



Agrociencia

ISSN: 1405-3195

agrocien@colpos.mx

Colegio de Postgraduados

México

Ruiz Corral, José A.; Flores López, Hugo E.; Ramírez Díaz, José L.; González Eguiarte, Diego R.
Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz h-311 en condiciones de
temporal

Agrociencia, vol. 36, núm. 5, septiembre-octubre, 2002, pp. 569-577

Colegio de Postgraduados

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236508>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

TEMPERATURAS CARDINALES Y DURACIÓN DEL CICLO DE MADUREZ DEL HÍBRIDO DE MAÍZ H-311 EN CONDICIONES DE TEMPORAL

CARDINAL TEMPERATURES AND LENGTH OF MATURATION CYCLE OF MAIZE HYBRID H-311 UNDER RAINFED CONDITIONS

José A. Ruiz-Corral, Hugo E. Flores-López, José L. Ramírez-Díaz y Diego R. González-Eguiarte

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Parque Los Colomos s/n 2da. Sección, Colonia Providencia, Apartado Postal 6-163. Guadalajara, Jalisco, México. (ariel@cirpac.inifap.conacyt.mx)

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos determinar las temperaturas cardinales e identificar un método que estime con precisión la duración del ciclo de madurez del maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de temporal. Para ello se utilizó información fenológica y datos de temperatura obtenidos en 21 experimentos de campo en diversas localidades de los estados de Zacatecas y Jalisco, México, de 1984 a 1987. Mediante un análisis de regresión cuadrática entre la temperatura y la tasa de desarrollo, se determinó la temperatura base (Tb), la temperatura óptima (To) y la temperatura umbral máxima (Tu) para las etapas de desarrollo siembra-floración (F) y floración-madurez fisiológica (M) del híbrido de maíz H-311. Se evaluó la precisión para estimar la duración del ciclo de madurez de tres métodos: a) días promedio transcurridos (DP) de la siembra a la madurez fisiológica (SM), b) unidades calor acumuladas (UCA) para SM, calculadas con el método residual clásico (MRC) y, c) UCA calculadas para SM, con el método residual pero utilizando las temperaturas umbrales obtenidas en este estudio (MRUO). Los resultados mostraron que Tb, To y Tu tuvieron un valor de 9.4, 24.3 y 28.8 °C para F, mientras que para M los valores de Tb, To y Tu fueron 10.2, 25.7 y 30.2 °C. La mejor estimación de la duración del ciclo de desarrollo se obtuvo con MRUO. En promedio, el ciclo de madurez del H-311 se completó cuando se acumularon 1424 unidades calor, clasificándose como un híbrido de ciclo intermedio-tardío.

Palabras clave: *Zea mays* L., ciclo de madurez, temperaturas cardinales, unidades calor.

INTRODUCCIÓN

La identificación de un método para estimar con precisión las etapas fenológicas y el ciclo de madurez de los cultivos es importante porque tiene relación con el dominio de recomendación de las variedades, la producción de semilla mejorada, y los criterios de selección de variedades mejoradas en función de la

ABSTRACT

The objectives of this research were to determine the cardinal temperatures and to identify a method for an accurate estimate of the length of the maturation cycle of maize (*Zea mays* L.), under rainfed conditions. Phenological information and temperature data were used. These data were obtained in 21 field experiments, in several locations of Zacatecas and Jalisco, México, from 1984 to 1987. Quadratic regression analysis between temperature and development rate was used to obtain base temperature (Tb), optimal temperature (To), and threshold temperature (Tu) for the stages of seeding-flowering (F) and flowering-physiological maturity (M) of hybrid maize H-311. The accuracy of three methods to estimate the duration of maturity cycle was evaluated: a) average total of days (DP) from sowing to physiological maturity (SM), b) accumulated heat units (UCA) for SM, calculated with the classical residual method (MRC) and, c) UCA with residual method, but using the temperature thresholds obtained in this study (MRUO). The results showed that F had values for Tb, To, and Tu of 9.4, 24.3, and 28.8 °C, while M had values of Tb, To, and Tu of 10.2, 25.7, and 30.2 °C. The best estimate of the length of maturation cycle was obtained with MRUO. On average, the maturation cycle for H-311 was completed when 1424 heat units were accumulated, classifying this hybrid as late-intermediate.

Key words: *Zea mays* L., maturity cycle, cardinal temperatures, heat units.

INTRODUCTION

Identifying a method for a precise estimate of phenological stages and maturity cycles of crops is important, since it is related to the dominion recommendation of varieties, the production of improved seeds, and the selection criteria for improved varieties according to growth stage. The development of crops depends on temperature and photoperiod, thus biometeorological indices are required to describe this process (Robertson, 1983). The concept of heat units (UC) has been used in many crops, including maize (*Zea mays* L.) (Gilmore and Rogers, 1958; Cross and Zuber, 1972; Shaw, 1975; Neild, 1982; Eskridge and Stevens, 1987;

estación de crecimiento. El desarrollo de los cultivos depende de la temperatura y el fotoperíodo, por lo que se requiere índices biometeorológicos para describir este proceso (Robertson, 1983). El concepto de unidades calor (UC) se ha utilizado en muchos cultivos, incluyendo al maíz (*Zea mays* L.) (Gilmore y Rogers, 1958; Cross y Zuber, 1972; Shaw, 1975; Neild, 1982; Eskridge y Stevens, 1987; Ruiz *et al.*, 1998). El uso de UC incrementa la precisión para determinar la duración del ciclo de desarrollo (Russelle *et al.*, 1984; Del Pozo *et al.*, 1987; Ruiz *et al.*, 1998), pero sólo se logra si el cálculo de las UC se hace con valores cercanos a las temperaturas umbrales (máxima y mínima) que controlan el desarrollo de la especie (Ruiz *et al.*, 1992).

