

## TEMPERATURA BASE Y TASA DE EXTENSIÓN FOLIAR DEL MAÍZ

### BASE TEMPERATURE AND LEAF EXTENSION RATE OF MAIZE

Alejandro D. García-Pacheco y Cándido López-Castañeda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Programa en Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Montecillo, Edo. de México. Tel: 01 (595) 952-0200 Ext. 1587. Fax: 01 (595) 952-0262. Correo electrónico: clc@colpos.mx

\* Autor responsable

#### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la tasa de extensión foliar (TEF) y la temperatura base ( $T_b$ ), de plántulas de nueve variedades de maíz (*Zea mays* L.) de diferentes regiones ecológicas de México, expuestas a variaciones térmicas nocturnas bajo condiciones de luz artificial. Se realizaron dos experimentos; el experimento I (E-I) y el experimento II (E-II), en Montecillo, Edo. de México. Se sembraron semillas de todas las variedades en macetas de poliestireno de 1 L de volumen; las plántulas se mantuvieron al ambiente durante la noche, con luz artificial y en cuarto oscuro durante el día. La TEF se determinó midiendo diariamente la longitud de la hoja 1 a las 18:00 y a las 6:00 h desde la emergencia de las plántulas hasta que la hoja 2 mostró la lígula. La  $T_b$  se determinó mediante un modelo de regresión lineal simple entre la TEF y la temperatura media diaria del aire a la intemperie, extrapolando la línea de regresión a un valor de cero crecimiento. En el experimento E-I, las variedades Chiautla I, Huehuetlán I y CP-560, y los compuestos Mixteca Alta A-I y Mixteca A-P, registraron mayor TEF que la variedad CP-562 y en el experimento E-II, los compuestos S y Mixteca A-P, tuvieron mayor TEF que los compuestos Pinto Salvatori y Zapalote Precoz, y la variedad CP-560. No se observaron diferencias significativas de  $T_b$  entre las variedades; el valor promedio de ésta fue 7.5 °C.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., plántulas, tasa de extensión foliar, hoja 1, temperatura base.

#### SUMMARY

The present work was conducted to study variation in leaf extension rate (LER) and base temperature ( $T_b$ ) in seedlings of nine corn (*Zea mays* L.) varieties from different ecological regions of México, exposed to thermal variations under artificial light conditions. Two experiments were conducted; experiment I (E-I) and experiment II (E-II), were carried out at Montecillo, Edo. de México. Seeds of all varieties were sown in 1 L polystyrene pots. Seedlings were maintained outdoors under artificial light at night and in dark conditions during the day. LER was determined measuring the length of leaf 1 at 18:00 and 6:00 h daily from seedling emergence up to the appearance of ligule on the second main stem leaf.  $T_b$  was determined using a linear regression model between LER and mean daily outdoors air temperature, and extrapolating the regression line to a value of zero growth. Results showed that varieties Chiautla I, Huehuetlán I and CP-560, and composites Mixteca Alta A-I and Mixteca A-P had a higher LER than variety CP-562 in experiment E-I, and composites S and Mixteca A-P had a higher LER than composites Pinto Salvatori and Zapalote Precoz, and variety CP-560 in experiment E-II. No significant differences among varieties for  $T_b$  were found in both experiments with an average value of 7.5 °C.

**Index words:** *Zea mays* L., seedlings, leaf extension rate, leaf 1, base temperature.

#### INTRODUCCIÓN

Los factores del medio físico que mayor influencia tienen sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos son la temperatura, el fotoperiodo (Aitken, 1974; Porter y Delecolle, 1988; Fischer 1983) y la vernalización (Fischer, 1983). Entre éstos, la temperatura es el factor que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas, pues determina la tasa de producción y extensión foliar que forman el dosel vegetal, a través del cual los cultivos interceptan la radiación solar y realizan la acumulación de materia seca. La aparición de órganos individuales y el desarrollo de la planta desde la etapa de plántula hasta la madurez fisiológica, puede describirse mediante la tasa de aparición de órganos y la producción de materia seca en las diferentes etapas fenológicas de las plantas.

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las especies vegetales cultivadas más estudiadas en México. Sin embargo, a la fecha no existen estudios que describan la influencia de las variaciones de los factores del medio físico, particularmente las variaciones de la temperatura, en relación con los procesos de crecimiento y desarrollo que finalmente determinan el rendimiento de las variedades mexicanas de maíz.

