rendimiento.

El periodo de llenado de grano (de floración femenina a madurez fisiológica) del progenitor femenino del híbrido H-374C, fue mayor y por consecuencia también fue mayor el periodo para producir biomasa ($631 \text{ g planta}^{-1}$); este valor fue superior estadísticamente al resto de los progenitores. Durante el periodo de llenado de grano el progenitor femenino del híbrido H-374C acumuló 549 GDD, y durante todo su ciclo vegetativo (de siembra a madurez fisiológica) 757 GDD (Figura 1).

Este progenitor también mostró superioridad en área foliar durante la mayor parte del ciclo biológico, debido al vigor que manifiesta una cruce simple en comparación con las líneas. Aunado a ello, el periodo de crecimiento fue más corto que en el resto de los genotipos, pero el periodo reproductivo fue mayor, lo que favoreció la obtención de mayor rendimiento. Este comportamiento del progenitor femenino coincide con la información reportada por Troyer (1986), respecto a la producción de altos rendimientos en genotipos más tardíos.

El progenitor CML 186 acumuló 683 GDD de siembra a madurez fisiológica, debido al poco vigor expresado por efecto de endogamia; asimismo, mostró el menor periodo de llenado de grano (460 GDD), como consecuencia de una senescencia precoz de las hojas, la cual provocó un ciclo biológico más corto y una madurez fisiológica temprana. Estos resultados coinciden con los reportados por Shaw y Thom (1951); Wolfe *et al.* (1988).

Análisis de crecimiento

En el análisis de varianza combinado se muestran diferencias altamente significativas para tratamientos y muestreos en las variables área foliar (AF), biomasa o peso seco (PS), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF); mientras que en la interacción tratamiento por muestreo sólo se encontró significancia estadística en PS y DAF (Cuadro 3). Lo anterior indica que por lo menos un progenitor es diferente en su comportamiento en

grain filling period the female parent of hybrid H-374C accumulated 549 DDD and throughout its growth cycle (planting to physiological maturity) 757 DDD (Figure 1).

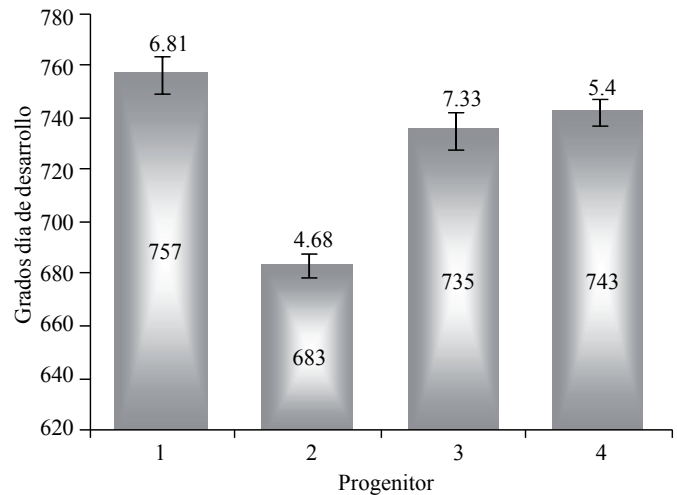


Figura 1. Grados día de desarrollo de la siembra a madurez fisiológica en los progenitores CML 176*CML 142 (1), CML 186 (2), CML 176 (3) y CML 142 (4) del híbrido trilineal de maíz QPM H-374C.

Figure 1. Degree days from planting development to physiological maturity in the progenitors CML 176*CML 142 (1), CML 186 (2), CML 176 (3) and CML 142 (4) of trilinear hybrid maize QPM H-374C.

This progenitor also showed superiority in leaf area during most of the biological cycle, due to the vigor that a simple cross manifests compared with the lines. In addition to this, growth period was shorter than in other genotypes, but the reproductive period was higher, favoring the production of higher yield. This behavior of the female parent agrees with information reported by Troyer (1986), regarding the production of high yields in late genotypes.

The progenitor CML 186, accumulated 683 DDD from planting to physiological maturity, due to the low vigor expressed as a result of inbreeding, also showed the lowest grain filling period (460 DDD), as a result of early leaves senescence, which resulted in a shorter biological cycle and early physiological maturity. These results are consistent with those reported by Shaw and Thom (1951); Wolfe *et al.* (1988).