En ausencia de sensibilidad al fotoperíodo o necesidad de vernalización, la tasa de desarrollo de la etapa siembra-floración o de cualquier otra etapa fenológica, es una función lineal positiva de la temperatura (T) en el intervalo entre la T base (Tb) y la T óptima (To) (Summerfield *et al.*, 1989). La tasa de desarrollo tiene un valor 0 a T iguales o inferiores a la Tb, y un valor máximo para To. Arriba de la To, la tasa de desarrollo disminuye hasta una T umbral máxima (Tu). Esto corresponde a una relación sigmoidal entre la T y la tasa de desarrollo de los cultivos (Orchard, 1976). Sin embargo, para datos termo-fenológicos de campo hay dos casos comunes: a) Datos de T localizados dentro del intervalo subóptimo, y b) datos de T incluyendo los intervalos óptimo y subóptimo (Flores, 1994)². Dentro del intervalo de T subóptimas, la relación tasa de desarrollo-temperatura se describe por la siguiente expresión (Monteith, 1977):

$$1/t = \beta_0 + \beta_1 T$$

donde t es el tiempo desde el inicio hasta el final del periodo fenológico, T es la temperatura media del periodo y β_0 y β_1 son parámetros de una ecuación de regresión lineal simple y equivalen a constantes genotípicas. El valor de Tb es obtenido mediante el cociente $-\beta_0/\beta_1$ (Summerfield *et al.*, 1989).

Para datos experimentales que incluyen temperaturas óptimas y subóptimas y describen aproximadamente una curva, Robertson (1983) sugiere que la relación desarrollo-temperatura se describa con una función cuadrática. La Tb (umbral mínima), To y Tu son conocidas también como temperaturas cardinales del desarrollo y son particulares para cada especie, genotipo y etapa fenológica (Del Pozo *et al.*, 1987; Derieux y Bonhomme, 1990; Ruiz *et al.*, 1998).

Para maíz se acepta que la Tb para el crecimiento y desarrollo es de 10 °C (Cross y Zuber, 1972; Neild, 1982;

Ruiz *et al.*, 1998). The use of UC increases the accuracy when determining the length of the maturation cycle (Russelle *et al.*, 1984; Del Pozo *et al.*, 1987; Ruiz *et al.*, 1998), but this is only achieved if the UC calculation is made with values close to the threshold temperatures (maximum and minimum) controlling the development of the species (Ruiz *et al.*, 1992).

The development rate of the sowing-flowering stage or any other phenological stage, lacking sensitivity to photoperiod or need of vernalization, is a positive linear function of temperature (T) in the interval between base T (Tb) and optimal T (To) (Summerfield *et al.*, 1989). The development rate has a value of 0 at equal or lower temperatures than Tb, and a maximum value for To. Above To, the development rate decreases up to a maximum threshold temperature (Tu). This corresponds to a sigmoidal relation between T and the development rate of crops (Orchard, 1976). However, for field thermophenological data, there are two common cases: a) T data located within the suboptimal interval, and b) T data including optimal and suboptimal intervals (Flores, 1994). Within the suboptimal T interval, the development rate-temperature relationship is described by the following expression (Monteith, 1977):

$$1/t = \beta_0 + \beta_1 T$$

where t is the time from the beginning to the end of the phenological period, T the average temperature in the period, and β_0 and β_1 are parameters in a simple linear regression equation and are equivalent to genotypical constants. The value of Tb is obtained through the quotient $-\beta_0/\beta_1$ (Summerfield *et al.*, 1989).

For experimental data that include optimal and suboptimal temperatures and give an approximate description of a curve, Robertson (1983) suggests that the relation development-temperature should be described as a quadratic function. Tb (minimum threshold), To and Tu are also known as cardinal temperatures of development, and are particular for each species, genotype, or phenological stage (Del Pozo *et al.*, 1987; Derieux and Bonhomme, 1990; Ruiz *et al.*, 1998).

For maize, it is accepted that Tb for growth and development is 10 °C (Cross and Zuber, 1972; Neild, 1982; Cutforth and Shaykewich, 1989). Maize growth, without restrictions in soil moisture, generally happens when environmental T ranges between 10 and 35 °C (Singh *et al.*, 1976). These thermal thresholds, however, actually vary as a function of the genotype; 7 and 27 °C values are the most suitable for maize cultivars adapted to México highlands (Hernandez and Carballo, 1984).

² Flores L., H. 1994. Análisis agroclimático del Noreste de Jalisco, para el manejo en la producción de maíz de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 155 p.

Cutforth y Shaykewich, 1989). Sin restricciones de humedad de suelo, el crecimiento del maíz generalmente ocurre cuando la T ambiente está entre los umbrales de 10 y 35 °C (Singh *et al.*, 1976). Sin embargo, estos umbrales térmicos varían efectivamente en función del genotipo; valores de 7 y 27 °C son los más apropiados para cultivares de maíz adaptados a los valles altos de México (Hernández y Carballo, 1984). Durante el invierno en el noroeste de India, la predicción fenológica del maíz fue más precisa cuando se utilizó una Tb de 7 °C (Narwaal *et al.*, 1986). Para el periodo siembra-floración, las razas mexicanas de maíz se pueden clasificar en tres grupos: razas de elevaciones medias (subtropicales), con una Tb de 7 °C y un requerimiento térmico (RT) de 1100 UC; razas de valles altos, con una Tb de 4 °C y un RT de 1200 UC; y razas tropicales, con una Tb de 9 °C y un RT de 1000 UC (Ruiz *et al.*, 1998).