Por otra parte, los rendimientos de grano de maíz varían significativamente entre localidades y dentro de localidades entre años (Kiniry, 1991), situación que dificulta la selección de genotipos con mayor adaptación a las variaciones ambientales anuales en una misma localidad y entre localidades en un mismo año; en estas condiciones, la disponibilidad de datos sobre la respuesta de las plantas a las variaciones térmicas durante su ciclo biológico, podría ser útil para el cálculo de las unidades térmicas que se requieren para la iniciación y diferenciación de los órganos en la planta. La utilización de la escala de grados día (°Cd) de

desarrollo o unidades térmicas para definir el tiempo requerido para las diferentes etapas de desarrollo durante el ciclo de los cultivos, permite reducir la variación en las tasas de desarrollo entre estaciones de crecimiento y localidades de estudio, lo que podría ser útil para la selección de genotipos con amplia adaptación a diversas condiciones ecológicas.

La expansión foliar depende de tres aspectos: la tasa de formación de primordios foliares en el meristemo apical, la tasa de expansión foliar a partir de la yema apical y la expansión de las nuevas hojas hasta que alcanzan su tamaño máximo. Los procesos de iniciación, crecimiento y expansión foliar representan la expresión de los procesos de diferenciación, expansión y división celular, los cuales continúan a través del ciclo de vida de la hoja, pero la división celular predomina sobre las fases de iniciación y exposición (Aspinall, 1986). La expansión y división celulares tienen diferente sensibilidad al estrés causado por factores ambientales y pueden variar con la especie. Los procesos metabólicos y biofísicos que controlan estas respuestas del crecimiento, están fuertemente afectados por un ambiente que cambia rápidamente (Aspinall, 1986).

La tasa de desarrollo se incrementa linealmente con la temperatura desde un valor mínimo ( $T_b$ ) a un óptimo ( $T_o$ ) y después disminuye rápidamente al alcanzar un límite superior ( $T_m$ ) (Vincent, 1989). Blacklow (1972) determinó que las tasas de elongación de la radícula y de la parte aérea de plántulas de maíz, presentaron valores máximos a temperaturas de 30 °C y valores de cero a temperaturas constantes de 9 y 40 °C.

La aparición del ápice de las hojas tiene una relación lineal con la temperatura. Tollenaar *et al.* (1979) registraron una tasa de aparición del ápice de 0.0265 hojas/°Cd entre 8 y 34 °C. Hesketh y Warrington (1989) consideraron un valor de 8 °C de  $T_b$  y estimaron una tasa de aparición de hojas para plantas crecidas en condiciones de campo y en una cámara de crecimiento de 0.022 y 0.026 hojas/°Cd, respectivamente.

Las estimaciones de las tasas de aparición de las hojas y la expansión foliar son útiles para describir el desarrollo vegetativo de la planta; dicha tasa puede calcularse con el inverso de la tasa de aparición de las hojas en términos de las unidades térmicas requeridas para la aparición de cada hoja en el tallo, lo que también se conoce como filocrón; para el caso de maíz se han establecido valores de filocrón que van de 38 a 45 °Cd/aparición del ápice foliar, con una temperatura base de 8 °C (Ritchie y NeSmith, 1991).

La  $T_b$  para las plantas cultivadas se define como el valor de la temperatura del aire a la cual las plantas detienen su

crecimiento; se determina al extrapolar la línea que relaciona a la tasa de extensión foliar y la temperatura a un valor de cero crecimiento (López-Castañeda *et al.*, 1996). Se ha indicado que la  $T_b$  de maíz entre la emergencia de las plántulas y la iniciación de la espiga es de 6 °C, y para las etapas posteriores es de 8 °C (Hodges y Evans, 1992); en las etapas anteriores a la emergencia de la espiga el valor es de 9 °C, y en las etapas posteriores es de 8 °C (Grant, 1989); el proceso de alargamiento de la hoja requirió una  $T_b$  de 8.9 °C (Hesketh y Warrington, 1989).

En trigo (*Triticum aestivum* L.), la tasa de elongación en plántulas se incrementó linealmente con temperaturas entre 5 y 25 °C (Addae y Pearson, 1992); la iniciación floral, la aparición de hojas y la extensión foliar en variedades de trigo de invierno y cebada (*Hordeum vulgare* L.) de primavera, mostraron una relación lineal con la temperatura en condiciones de campo (Gallagher, 1979); la iniciación de la espiga y el número total de hojas en el tallo principal en variedades de trigo estuvieron determinadas por el fotoperiodo y la temperatura (Kiniry *et al.*, 1983; Warrington y Kanemasu, 1983).