Growth analysis

In the combined analysis of variance, highly significant differences are shown for treatments and samplings in variables leaf area (LA), biomass or dry weight (DW),

todo el ciclo biológico, y en este caso se atribuye al progenitor femenino de cruce simple, que por su constitución genética manifiesta más vigor y área foliar que las líneas endogámicas.

leaf area index (LAI) and leaf area duration (LAD); while in the interaction treatment by sampling statistical significance was only found in DW and LAD (Table 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fisiotécnicas en progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. Primavera-verano 2007.

Table 3. Mean squares for combined analysis of variance for physiotechnics variables in parents of hybrid maize QPM H-374C. Spring-Summer 2007.

FV	GL	AF	PS	IAF	DAF
Rep	2	74.97	486.62	0.000001	11505.05
Trat	3	188901.66**	159221.7**	0.0907**	9217527.51**
Rep*Trat	6	1546.83 ns	574.63 ns	0.0006 ns	59591.32 ns
Mues	12	71530.63**	146955.35**	0.0345**	3450853.62**
Trat*Mues	36	2504.07 ns	2815.54**	0.0011 ns	96311.2*
Error	86	2563.35	1115.05	0.0012	59935.77
Total	145	12471.79	17222.05	0.006	559343.59
CV (%)		14.88	14.85	15	10.27

*,**= indican diferencia significativa ($p=0.05$, $p=0.01$ respectivamente); ns= diferencia no significativa; AF= área foliar; PS= biomasa seca; IAF= índice de área foliar; DAF= duración del área foliar.

El progenitor de cruce simple CML 176*CML 142, superó al resto de los progenitores en todos los muestreos, lo que se atribuye a la heterosis (Figura 2). Durante el crecimiento, la acumulación de biomasa está relacionada con la capacidad fotosintética del área foliar, la cual en etapas tempranas se almacena en el tallo para posteriormente gran parte se destine a la mazorca; la producción total de biomasa está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca, que es cerca de 40% del peso total de la planta (Andrade *et al.*, 1996).

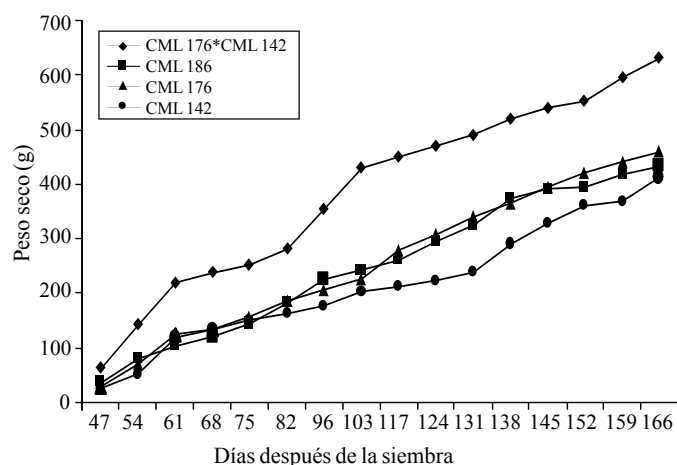


Figura 2. Acumulación de peso seco de cuatro progenitores del híbrido trilineal de maíz QPM H-374C, a través del ciclo biológico.

Figure 2. Dry weight accumulation of four progenitors of trilinear hybrid maize QPM H-374C, through biological cycle.

This indicates that at least one parent is different in its behavior across the biological cycle and in this case is attributed to single-cross female parent, which expresses more vigor and leaf area than inbred lines, due to its genetic constitution.

The CML 176*CML 142 single-cross parent, outperformed the rest of the parents in all samples, which is attributed to heterosis (Figure 2). During growth, biomass accumulation is related to the photosynthetic capacity of leaf area, which in early stages is stored in the stem so later a large part of it will be intended to the cob, total biomass production is highly correlated with the final size of the cob, which is about 40% of the total plant weight (Andrade *et al.*, 1996).

From the ninth sampling, differences between the CML 142 parent and the rest of the parental lines were observed, as it accumulated less DW (412 g) at the end of the cycle and required 743 DDD to physiological maturity, probably due to lower vigor and potential yield, compared to the other parents.