Los objetivos del presente estudio fueron determinar las temperaturas cardinales y definir un método que estime con precisión la duración del ciclo de madurez del maíz en condiciones de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos fenológicos y de temperatura registrados en 21 lotes de observación fenológica entre 1984 y 1987, sembrados en diferentes localidades de los estados de Jalisco y Zacatecas, México (Cuadro 1).

Los lotes de observación fenológica se sembraron en condiciones de temporal y con cuatro genotipos, en unidades experimentales formadas por tres surcos, con 40 plantas cada uno. El distanciamiento

During the winter in northeast India, the phenological prediction was more precise when 7 °C Tb was used (Narwaal *et al.*, 1986). For the sowing-flowering period, the Mexican races of maize may be classified in three groups: races at medium elevations (subtropical), with a Tb of 7 °C and a thermal requirement (RT) of 1100 UC; highland races with a Tb of 4 °C and RT of 1200 UC; and tropical races, with a Tb of 9 °C and RT of 1000 UC (Ruiz *et al.*, 1998).

The objectives of this study were to determine cardinal temperatures and define a method that estimates precisely the length of the maturation cycle of maize under rainfed conditions.

MATERIALS AND METHODS

Phenological and temperature data were used, recorded in 21 phenological observation plots, between 1984 and 1987, at different locations in Jalisco and Zacatecas, México (Table 1).

The phenological observation plots were sowed under rainfed conditions and with four genotypes, in experimental units of three rows, with 40 plants in each. Rows were 0.80 m apart and within-row spacings were 0.25 m, for an approximate density of 50 000 plants ha⁻¹.

Two seeds were planted per hill and thinned to one plant 3 to 4 weeks after sowing. Fertilization and control of harmful organisms was done, based on maize production recommendations for each location.

From the four genotypes sowed, only H-311 was studied, because it is a genotype with a good adaptation to central and northern-central regions of México. This genotype was obtained from adapted tropical

Cuadro 1. Características geográficas, térmicas y fechas de siembra en los ambientes de observación fenológica.

Table 1. Geographical and thermal characteristics, and sowing dates in the phenological observation environments.

Localidad	Longitud (O)	Latitud (N)	Año	Fecha siembra	Temperatura media (°C)
Tlachichila, Zacatecas	102° 47'	21° 33'	1984	Jun 16	16.2
Tayahua, Zacatecas	102° 52'	22° 04'	1984	Jun 20	20.6
Guadalajarita, Zacatecas	103° 08'	21° 19'	1984	Jun 15	23.0
Tayahua, Zacatecas	102° 52'	22° 04'	1984	Abr 13	21.2
Guadalajarita, Zacatecas	103° 08'	21° 19'	1985	Jun 18	23.0
Tayahua, Zacatecas	102° 52'	22° 04'	1985	May 06	20.9
Guadalajarita, Zacatecas	103° 08'	21° 19'	1985	Jun 22	22.2
San Pedro, Zacatecas	102° 58'	21° 45'	1986	Jun 17	19.3
Tepatitlán, Jalisco	101° 53'	21° 52'	1987	Jun 09	17.6
Tepatitlán, Jalisco	101° 53'	21° 52'	1983	Jun 23	16.9
Tepatitlán, Jalisco	101° 53'	21° 52'	1986	Jun 12	16.9
San Isidro, Zacatecas	103° 05'	21° 29'	1986	Jun 20	24.8
San Isidro, Zacatecas	103° 05'	21° 29'	1986	Jun 25	24.8
Tlachichila, Zacatecas	102° 47'	21° 33'	1984	Jun 21	16.2
Guadalajarita, Zacatecas	103° 08'	21° 19'	1984	Jun 20	23.1
San Pedro, Zacatecas	102° 58'	21° 45'	1984	Jun 18	21.0
San Pedro, Zacatecas	102° 58'	21° 45'	1985	Jun 17	21.3
Guadalajarita, Zacatecas	103° 08'	21° 19'	1985	Jun 20	23.2
Tayahua, Zacatecas	102° 52'	22° 04'	1984	Jun 15	22.4
San Isidro, Zacatecas	103° 05'	21° 29'	1986	Jun 30	24.5
Tepatitlán, Jalisco	101° 53'	21° 52'	1986	Jun 14	16.9

entre surcos fue 0.80 m y entre plantas 0.25 m, para una densidad aproximada de 50 000 plantas ha⁻¹.

Se sembraron dos semillas por golpe y se aclaró a una planta entre tres y cuatro semanas después de la siembra. La fertilización y el control de organismos dañinos se realizó de acuerdo con las recomendaciones de producción de maíz de cada localidad.

De los cuatro genotipos sembrados, sólo se estudió el híbrido H-311, porque es un genotipo con buena adaptación para la zona centro y norte-centro de México. Este material está formado con germoplasma tropical y subtropical adaptado (Gamez *et al.*, 1996) y su ciclo de madurez es representativo para las zonas subtropicales de México para los sistemas de buen temporal y punta de riego, que suman alrededor de 600 mil ha.

Variables de respuesta

Días siembra-floración masculina (F): días transcurridos desde la siembra a la fecha cuando se presentó 50% de plantas con polen disponible.

Días floración masculina-madurez (M): días transcurridos desde la fecha en que se presentó 50% de las plantas con polen hasta la fecha en que 50% de las plantas mostraron granos con capa negra.

Temperatura media diaria (T): Calculada como (TMAX + TMIN)/2, donde TMAX y TMIN son las temperaturas máxima y mínima diarias monitoreadas en cada localidad con un termómetro de máxima y mínima.