Un problema en la determinación de las unidades térmicas o grados día que se requieren para las diferentes etapas de desarrollo de las plantas, es la disponibilidad de un valor de  $T_b$  que describa su respuesta a las variaciones térmicas del ambiente durante el ciclo biológico; se ha propuesto que los diferentes procesos de crecimiento y desarrollo requieren diferentes valores de  $T_b$  (Del Pozo *et al.*, 1987). Sin embargo, la ausencia de variación significativa de la  $T_b$  entre genotipos de trigo (Slafer y Savin, 1991) y entre y dentro de especies de cereales (López-Castañeda *et al.*, 1996), sugiere que un valor de  $T_b$  determinado en las etapas iniciales de crecimiento, cuando las plantas realizan sus procesos de extensión foliar y diferenciación de órganos, puede representar la respuesta de la planta a las variaciones térmicas durante su ciclo biológico.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar los valores de la temperatura base y la tasa de extensión foliar en etapa de plántula para variedades de maíz de diferentes regiones ecológicas de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Época y localización del área de trabajo

Se realizaron dos experimentos; el experimento I (E-I) se llevó a cabo del 18 de diciembre de 1992 al 7 de enero de 1993 con un fotoperiodo promedio diario de 10:50 h y el experimento II (E-II) del 19 de enero al 2 de febrero de 1993 con un fotoperiodo promedio diario de 11:04 h, en el Área de Resistencia Sequía del Programa en Genética del Instituto

de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP), Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México (19° 29' L. N, 98° 53' L. O y 2250 msnm) y durante el día en el interior de un cuarto oscuro, construido con rastrojo de maíz y cubierto con plástico negro dentro del invernadero.

### Material genético

En el experimento E-I se incluyeron dos variedades sintéticas de un ciclo de recombinación genética, Chiautla I (Muñoz y López-Castañeda, 1987) y Huehuetlán I (López-Castañeda y Muñoz, 1987), obtenidas para áreas de temporal o secano con problemas de sequía; dos variedades sintéticas formadas para condiciones de trópico húmedo (CP-560 y CP-562) proporcionadas por el Dr. José D. Molina Galán, y dos compuestos procedentes de la Mixteca Alta Oaxaqueña, proporcionados por el Dr. Abel Muñoz Orozco, ambos Profesores Investigadores del Programa en Genética, IREGEP (Cuadro 1). En el experimento E-II se incluyeron: CP-560, los compuestos S, Zapalote Precoz, Mixteca A-P y Pinto Salvatori (proporcionados por el Dr. Abel Muñoz Orozco) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Material genético utilizado en el estudio.

| Variedad                  | Región de origen           | Altitud (msnm) |
|---------------------------|----------------------------|----------------|
| Experimento I (E-I)       |                            |                |
| Compuesto Mixteca A-I     | Mixteca Alta Oaxaqueña     | 2111           |
| Compuesto Mixteca A-P     | Mixteca Alta Oaxaqueña     | 2111           |
| Chiautla I                | Chiautla, Puebla           | 1060           |
| Huehuetlán I              | Huehuetlán, Puebla         | 1300           |
| CP-560                    | Costa de Veracruz          | 16             |
| CP-562                    | Costa de Veracruz          | 16             |
| Experimento II (E-II)     |                            |                |
| Compuesto S               | Chapingo, Estado de México | 2250           |
| Compuesto Zapalote Precoz | Tehuantepec, Oaxaca        | 20             |
| Compuesto Mixteca A-P     | Mixteca Alta Oaxaqueña     | 2111           |
| CP-560                    | Costa de Veracruz          | 16             |
| Pinto Salvatori           | Huejotzingo, Puebla        | 2280           |

Todos los materiales se originaron en el Colegio de Postgraduados.

### Diseño experimental y premanejo de los experimentos

Se utilizaron diseños experimentales de bloques al azar con 10 repeticiones. La unidad experimental consistió de un vaso de unicel de 1 L de volumen con una mezcla 1:1 de suelo de monte con arcilla y arena, y con alto contenido de materia orgánica. Se utilizaron semillas de 300 mg de peso, que se colocaron en cajas de Petri para su germinación en una cámara a 25 °C durante tres días, para uniformizar la fecha de emergencia de las plántulas. Las plántulas así obtenidas se trasplantaron a los vasos de unicel el día 18 de diciembre de 1992 para el experimento E-I y el día 19 de enero de 1993 para el experimento E-II. La emergencia de las plántulas

ocurrió cuatro días después del trasplante en todos los materiales.