Comparing the parents DW accumulation, it was observed that CML 186 was statistically superior than CML 142 and could be considered more efficient due to a lower accumulation of DDD to physiological maturity; that is, to accumulate more DW in a short grain filling period. Parent CML 186 and CML 176, showed similar behavior over the biological cycle, suggesting the possibility of employing

A partir del noveno muestreo se observaron diferencias entre el progenitor CML 142 y el resto de las líneas progenitoras, ya que éste acumuló menor cantidad de PS (412 g) al final del ciclo y requirió 743 GDD a madurez fisiológica, debido probablemente al menor vigor y rendimiento potencial en comparación con el resto de los progenitores.

Al comparar la acumulación de PS de los progenitores, se observó que CML 186 fue superior estadísticamente a CML 142, y se podría considerar más eficiente por una menor acumulación de GDD a madurez fisiológica; esto es, por acumular más PS en un periodo de llenado de grano más corto. Los progenitores CML 186 y CML 176, mostraron un comportamiento similar a lo largo del ciclo biológico; esto sugiere la posibilidad de emplear a CML 186 como progenitor femenino para la formación de cruza simples. Estos resultados confirman la aseveración que los mayores rendimientos y semilla de alta calidad, se logran al emplear cruza simples en comparación con líneas endogámicas, al presentar, un periodo de llenado de grano más largo.

En los cuatro progenitores el AF aumentó hasta cerca de la etapa de floración y fue descendiendo hasta llegar a cero (Figura 3). Esta misma tendencia fue reportada por Wolfe *et al.* (1988); Muchow y Carberry (1989). En las líneas este comportamiento fue más marcado, debido a la menor producción de materia seca final, rápida senescencia foliar y ciclo corto provocado por efectos de endogamia y reducción del rendimiento potencial. En la cruza simple CML 176*CML 142, AF siempre fue superior a las líneas con diferencias significativas del muestreo 6 al 11, que corresponden al período de llenado de grano. La superioridad en producción de AF y PS, se atribuye a la heterosis registrada por la cruza simple durante la mayor parte del ciclo biológico.

El progenitor masculino CML 142 fue ligeramente superior en área foliar en etapas posteriores a la floración, pero la acumulación de PS fue inferior en comparación con el progenitor femenino CML 176, que exhibió menor AF pero mayor PS. Es posible que exista una relación directa entre acumulación de PS y el potencial de rendimiento de cada progenitor. En muestreos posteriores a floración la mayor cantidad de PS en el progenitor CML 176, se debió principalmente a la cantidad de área foliar registrada en los muestreos preanthesis. Al respecto Fischer y Palmer (1984), reportaron una relación directa entre la acumulación de PS y la cantidad de fotoasimilados producidos por el AF. La

CML 186 as female parent for single crosses formation. These results confirm the assertion that higher yields and quality seeds are achieved by using single crosses compared to inbred lines, due to its longer grain-filling period.

In the four progenitors, LA increased until near flowering stage and was decreasing until get to zero (Figure 3). Same trend was reported by Wolfe *et al.* (1988); Muchow and Carberry (1989). On the lines, this behavior was more distinguish, due to lower final dry matter production; rapid leaf senescence and short-cycle induced by inbreeding effects and reduced yield potential. In CML 176CML 142 simple cross, the LA outpaced lines with significant differences in sample 6 to 11, corresponding to grain filling period. The superior LA and DW production is attributed to registered heterosis by simple-cross during most of the biological cycle.

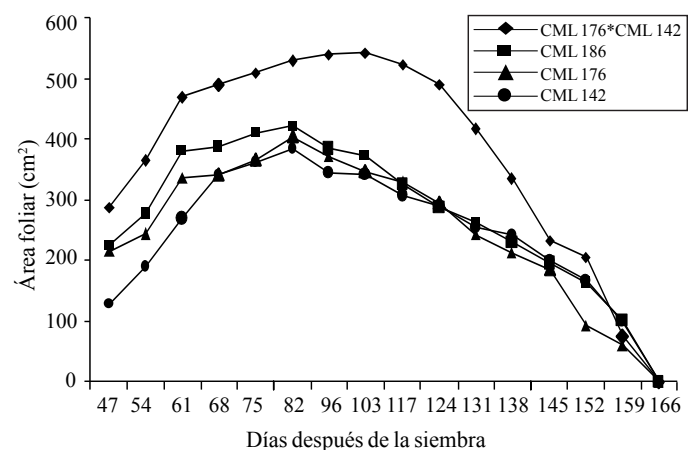


Figura 3. Área foliar de cuatro progenitores del híbrido trilineal de maíz QPM H-374C, a través del ciclo biológico.