Procedimientos de análisis

Para los periodos F y M, en 13 de los 21 ambientes de observación, se obtuvieron tasas de desarrollo mediante el cálculo de 1/F y 1/M. Se graficaron estos valores en función de la temperatura para observar la tendencia de los datos. Se observó que los datos describían una forma curvilínea, por lo que se consideró adecuado utilizar el modelo de regresión cuadrática para calcular la temperatura base y la temperatura óptima:

$$\begin{aligned} 1/F &= \beta_0 + \beta_1 T_m + \beta_2 T_m^2 \\ 1/M &= \beta_0 + \beta_1 T_m + \beta_2 T_m^2 \end{aligned}$$

donde T_m es la temperatura media del periodo F y M. A partir de esta ecuación la temperatura base se estimó como se expresa en la siguiente ecuación

$$T_b = \frac{-\beta_1 + (\beta_1^2 - 4\beta_0\beta_2)^{1/2}}{2\beta_2}$$

La temperatura óptima se calculó con la ecuación

$$T_o = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$$

Una vez calculadas T_b y T_o, se determinó la temperatura umbral máxima con la identidad

and subtropical germplasm (Gamez *et al.*, 1996) and its maturation cycle is representative for subtropical regions of México, for good rainy season and semi-watering systems accounting for approximately 600 thousand hectares.

Response variables

Sowing-male flowering days (F): days passed from sowing to the date when 50% of the plants had pollen available.

Male flowering-maturity days (M): days passed from the date when 50% of the plants had pollen available until the date when 50% of the plants presented grains with black layer.

Daily average temperature (T): calculated as (TMAX + TMIN)/2, where TMAX and TMIN are daily maximum and minimum temperatures monitored at each location with a maximum and minimum thermometer.

Analysis procedures

For F and M periods, in 13 out of 21 observation environments, development rates were obtained after calculating 1/F and 1/M. These values were plotted as a function of temperature to observe the trend of data. It was noted that the data described a curvilinear pattern. Therefore it was deemed proper to use the quadratic regression model to calculate base temperature and optimum temperature:

$$\begin{aligned} 1/F &= \beta_0 + \beta_1 T_m + \beta_2 T_m^2 \\ 1/M &= \beta_0 + \beta_1 T_m + \beta_2 T_m^2 \end{aligned}$$

where T_m is the average temperature for the periods F and M. The base temperature was estimated with the equation

$$T_b = \frac{-\beta_1 + (\beta_1^2 - 4\beta_0\beta_2)^{1/2}}{2\beta_2}$$

Optimum temperature was calculated with the equation

$$T_o = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$$

After calculating T_b and T_o, maximum threshold temperature was determined with the expression

$$T_u = \frac{\ln(2C^{T_o} - C^{T_b})}{\ln C},$$

where ln is the natural logarithm and C is equal to 1.15 (Foong, 1980; after Robertson, 1983).

Duration of maturity cycle was calculated using three methods and data from eight environments under rainfed conditions: a) days passed from sowing to physiological maturity, b) accumulated daily

$$T_u = \frac{\ln(2C^{T_o} - C^{T_b})}{\ln C}$$

donde $\ln$ es el logaritmo natural y C es igual a 1.15 (Foong, 1980; citado por Robertson, 1983).

La duración del ciclo de desarrollo se calculó con datos de ocho ambientes en condiciones de temporal, con tres métodos: a) días transcurridos de siembra a madurez fisiológica, b) unidades calor diarias acumuladas (UCA) de siembra a madurez fisiológica; calculadas con el método residual clásico: $UC = T - T_b$, donde T es la temperatura media diaria, $T_b = 10^\circ\text{C}$ (Shaw, 1975; Neild, 1982; Ruiz *et al.*, 1998), y las UCA de siembra a madurez fisiológica corresponden a el requerimiento térmico del genotipo; y c) las UCA de siembra a madurez fisiológica, calculadas con el método residual, pero considerando las temperaturas umbrales para F y M obtenidas en este estudio.

La precisión en el cálculo de la duración del ciclo de desarrollo para los tres métodos anteriores, se evaluó comparando el coeficiente de variación (C.V.). El método más preciso es el que estima la duración promedio del ciclo de desarrollo con el menor C.V. (Arnold, 1959; Bonhomme *et al.*, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperaturas cardinales

Las Figuras 1 y 2 muestran la relación observada entre los datos de tasa de desarrollo del maíz y la temperatura ambiental, la cual describe una relación curvilínea. El intervalo de temperaturas explorado con los experimentos de campo abarcó niveles térmicos contenidos en

heat units (UCA) from sowing to physiological maturity, calculated with the classical residual method: $UC = T - T_b$, where T is daily mean temperature, $T_b = 10^\circ\text{C}$ (Shaw, 1975; Neild, 1982; Ruiz *et al.*, 1998), and UCA from sowing to physiological maturity correspond to the thermal requirement of the genotype; and c) UCA from sowing to physiological maturity, calculated with the residual method, but taking into consideration threshold temperatures for F and M obtained for this study.

The calculation of the maturation cycle with the aforementioned methods was evaluated for accuracy comparing the coefficient of variation (C.V.). The most precise method is the one which estimates average duration of the maturation cycle with the smallest C.V. (Arnold, 1959; Bonhomme *et al.*, 1994).

RESULTS AND DISCUSSION

Cardinal temperatures

Figures 1 and 2 show the relation observed between development rate data for maize and environmental temperature, which describes a curvilinear relationship. The interval of temperatures explored in the field experiments included thermal levels within optimal and suboptimal intervals for development of maize. Given the fitted curve it was possible to identify graphically base temperature and optimum temperature. It is easy to relate graphically T_b in the X axis with zero development, and T_o with a maximum development.