### Manejo de los experimentos

Los vasos de unicel se colocaron sobre una mesa de madera fuera del invernadero para exponer las plántulas a las bajas temperaturas nocturnas del aire, de las 18:00 a las 6:00 h. Se estableció un sistema de iluminación artificial sobre la mesa de madera con ocho lámparas incandescentes de 200 W, colocadas a una altura de 50 cm sobre los vasos de unicel. Las lámparas emitieron una radiación fotosintéticamente activa de aproximadamente 800  $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , medida con un sensor de cuantos Q 3833 (LI-COR, Inc.), integrado a la cámara del porómetro de difusión LI-1600 (LI-COR Inc.).

Los vasos se colocaron en un cuarto oscuro de las 6:00 a las 18:00 h. Las temperaturas máxima y mínima del aire se registraron con un termómetro de máxima y mínima en los dos ambientes durante el desarrollo de los experimentos (Figuras 1a-1d). La razón de haber puesto las plántulas a la intemperie durante la noche, es que las temperaturas nocturnas en el invierno son mucho más bajas que las temperaturas diurnas, condiciones que son favorables para determinar la temperatura a la cual las plántulas cesan su expansión foliar y para determinar el valor de  $T_b$  de cada variedad de maíz.

### Variables medidas

Se midió el alargamiento de la primera hoja, mediante su longitud ventral (cm) desde el inicio de la emergencia hasta que la segunda hoja presentó la lígula en la mayoría de las plántulas. Las mediciones se hicieron con una regla metálica graduada (mm); los datos se registraron diariamente a las 18:00 h (al salir del cuarto oscuro) y a las 6:00 h (al finalizar el período de exposición a la intemperie).

Se determinó la tasa de extensión foliar (TEF), definida como el incremento en longitud de la hoja ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) y se calculó para periodos de 24 h, de acuerdo con la siguiente ecuación (Del Pozo *et al.*, 1987; López-Castañeda, 1992):

$$\text{TEF} = (L_2 - L_1) / (T_2 - T_1)$$

donde,  $L_1$  y  $L_2$  son las longitudes de la hoja 1 determinadas en los tiempos  $T_1$  y  $T_2$ , respectivamente.

La  $T_b$  (°C) se determinó con un modelo de regresión lineal simple entre la TEF y la temperatura media del aire registrada durante los periodos de medición, y luego extrapolando la línea de regresión a un valor de cero crecimiento (López-Castañeda *et al.*, 1996) para cada material genético, de acuerdo con el siguiente modelo estadístico:

$$Y = a + bX + E_i$$

donde: Y representa a la TEF ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ), a representa el valor del intercepto en la ordenada al origen ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ), X es la temperatura media del aire durante los periodos de medición de longitud de la hoja ( $^{\circ}\text{C}$ ), b es la pendiente de la línea de regresión y representa la relación entre la TEF y la temperatura media del aire, y  $E_i$  es el error experimental.

**Análisis estadístico**

Se hizo un análisis de varianza para la TEF y  $T_b$ , y se aplicó la diferencia significativa honesta (DSH,  $P \leq 0.05$ ) para la comparación de medias entre los materiales genéticos.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Variación de las temperaturas extremas**

En el experimento E-I las temperaturas máximas diurnas registradas fluctuaron entre 20 y 23  $^{\circ}\text{C}$ , y las mínimas entre 4 y 14.5  $^{\circ}\text{C}$  en el cuarto oscuro, y en condiciones de intemperie durante la noche, las máximas variaron entre 12 y 16  $^{\circ}\text{C}$  y las mínimas entre -2 y 5  $^{\circ}\text{C}$ . En el experimento E-II las variaciones en las temperaturas máximas en el cuarto oscuro fueron de 18 a 26  $^{\circ}\text{C}$  y de las mínimas de 2 a 16  $^{\circ}\text{C}$ ; a la intemperie, las temperaturas máximas variaron de 13 a 24.5  $^{\circ}\text{C}$  y las mínimas de -3.5 a 10  $^{\circ}\text{C}$ .