Figure 3. Leaf area of four progenitors of the trilinear hybrid maize QPM H-374C, through biological cycle.

The CML 142 male parent was slightly higher in leaf area after flowering stages, but DW accumulation was lower compared with CML 176 female parent, which exhibited lower LA but higher DW. There may be a direct relationship between DW accumulation and yield potential of each parent. In samples after flowering, the highest amount of DW in CML 176 parent was mainly due to the leaf area amount recorded in preanthesis samples. In this regard Fischer and Palmer (1984), reported a direct relationship between the DW accumulation and photoassimilates amount produced by the LA. Male flowering of parental

floración masculina de las líneas progenitoras coincidió con el punto máximo de la curva de AF, mientras que el máximo valor de AF en la cruza simple ocurrió un muestreo antes.

El IAF y la DAF mostraron un patrón de comportamiento similar ya que dependen directamente del AF. Lo anterior demuestra que el progenitor CML 176*CML 142, al ser superior en IAF y DAF, captó mayor cantidad de radiación solar, lo que favoreció un incremento en el PS por unidad de AF. Entre la producción de PS y la DAF se observó una alta relación (mayor producción de biomasa en periodo más largo). La siembra de los progenitores en fecha tardía, provocó una disminución en el crecimiento del cultivo en la etapa reproductiva; factor que pudo haber afectado negativamente el tamaño y el número de semillas, tal como lo reportan Cirilo y Andrade (1994a y 1994b).

Un menor tamaño de semilla puede afectar su germinación y su vigor. En un lote de producción de semilla híbrida la relación del tamaño de semilla con las variables AF, IAF y DAF es importante, ya que se puede asegurar mayor cantidad de semilla comercial, si durante las etapas vegetativa y reproductiva, se logra una expresión óptima de estas variables. Aunado a ello está la fecha de siembra apropiada, en que la temperatura y la radiación van a favorecer el crecimiento óptimo del cultivo.

CONCLUSIONES

Los progenitores del híbrido H-374C mostraron diferencias en los GDD requeridos para que se presenten sus etapas fenológicas. El progenitor femenino CML 176*CML 142 y el progenitor masculino CML 186 del híbrido H-374C, se deben sembrar en la misma fecha; mientras que para la formación de la cruza simple, el progenitor masculino CML 142, se debe sembrar 30 GDD antes que el progenitor femenino CML 176, lo cual corresponde a dos días.

El progenitor femenino de cruza simple mostró mayor superioridad para las variables área foliar (AF), biomasa seca (PS), índice de área foliar (IAF), y duración de área foliar (DAF). La elección como progenitor femenino de la cruza simple CML 176*CML 142, es adecuada puesto que contribuye a incrementar el rendimiento y la calidad de semilla híbrida.

El progenitor CML 186, que fue más eficiente en la acumulación de PS, puede ser empleado como progenitor femenino en la formación de otras cruza simples.

lines coincided with the peak of the LA curve, while the LA maximum value of the single-cross occurred a sampling before.

The LAI and LAD, showed a similar behavior pattern because they directly depend on LA. This shows that CML 176*CML 142 parent, because of its superiority in LAI and LAD, it captured more solar radiation amount, which favored an increase in DW per unit of LA. Between the production of DW and LAD, there was a high correlation (higher biomass production in longer period). Planting the progenitors in later days, caused a decrease in crop growth in the reproductive stage; a factor that may have negatively affected the size and number of seeds, as reported by Cirilo and Andrade (1994a; 1994b).

A smaller seed size may affect its germination and vigor. In a lot of hybrid seed production, the seed size relationship with variables LA, LAI and LAD is important, because it can ensure more commercial seed, if during the vegetative and reproductive stages, it is achieved an optimal expression of these variables. Added to this is the proper planting date, in which temperature and radiation will promote an optimal crop growth.

CONCLUSIONS

The progenitors of hybrid H-374C, showed differences in DDD required to submit their phenological stages. The CML 176*CML 142 female parent and the CML 186 male parent of the hybrid H-374C, have to be planted at the same time; while for the simple crosses formation, the CML 142 male parent, should be planted 30 DDD before the CML 176 female parent, which corresponds to two days.