Based on the values obtained for cardinal temperatures from a quadratic model (Table 2), it is possible to conclude that development during the sowing-flowering stage takes place between T_u 9.4 °C

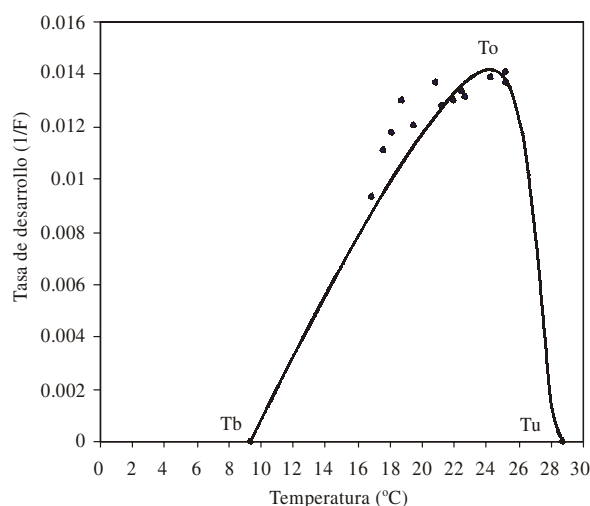


Figura 1. Relación entre temperatura y tasa de desarrollo durante el periodo siembra-floración masculina.

Figure 1. Relation between temperature and developmental rate during the planting-male flowering period.

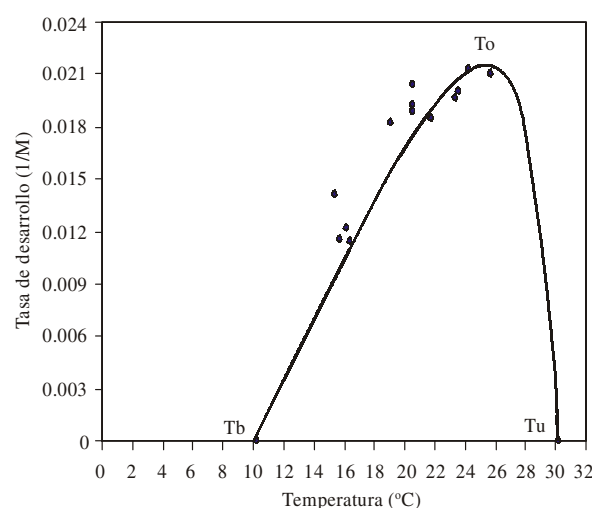


Figura 2. Relación entre temperatura y tasa de desarrollo durante el periodo floración masculina-madurez fisiológica.

Figure 2. Relation between temperature and developmental rate during the male flowering-physiological maturity period.

los intervalos subóptimo y óptimo para el desarrollo del maíz. Por el tipo de curva ajustada, fue posible identificar gráficamente la temperatura base y la temperatura óptima. Gráficamente es fácil relacionar la Tb en el eje de las X con un desarrollo cero, y la To con un desarrollo máximo.

Con base en los valores de las temperaturas cardinales obtenidos a partir de un modelo cuadrático (Cuadro 2), es posible concluir que el desarrollo durante la etapa siembra-floración se produce entre las Tu 9.4 y 28.8 °C, y para el periodo floración-madurez, entre los umbrales 10.3 y 30.2 °C.

La To también es ligeramente superior durante la etapa floración-madurez en comparación con la etapa siembra-floración (Cuadro 2), evidenciando que probablemente el cultivar H-311 requiere temperaturas más elevadas durante la etapa reproductiva que durante el periodo previo a la floración. Este patrón de diferenciación de temperaturas cardinales obtenido entre etapas fenológicas, coincide con resultados para otras especies, como *Triticum aestivum* L. (Del Pozo *et al.*, 1987; Slafer y Savin, 1991), *Helianthus annuus* L. (Ruiz, 1989) y *Psidium guajava* (L.) Burm. (Ruiz *et al.*, 1992), en las cuales también hubo temperaturas umbrales mayores durante la etapa reproductiva.

Las Tb coincidieron con las de varios cultivares tropicales y subtropicales de maíz en condiciones controladas (Singh *et al.*, 1976; Hardacre y Turnbull, 1986) y de temporal en el subtrópico templado de Jalisco (Flores, 1994), incluyendo el valor típico (10 °C) para maíz (Gilmore y Rogers, 1958; Cross y Zuber, 1972; Neild, 1982; Benacchio, 1982; Smith *et al.*, 1982; Cutforth and Shaykewich, 1989). Sin embargo, difieren de las Tb para cultivares adaptados a los valles altos de México (Hernández y Carballo, 1984) y las zonas productoras de invierno en la India (Narwaal *et al.*, 1986), cuyos valores fluctuaron alrededor de 7 °C.

Con respecto a la Tu, los valores obtenidos (28.8 y 30.2 °C) coinciden de manera muy aproximada con el umbral de 28 °C (Warrington y Kanemasu, 1983) y el de 30 °C (Smith *et al.*, 1982; Russelle *et al.*, 1984). También coinciden, con resultados que establecen una Tu de 27 °C (Hernández y Carballo, 1984) y 32 °C (Baradas, 1994). Sin embargo, difieren del valor de 35 °C consignado por Singh *et al.* (1976).

and 28.8 °C, and for the flowering-maturity stage between 10.3 °C and 30.2 °C thresholds.