En Canberra, Australia, se registran bajas temperaturas invernales del aire durante la noche y también durante el día en los meses de junio, julio y agosto; las temperaturas mínimas y máximas medias del aire para estos meses variaron de 1.9 a 13.1  $^{\circ}\text{C}$  (López-Castañeda, 1992; López-Castañeda *et al.*, 1996).

En el experimento E-I las temperaturas extremas del aire a la intemperie variaron de -2 a 16  $^{\circ}\text{C}$  y en el experimento E-II, de -3.5 a 24.5  $^{\circ}\text{C}$ . No obstante que las temperaturas mínimas fueron bajas (-2 y -3.5  $^{\circ}\text{C}$ ), no se observaron daños en el tejido foliar de las plántulas; otros investigadores también han observado que las plántulas de maíz pueden sobrevivir sin daño foliar o apenas con quemaduras leves al ser expuestas a temperaturas de -1  $^{\circ}\text{C}$  (Shaw *et al.*, 1954), o que las plantas pueden sufrir daños cuando el ápice meristémico se encuentra al nivel o arriba de la superficie del suelo, a temperaturas de -1.7  $^{\circ}\text{C}$ , y pueden morir si son expuestas a temperaturas de -4.4  $^{\circ}\text{C}$  (Hanna, citado por Shaw, 1988).

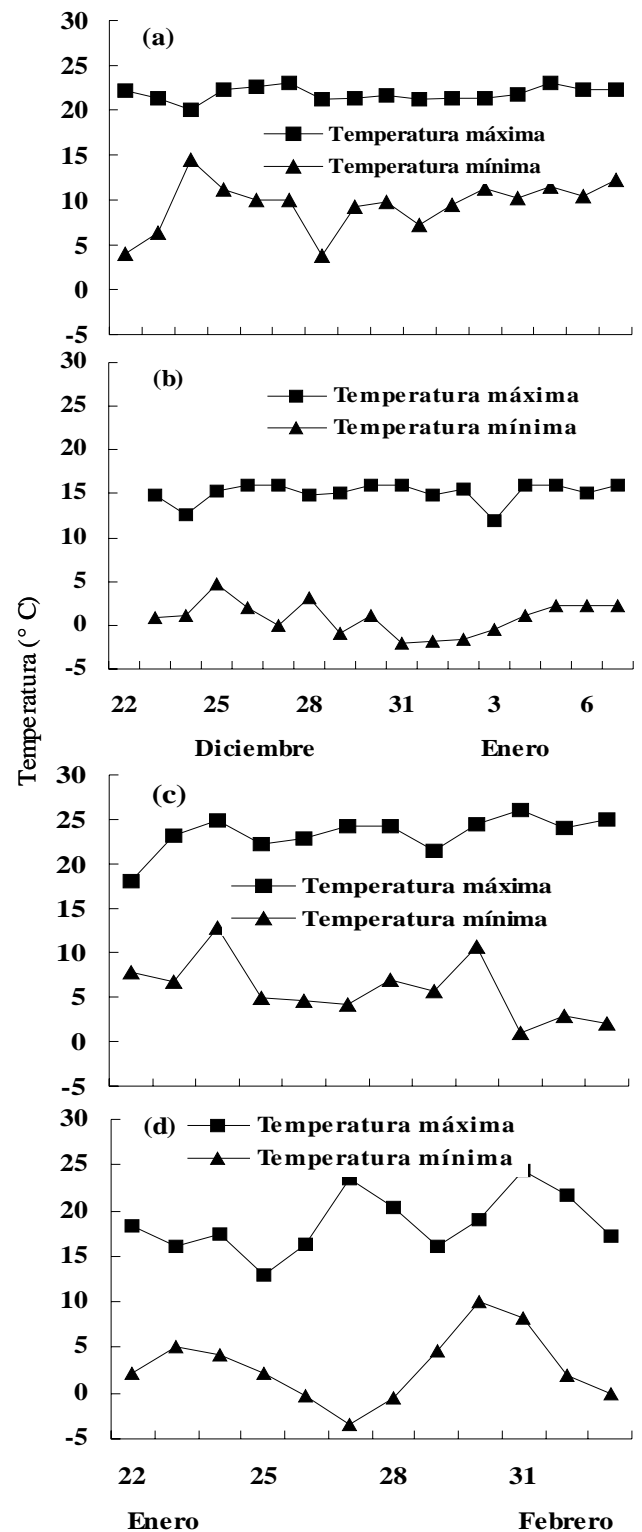


Figura 1. Temperaturas máxima y mínima diarias durante el día en el cuarto oscuro (a) y durante la noche a la intemperie bajo luz artificial (b) en el experimento I, y durante el día en el cuarto oscuro (c) y durante la noche a la intemperie bajo luz artificial (d) en el experimento II, Montecillo, Edo. de México.