The single-cross female parent showed greater superiority for the next variables: leaf area (LA), dry biomass (DB), leaf area index (LAI) and leaf area duration (LAD). Choosing CML 176*CML 142 simple cross as the female parent, is suitable as it helps to increase the yield and quality of hybrid seeds.

The CML 186 parent, which was more efficient in DW accumulation, can be used as female parent for the formation of other single crosses.

End of the English version



LITERATURA CITADA

- Allen, J. R.; Mckee, G. W. and MCGAHEN, J. H. 1973. Leaf number and maturity in hybrid corn. *Agron. J.* 65:233-235.
- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, D. y Otegui, M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. La Barrosa, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 47 p.
- Andrade, F.; Vega, C.; Uhart, S.; Cirilo, A.; Cantarero, M. and Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39:453-459.
- Barbieri, P. A.; Sainz, H.; Andrade, F. H. and Echeverría, H. E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92:283-288.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1993a. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crop Res.* 31:233-252.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1993b. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II Responses in reproductive behavior. *Field Crop Res.* 31:253-272.
- Borras, L. and Otegui, M. 2001. Maize kernel weight response to post flowering: source-sink ratio. *Crop Sci.* 49:1816-1822.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1998. A complete listing of improved maize germplasm from CIMMYT. Maize Program Special Report. D. F., México. 94 p.
- Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1994a. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34:1039-1043.
- Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1994b. Sowing date and maize productivity: I. Kernel number determination. *Crop Sci.* 34:1044-1046.
- Coligado, M. C. and Brown, D. M. 1975. Response of corn (*Zea mays* L.) in the pre-tassel initiation period to temperature and photoperiod. *Agric. Meteorol.* 14:357-363.
- Fischer, K. S. and Palmer, A. F. E. 1984. Tropical maize. *In: Goldsworthy, P. R. and Fischer, N. M. (eds). The physiology of tropical field crops.* John Wiley & Sons. New York. 213-248 pp.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptación a las condiciones de la república mexicana). Instituto de Geografía de la UNAM. D. F., México. 246 p.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edit. Edward Arnold. Great Britain. 247 p.
- Lee, E. and Tollenaar, M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci.* 47 (Supplement 3): S202-S215.
- Mendoza, O. L. E. y Ortiz, C. J. 1973. Estimadores del área foliar e influencia del espaciamiento entre surcos, las densidades siembra y la fertilización sobre el área foliar, en relación con la eficiencia en la producción de grano en dos híbridos de maíz. *Agrociencia.* 7:57-72.
- Muchow, R. C. and Carberry, P. S. 1989. Environmental control of phenology and leaf growth in tropically adapted maize. *Field Crop Res.* 20:221-236.
- Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. *Crop Sci.* 7:171-175.
- Sala, R. G.; Andrade, F. and Westgate, M. 2007. Maize kernel moisture at physiological maturity as affected by source-sink relationship during grain filling. *Crop Sci.* 47:709-714.
- Shaw, R. H. and Thom, H. C. 1951. On the phenology of field corn, the vegetative period. *Agron. J.* 43:9-15.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. 1985. *Bioestadística, principios y procedimientos.* 2^{da}. Edición en inglés por Martínez, B. and McGraw-Hill, R. México. 662 p.
- Stevens, S. J.; Stevens, E. J.; Lee, K. W.; Flowerday, A. D. and Gardner, C. O. 1986. Organogenesis of the staminate and pistillate inflorescences of pop and dent corns: relationship to leaf stages. *Crop Sci.* 26:712-718.
- Torres, F. J. L.; Lewis, B. D.; Carballo, C. A. and Estrada, G. J. A. 2004. Técnicas para sincronizar floración en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 30(1):89-100.
- Troyer, A. F. 1986. Selection for early flowering in corn 18 adapted F₂ populations. *Crop Sci.* 26:283-285.
- Wallace, D. H.; Ozbun, J. L. and Munger, H. M. 1972. Physiological genetics of crop yield. *Adv. Agron.* 24:96-142.
- Wolfe, D. W.; Henderson, D. W.; Hsiao, T. C. and Alvino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on leaf senescence in maize. *Agron. J.* 80:859-864.