Also, To is slightly higher during the flowering-maturity compared to the sowing-flowering stage (Table 2), making evident that probably H-311 crops require higher temperatures during the reproductive stage than during the period preceding flowering. This differentiation pattern for cardinal temperatures, obtained between phenological stages, agrees with the results from other species, such as *Triticum aestivum* L. (Del Pozo *et al.*, 1987; Slafer and Savin, 1991), *Helianthus annuus* L. (Ruiz, 1989), and *Psidium guajava* (L.) Burm (Ruiz *et al.*, 1992), which presented higher threshold temperatures during the reproductive stage.

Tb's were similar to those of several tropical and subtropical maize genotypes under controlled conditions (Singh *et al.*, 1976; Hardacre and Turnbull, 1986) and under rainfed conditions in the temperate subtropic of Jalisco (Flores, 1994), including the typical value (10 °C) for maize (Gilmore and Rogers, 1958; Cross and Zuber, 1972; Neild, 1982; Benacchio, 1982; Smith *et al.*, 1982; Cutforth and Shaykewich, 1989). However, they differ from Tb in varieties adapted to highlands of México (Hernández and Carballo, 1984) and in areas producing winter crops in India (Narwaal *et al.*, 1984), whose values fluctuated around 7 °C.

Regarding Tu, the values obtained (28.8 and 30.2 °C) are very close to the 28 °C threshold (Warrington and Kanemasu, 1983) and 30 °C threshold (Smith *et al.*, 1982; Russell *et al.*, 1984). They also agree with results that establish a Tu of 27 °C (Hernandez and Carballo, 1984) and 32 °C (Baradas, 1994). However, they differ from the 35 °C value stated by Singh *et al.* (1976).

To values (24.3 and 25.7 °C) for the two stages studied (Table 2) were close to the optimum interval, 24 to 30 °C (Doorendos and Kassam, 1979) and to the intervals 25 to 30 and 21 to 32 °C (Benacchio, 1982) for germination-female flowering and female flowering-maturity periods. But these values are higher than the 19-22 °C interval for crops in temperate regions (Ellis *et al.*, 1992).

The H-311 hybrid was bred from parents with tropical and subtropical germplasm (Gamez *et al.*, 1996), basically from the Tuxpeño and Celaya races. In these races Ruiz *et al.* (1998) found a base temperature of 10.0 and 8.0 °C

Cuadro 2. Parámetros de la regresión cuadrática y temperaturas cardinales para dos periodos de desarrollo en el cultivar de maíz H-311.
Table 2. Quadratic regression parameters and cardinal temperatures for two development periods in maize cultivar H-311.

Periodo	β_0	β_1	β_2	Tb	To	Tu	R ²
Siembra-Floración	-0.02330	0.003060	-0.000063	9.4	24.3	28.8	0.81
Floración-Madurez	-0.03726	0.004529	-0.000088	10.2	25.7	30.2	0.89

Tb: Temperatura base; To: Temperatura óptima; Tu: Temperatura umbral máxima.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$: Parámetros de la regresión cuadrática.

Los valores T_o (24.3 y 25.7 °C) para las dos etapas estudiadas (Cuadro 2) resultaron aproximados al intervalo óptimo 24 a 30 °C (Doorenbos y Kassam, 1979), y a los intervalos 25 a 30 °C y 21 a 32 °C (Benacchio, 1982) para los periodos germinación-floración femenina y floración femenina-madurez, respectivamente. Sin embargo, estos valores son superiores al intervalo 19 a 22 °C para cultivares de regiones templadas (Ellis *et al.*, 1992).

El híbrido H-311 se formó a partir de progenitores que tienen germoplasma tropical y subtropical (Gamez *et al.*, 1996), básicamente de las razas Tuxpeño y Celaya. Para estas razas, Ruiz *et al.* (1998) encontraron una temperatura base de 10.0 y 8.0 °C, respectivamente, durante la etapa siembra-floración. Dado que el valor de T_b para H-311 fue 9.4 °C, se puede inferir que la T_b es una característica heredable (Summerfield *et al.*, 1989). De acuerdo con las T_u obtenidas para el genotipo H-311, este híbrido tendría una mejor adaptación en ambientes tropicales y subtropicales que en zonas altas (Ruiz *et al.*, 1998).

Duración del ciclo de desarrollo

Con base en el coeficiente de variación, la mejor estimación para la duración de las etapas F y M se obtuvo con el método en que se calcula las UCA con base en las T_u obtenidas en el presente estudio, indicadas en el Cuadro 3 como $UC_{(9-29)}$ y $UC_{(10-30)}$, para F y M. Las T_u fueron redondeadas para realizar los cálculos de UC (Cuadro 2). El método residual, expresado como $UCA_{(10)}$, fue mejor para estimar que el número de días en la etapa M, pero no en la etapa F (Cuadro 3), lo cual se debió a una sobre-estimación de las UC del método residual, causada por la presencia de temperaturas máximas elevadas, por arriba de la T_u del H-311, en los sitios de observación. Éste es un punto de imprecisión del método residual en regiones tropicales y subtropicales, debido a que el cálculo de UC considera sólo la temperatura umbral mínima (T_b) y no la temperatura umbral máxima del cultivo (Medina y Ruiz, 1992).

La duración promedio del ciclo de madurez del H-311 fue 1424 UC, cantidad que se obtiene al sumar las $UCA_{(9-29)}$ y $UCA_{(10-30)}$ para F y M (Cuadro 3). De acuerdo con este valor, el cultivar se clasificaría como de ciclo intermedio-tardío (Flores, 1994).

during the sowing-flowering stage. Since the value of T_b for H-311 was 9.4 °C, we can infer that the T_b is an inheritable characteristic (Summerfield *et al.*, 1989). According to the T_u 's obtained for the H-311 genotype, this hybrid would have better adaptation in tropical and subtropical environments rather than highlands (Ruiz *et al.*, 1998).