### Variación en la tasa de extensión foliar

La variación en la tasa de expansión foliar (TEF) entre variedades fue significativa. En el experimento E-I la TEF varió de 46.7 a 79.5  $\mu\text{m día}^{-1}$ , con un promedio de 66.1  $\mu\text{m día}^{-1}$ ; en el experimento E-II fluctuó de 50.1 a 70.7  $\mu\text{m día}^{-1}$ , con un valor medio de 62.3  $\mu\text{m día}^{-1}$  (Cuadro 2).

En el experimento E-I, los compuestos Mixteca A-I, Mixteca A-P, Chiautla I, Huehuetlán I y CP-560, mostraron mayor TEF que la variedad CP-562. En el experimento E-II, los compuestos S y Mixteca A-P superaron al compuesto Zapalote Precoz, CP-560 y Pinto Salvatori (Cuadro 2).

La variación significativa en la TEF observada en el presente estudio es similar a la registrada entre variedades y dentro de especies de otras gramíneas en etapas iniciales de crecimiento; los genotipos de trigo harinero y triticale (*Triticosecale* Wittmaack) presentaron mayor TEF que las líneas de cebada, trigo duro (*Triticum turgidum* var. *durum*) y avena (*Avena sativa* L.), con diferencias entre genotipos y entre estas especies (López-Castañeda *et al.*, 1996). Otros estudios similares realizados en maíz, han encontrado valores de 0.0265 hojas/ $^{\circ}\text{Cd}$  con temperaturas entre 8 y 34  $^{\circ}\text{C}$  (Tollenaar *et al.*, 1979); 0.022 hojas/ $^{\circ}\text{Cd}$  en condiciones de campo, y 0.026 hojas/ $^{\circ}\text{Cd}$  en cámaras de crecimiento, con valores de 38 a 45  $^{\circ}\text{Cd}/\text{ápice foliar}$ , al utilizar una  $T_b$  de 8  $^{\circ}\text{C}$  (Hesketh y Warrington, 1989); 32.1  $^{\circ}\text{Cd}/\text{ápice foliar}$  para las hojas 2 a 5 y 45.9  $^{\circ}\text{Cd}/\text{ápice foliar}$  para las hojas subsecuentes del tallo principal (Hodges y Evans, 1992). En Queensland, Australia, se registraron valores para el intervalo del filocrón en híbridos de maíz de 61.7  $^{\circ}\text{Cd}/\text{hoja}$  para las hojas 1 a la 12, y de 35  $^{\circ}\text{Cd}/\text{hoja}$  en las hojas superiores del tallo principal (Muchow y Carberry, 1989). Birch *et al.* (1998) observaron valores para el filocrón de 33 a 53  $^{\circ}\text{Cd}/\text{hoja}$  en condiciones de campo en diferentes sitios de los Estados Unidos, Holanda y México; también observaron que el filocrón cambió con la temperatura, al aumentar 1.7  $^{\circ}\text{Cd}$  por  $^{\circ}\text{C}$  entre 12.5 y 25.5  $^{\circ}\text{C}$ .

Las discrepancias entre los valores obtenidos de las tasas de aparición de hojas entre diferentes investigadores, pueden deberse a los materiales genéticos utilizados en los estudios y a la influencia de las temperaturas registradas en las diferentes etapas de desarrollo; estas respuestas de las plantas a la temperatura muestran la importancia que este factor ambiental tiene para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y el papel que juegan estos conocimientos en el cálculo de las unidades térmicas.

Cuadro 2. Tasa de extensión foliar y temperatura base estimada cuando la extensión de la hoja cesó en cada variedad de maíz.

| Variedad                     | Tasa de extensión foliar ( $\mu\text{m día}^{-1}$ ) | Temperatura base estimada ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------------------------|---|--|
| <b>Experimento I (E-I)</b>   |   |  |
| Compuesto Mixteca Alta A-I   | 64.9 (0.97)   | 7.6  |
| Compuesto Mixteca A-P        | 71.1 (0.92)   | 7.6  |
| Chiautla I                   | 79.5 (0.95)   | 8.5  |
| Huehuetlán I                 | 64.3 (0.98)   | 7.8  |
| CP-560                       | 69.9 (0.94)   | 7.7  |
| CP-562                       | 46.7 (0.98)   | 7.1  |
| <b>Media</b>                 | <b>66.1</b>   | <b>7.7</b>                                       |
| DSH ( $P \leq 0.05$ )        | 28.3  | 1.9  |
| <b>Experimento II (E-II)</b> |   |  |
| Compuesto S                  | 70.7 (0.95)   | 7.8  |
| Compuesto Zapalote Precoz    | 50.3 (0.95)   | 8.7  |
| Compuesto Mixteca A-P        | 64.9 (0.92)   | 7.5  |
| CP-560                       | 53.4 (0.90)   | 6.4  |
| Pinto Salvatori              | 50.1 (0.98)   | 6.3  |
| <b>Media</b>                 | <b>57.9</b>   | <b>7.3</b>                                       |
| DSH ( $P \leq 0.05$ )        | 15.8  | 2.5  |
| <b>Media general</b>         | <b>62.3</b>   | <b>7.5</b>                                       |

Los números entre paréntesis representan el coeficiente de determinación de las ecuaciones de regresión lineal simple.

### Variación en la temperatura base

La temperatura base ( $T_b$ ) estimada para las variedades del experimento E-I fue 7.7  $^{\circ}\text{C}$  y para el experimento E-II fue 7.3  $^{\circ}\text{C}$ ; en promedio los dos experimentos tuvieron una  $T_b$  de 7.5  $^{\circ}\text{C}$  (Cuadro 2). Con el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas entre variedades para la  $T_b$  en ninguno de los dos experimentos. Este resultado sugiere que una  $T_b$  de 7.5  $^{\circ}\text{C}$  podría utilizarse para el cálculo de las unidades térmicas o grados día de desarrollo en las variedades de maíz de Valles Altos, zonas de altitud intermedia o zonas del trópico húmedo.

Nótese que los valores obtenidos para la  $T_b$  en los experimentos E-I y E-II, son muy similares a los obtenidos por Rench (citado por Shaw, 1988), en Iowa, Estados Unidos de América, quien determinó una  $T_b$  de 7.2  $^{\circ}\text{C}$  desde la siembra hasta la formación de la capa negra del grano; concluyó que el valor de 7.2  $^{\circ}\text{C}$  para la  $T_b$  era ligeramente mejor que los valores propuestos por Brown (citado por Shaw, 1988), para el crecimiento del maíz durante la noche de 4.4  $^{\circ}\text{C}$  y de 10  $^{\circ}\text{C}$  durante el día en Ontario, Canadá. En otras investigaciones se han obtenido valores estimados de  $T_b$  muy cercanos al obtenido en el presente estudio; Ritchie y NeSmith (1991) calcularon un valor de 8  $^{\circ}\text{C}$ , con datos de la longitud de la quinta hoja.

La ausencia de variación significativa en la  $T_b$  entre las variedades de maíz procedentes de diferentes regiones ecológicas, sugiere que un valor de 7.5  $^{\circ}\text{C}$ , puede utilizarse para el cálculo de los grados día o unidades térmicas que expresen

la temperatura requerida en las diferentes etapas de desarrollo en variedades de maíz procedentes de esas regiones. Esta información constituye una base importante para el estudio de la variación en crecimiento y desarrollo en los programas de mejoramiento genético que se enfocan a la obtención de germoplasma con amplia adaptación.

### CONCLUSIONES

La variación en la temperatura base estimada no fue significativa entre los materiales estudiados. En promedio de dos experimentos independientes, la  $T_b$  fue de 7.5 °C para todos los materiales estudiados.