Length of maturation cycle

Based on the coefficient of variation, the best estimation of the duration of stages F and M was with the method that calculates UCA based on the T_u obtained in this study, shown in Table 3 as $UC_{(9-29)}$ and $UC_{(10-30)}$ for F and M. The T_u were rounded up in order to calculate UC (Table 2). The residual method, expressed as $UCA_{(10)}$, was better than number of days when estimating the stage M, but not in stage F (Table 3), which was due to an over-estimate of UC with the residual method, caused by the presence of high maximum temperatures, above H-311 T_u , in the study locations. This is a point of imprecision of the residual method in tropical and subtropical regions, since the UC calculation only considers the minimal threshold temperature (T_b) and not the maximum threshold temperature of the crops (Medina and Ruiz, 1992).

The average length of the maturation cycle for H-311 was 1424 UC, obtained by adding $UCA_{(9-29)}$ and $UCA_{(10-30)}$ for F and M (Table 3). According to this value, the cultivar would be classified as of intermediate-late cycle (Flores, 1994).

Based on these results, it is evident that determining cardinal temperatures of maize genotypes is feasible with field data and even under rainfed conditions. However, to achieve this, the following two conditions must be accomplished: that in study locations the data collected guarantee environmental variability, and the genotypes in field experiments have enough water to grow, as in this study. Field researches must be complemented with studies to determine thermal threshold under controlled environments, where it would be feasible to simulate the variation of photoperiod, and specially soil moisture, since this is the most important source of variation in the phenology of species grown under rainfed conditions.

Cuadro 3. Valor promedio y variabilidad de la duración del desarrollo del híbrido H-311 estimado con tres métodos.
Table 3. Average value and variability of development duration of hybrid H-311, estimated with three methods.

Parámetro	Siembra-Floración			Floración-Madurez		
	Núm. días	$UCA_{(10)}$	$UCA_{(9-29)}$	Núm. Días	$UCA_{(10)}$	$UCA_{(10-30)}$
Media	80.08	863.05	850.38	60.46	570.25	574.12
Desv. Est.	9.66	147.58	85.28	15.62	92.10	56.33
CV (%)	12.10	17.10	10.03	25.80	16.20	9.80

Con base en estos resultados, se demuestra que es factible determinar las temperaturas cardinales de genotipos de maíz, con datos de campo y aun en condiciones de temporal. Sin embargo, para lograrlo se requiere que se cumplan las dos condiciones siguientes: que en las localidades de estudio los datos colectados garanticen variabilidad ambiental, y que los genotipos en los experimentos de campo dispongan de agua suficiente para su crecimiento, como fue el caso del presente estudio. Las investigaciones de campo deberían complementarse con estudios para determinar los umbrales térmicos en ambientes controlados, donde además sea factible simular la variación del fotoperíodo y especialmente de humedad del suelo, debido a que es la fuente de variación más importante de la fenología de especies que se cultivan en condiciones de temporal.

Los resultados también sugieren que determinar las temperaturas umbrales para calcular UCA, contribuye a cuantificar mejor el ciclo de madurez de los genotipos que si se utiliza el método residual clásico o la cuantificación del número de días transcurridos entre la siembra y la madurez. Esto puede permitir definir con mayor precisión el dominio de recomendación de las variedades comerciales, y ajustar fechas diferenciales de siembra para mejorar la sincronía floral entre los progenitores en lotes de producción de semilla híbrida de maíz.

CONCLUSIONES

Las temperaturas cardinales estimadas para el híbrido de maíz H-311 en la etapa de siembra-floración masculina (F) fueron: temperatura base (Tb) 9.4 °C (≈ 9 °C), temperatura óptima (To) 24.3 °C (≈ 24 °C) y temperatura umbral máxima (Tu) 28.8 °C (≈ 29 °C); y en la etapa de floración masculina-madurez fisiológica (M) fueron: Tb 10.2 °C (≈ 10 °C), To 25.7 °C (≈ 26 °C) y Tu 30.2 °C (≈ 30 °C).

La obtención y aplicación de los umbrales de temperatura mínimo y máximo, contribuyen a mejorar la precisión del cálculo de unidades calor, al estimar los requerimientos térmicos de las etapas de desarrollo. El método de UCA estimó mejor la duración del ciclo de desarrollo (siembra-madurez fisiológica) con los umbrales obtenidos para F y M, que el método residual clásico y el número de días transcurridos para el ciclo siembra-madurez fisiológica.

En el híbrido de maíz H-311 se requieren, en promedio, 850 UCA_(9-29 °C) para la etapa siembra-floración, y 574 UCA_(10-30 °C) para la etapa floración-madurez fisiológica.

Las temperaturas cardinales del maíz varían en función de la etapa fenológica, tendiendo a ser más altas durante la floración-madurez en comparación con la siembra-floración.

The results also suggest that determining threshold temperatures to calculate UCA helps for a better quantification of the maturation cycle of genotypes than using the classical residual method or quantifying the number of days between sowing and maturity. This may allow for a more precise definition of the dominion of recommendation for commercial varieties, and for adjusting differential dates sowing of to improve flower synchrony between parents in maize hybrid seed production.