Los materiales con mayor tasa de extensión foliar fueron los compuestos Mixteca A-I y Mixteca A-P, y las variedades Chiautla I, Huehuetlán I y CP-560 en el experimento I, y el Compuesto S y el Compuesto Mixteca A-P en el experimento II.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ings. Agrónomos Arturo Gutiérrez Larrazabal y Sigfrido David Morales Fernández, su valiosa colaboración en la preparación de la Figura 1 y su participación en la corrección del presente artículo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Addae P C, C P Pearson (1992)** Thermal requirements for germination and seedling growth of wheat. *Austral. J. Agric. Res.* 43: 585-594.
- Aitken Y (1974)** Flowering Time, Climate and Genotype. Melbourne University Press. Melbourne, Australia. 193 p.
- Aspinall D (1986)** Metabolic effects of water and salinity in relation to expansion of the leaf surface. *Austral. J. Plant Physiol.* 13: 59-73.
- Birch C J, J Vos, J Kiniry, H J Bos, A Elings (1998)** Phyllochron responds to acclimation to temperature and irradiance in maize. *Field Crops Res.* 59: 187-200.
- Blacklow W M (1972)** Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 12: 647-650.
- Del Pozo H A, J García-Huidobro, R Novoa, S Villaseca (1987)** Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Exp. Agric.* 23: 21-30.
- Fischer R A (1983)** Wheat. *In: Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments.* W.H. Smith, S.J. Banta (eds). International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. September, 1980. pp: 129-154.
- Gallagher J N (1979)** Field studies of cereal leaf growth. I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. *J. Exp. Bot.* 30: 625-636.
- Grant R F (1989)** Simulation of maize phenology. *Agron. J.* 81: 451-457.
- Hesketh J D, I J Warrington (1989)** Corn growth response to temperature: rate and duration of leaf emergence. *Agron. J.* 81: 696-701.
- Hodges T, D W Evans (1992)** Leaf emergence and leaf duration related to thermal time calculations in Ceres-Maize. *Agron. J.* 84: 724-730.
- Kiniry J R, J T Ritchie, R L Musser, E P Flint, W C Iwig (1983)** The photoperiod sensitive interval in maize. *Agron. J.* 75: 687-690.
- Kiniry J R (1991)** Maize phasic development. *In: Modeling Plant and Soil Systems.* J Hanks, J T Ritchie (eds). Agronomy, Monograph Series No. 31, Madison, Wisconsin, U.S.A. pp: 55-70.
- López-Castañeda C (1992)** A comparison of growth and water-use efficiency in temperate cereal crops. Ph. D. Thesis. Australian National University. Canberra, Australia. 165 p.
- \_\_\_\_\_, **A Muñoz O (1987)** Mejoramiento de la resistencia a sequía en Chiautla, Pue. III. Selección en un maíz blanco y en un colorado. *In: Memoria del Seminario "Cómo Aumentar la Producción Agropecuaria y Forestal en la Región Mixteca Oaxaqueña".* Tiltepec, Oax. México. Agosto 13-14, 1987. pp: 487-503.
- \_\_\_\_\_, **R A Richards, G D Farquhar, R E Williamson (1996)** Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36: 1257-1266.
- Muñoz O A, C López-Castañeda (1987)** Mejoramiento de la resistencia a sequía en Chiautla, Pue. II. Selección en dos maíces blancos y en un azul. *In: Memoria del Seminario "Cómo Aumentar la Producción Agropecuaria y Forestal en la Región Mixteca Oaxaqueña".* Tiltepec, Oax. México. Agosto 13-14, 1987. pp: 469-486.
- Muchow R C, P S Carberry (1989)** Environmental control of phenology and leaf growth in a tropically adapted maize. *Field Crops Res.* 20: 221-236.
- Porter J R, R Delecolle (1988)** Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. *In: Plants and temperature.* S P Long, F I Woodward (eds). Symposia of the Society for Experimental Biology Number XXXXII. The Company of Biologists Limited, Department of Zoology, University of Cambridge. Great Britain. pp: 133-156.
- Ritchie J T, S NeSmith (1991)** Temperature and crop development. *In: Modeling Plant and Soil Systems.* J Hanks, J T Ritchie (eds). Agronomy, Monograph Series No. 31, Madison, Wisconsin, U.S.A. pp: 5-29.
- Shaw R H (1988)** Climate requirement. *In: Corn and Corn Improvement.* G F Sprague, J W Dudley (eds). Agronomy, Monograph Series No.18, 3<sup>rd</sup> edition. Madison, Wisconsin, U.S.A. pp: 609-638.
- \_\_\_\_\_, **H C S Thomson, G L Barger (1954)** The climate of Iowa. I. The occurrence of freezing temperatures in the spring and fall. Iowa Agricultural Experimental Station. Special Report 8.
- Slafer G A, R Savin (1991)** Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *J. Exp. Bot.* 42: 1077-1082.
- Tollenaar M, T B Daynard, R B Hunter (1979)** Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.* 19: 363-366.
- Vincent C D (1989)** Recent advances in modelling crop response to temperature. *Outlook in Agriculture* 18 (2): 54-57.
- Warrington I J, E T Kanemasu (1983)** Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. *Agron. J.* 75: 755-761.