CONCLUSIONS

The estimated cardinal temperatures for hybrid maize H-311 during the planting-male flowering stage (F) were the following: base temperature (Tb) 9.4 °C (≈ 9 °C), optimum temperature (To) 24.3 °C (≈ 24 °C), and maximum threshold temperature (Tu) 28.8 °C (≈ 29 °C). During the stage of male flowering-physiological maturity (M) Tb was 10.2 °C (≈ 10 °C), To 25.7 °C (≈ 26 °C), and Tu 30.2 °C (≈ 30 °C).

Obtaining and applying minimum and maximum temperature thresholds contribute to improve the accuracy of calculations for heat units, by estimating thermal requirements of maturation cycles. The UCA method estimated better the length of the maturation cycle (sowing-physiological maturity) with the thresholds obtained for F and M than the classical residual method and the number of days for the sowing-physiological maturation cycle.

The maize hybrid H-311 requires an average of 850 UCA_(9-29 °C) for the planting-flowering stage, and 574 UCA_(10-30 °C) for the flowering-physiological maturation stage.

The cardinal temperatures of maize vary according to the phenological stage, with a tendency to be higher during flowering-maturity than planting-flowering stage.

—End of the English version—



AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de los proyectos 96-01-031 y R-29161-B.

LITERATURA CITADA

- Arnold, C. Y. 1959. The determination and significance of base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 74: 430-445.
- Baradas, M. W. 1994. Crop requirements of tropical crops. In: *Handbook of Agricultural Meteorology*. Griffiths, J. F. (ed.). Oxford Univ. Press. New York, USA. pp: 189-202.

- Benacchio S., S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-CNIA. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Bonhomme, R., M. Derieux, and G. O. Edmeades. 1994. Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multilocation field trials. *Crop Sci.* 34:156-164.
- Cross, H. Z. and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64:351-355.
- Cutforth, H. W. and C. F. Shaykewich. 1989. Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperature and to accumulated thermal units in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69:121-132.
- Del Pozo A., H., J. García-Huidobro, R. Novoa, and S. Villaseca. 1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Exp. Agric.* 23: 21-30.
- Derieux, M. and R. Bonhomme. 1990. Heat units requirements of maize inbred lines for pollen shedding and silking: Results of the European FAO Network. *Maydica* 35: 41-46.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de cultivos. Estudios FAO: Riego y Drenaje No. 33: FAO. Roma. 212 p.
- Ellis, R. H., R. J. Summerfield, G. O. Edmeades, and E. H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Sci.* 32: 1225-1232.
- Eskridge, K. M. and E. J. Stevens. 1987. Growth curve analysis of temperature-dependent phenology models. *Agron. J.* 79: 291-297.
- Gamez V., A., M. A. Perches, H. H. Angeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. D. Terrón I. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación Especial No. 16. SAGAR-INIFAP. p. 47.
- Gilmore, E. and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50: 611-615.
- Hardacre, A. K. and H. L. Turnbull. 1986. The growth and development of maize at five temperatures. *Annals of Botany* 58: 779-787.
- Hernández L., A. y A. Carballo C. 1984. Caracterización de genotipos de maíz de valles altos por sus requerimientos de unidades calor. *Revista Chapingo* 43-44: 42-48.
- Monteith, J. L. 1977. Climate. In: *Ecophysiology of tropical crops*. T. Alvim and T. T. Kozłowski (eds.). Academic Press. New York. pp: 1-25.
- Medina G., G. y J. A. Ruiz C. 1992. SICA 2.0: Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas versión 2.0. Manual de documentación y guía del usuario. Tema didáctico Núm. 2. INIFAP-C.E. Zacatecas. Calera de V. R., Zacatecas, México. 103 p.
- Narwaal, S. S., S. Poonia, G. Singh, and D. S. Malik. 1986. Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L.). *Agric. For. Meteorol.* 38: 47-57.
- Neild, R. E. 1982. Temperature and rainfall influences on the phenology and yield of grain sorghum and maize: a comparison. *Agric. Meteorol.* 27: 79-88.
- Orchard, T. J. 1976. The constant temperature equivalent. *Scientia Hort.* 4: 299-307.
- Robertson, G. W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. Technical Note No. 180. WMO No. 620. Geneva, Switzerland. 99 p.
- Ruiz C., J. A. 1989. Determinación de la temperatura base en genotipos de girasol. In: *Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. pp: 420-425.
- Ruiz C., J. A., C. A. Ortiz S., L. Aceves N. y E. Becerril R. 1992. Caracterización fenológica del guayabo *Psidium guajava* L. *Agrociencia* 3: 95-114.
- Ruiz C., J. A., J. J. Sánchez G., and M. M. Goodman. 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 Mexican maize races. *Maydica* 43: 277-282.
- Russelle, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson, and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Sci.* 24: 28-32.
- Shaw, R. H. 1975. Growing degree units for corn in the North Central region. North Central Regional Research Publication No. 229. Iowa State Univ. IWRBBR (581): 793-808.
- Singh, P. M., J. R. Gilley, and W. E. Splinter. 1976. Temperature thresholds for corn growth in a controlled environment. *Transactions of the ASAE* 19(6): 1152-1155.
- Slafer, G. A., and R. Savin. 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat. *J. Exp. Bot.* 42(241): 1077-1082.
- Smith, P. J., A. Bootsma, and A. D. Gates. 1982. Heat units in relation to corn maturity in the Atlantic region of Canada. *Agric. Meteorol.* 26: 201-213.
- Summerfield, R. J., E. H. Roberts, and R. J. Lawn. 1989. Photo-thermal modulation of flowering in grain legumes crops. *Proc. of the Inter. Congress of Plant Physiology and Biochemistry*. New Delhi, India.
- Warrington, I. J. and E. T. Kanemasu. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. *Agron. J.* 75: 749-754.