

TEMPERATURA BASE Y TASA DE EXTENSIÓN FOLIAR EN FRIJOL

BASE TEMPERATURE AND LEAF EXTENSION RATE IN BEAN

Edwin J. Barrios-Gómez*, Cándido López-Castañeda

Genética, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.
(edwinb78@colpos.mx)

RESUMEN

La temperatura es uno de los factores abióticos más importante que influye en los procesos fisiológicos y bioquímicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se postula que la temperatura mínima de crecimiento es 10 °C. Para este propósito fue determinada la tasa de extensión foliar (TEF, $\mu\text{m d}^{-1}$) midiendo el foliolo central (mm) de la primera hoja trifoliada a las 18:00 y a las 06:00 h; además, con la TEF fue determinada la temperatura base (T_b , temperatura a la que cesa el crecimiento) en plántulas de variedades comerciales y criollas de frijol. Por tanto, dos experimentos fueron realizados a la intemperie en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. El experimento I (E-I) fue del 19 de enero al 8 de febrero y el experimento II (E-II) del 8 al 27 de febrero del 2005. Las plántulas fueron expuestas a la temperatura ambiente nocturna (E-I, máxima promedio 15.8 °C y mínima promedio 3.9 °C; E-II, máxima promedio 16.0 °C y mínima promedio 3.9 °C) de 18:00 a 06:00 h, con luz artificial (800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La TEF en el E-I fue 58.7 $\mu\text{m d}^{-1}$ y 61.5 $\mu\text{m d}^{-1}$ en el E-II, y la T_b en el E-I fue 8.2 y 8.4 °C en el E-II, con un valor promedio de 8.3 °C en ambos experimentos. Este valor de la T_b es útil para calcular los grados día o unidades calor de desarrollo en genotipos mexicanos de frijol.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., crecimiento, fenología, grados día.

INTRODUCCIÓN

La temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia del ambiente que influye en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Machado *et al.*, 2006). La sensibilidad de las reacciones bioquímicas a la temperatura tiene influencia en tales procesos; asimismo las temperaturas extremas pueden dañar las células y tejidos al favorecer la disociación de las proteínas enzimáticas y las membranas celulares (CIAT, 1981).

En condiciones naturales de cultivo las plantas están expuestas a las variaciones térmicas del medio físico y éstas tienen gran influencia en los diferen-

ABSTRACT

Temperature is one of the most important abiotic factors that influence physiological and biochemical processes in the growth and development of plants. For bean (*Phaseolus vulgaris* L.), it is postulated that the minimal temperature for growth is 10 °C. With this purpose, a foliar extension rate was calculated (FER, $\mu\text{m d}^{-1}$) by measuring the central leaflet (mm) from the first trifoliated leaf at 18:00 and 06:00 h; in addition, the base temperature (T_b , temperature at which growing stops) was calculated with the FER, in seedlings of commercial and Creole bean varieties. Therefore, two experiments were carried out in the open at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Experiment I (E-I) was from January 19th to February 8th and experiment II (E-II) from February 8th to the 27th in 2005. The seedlings were exposed to nocturnal environmental temperature (E-I, average maximum of 15.8 °C and average minimum of 3.9 °C; E-II, average maximum of 16.0 °C and average minimum of 3.9 °C) from 18:00 to 06:00 h, with artificial light (800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The FER in E-I was 58.7 $\mu\text{m d}^{-1}$ and 61.5 $\mu\text{m d}^{-1}$ in E-II, and the T_b in E-I was 8.2 and 8.4 °C in E-II, with an average value of 8.3 °C in both experiments. This value of the T_b is useful for calculating the degree-day or development units of heat in Mexican genotypes of bean.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., growth, phenology, degree-day.

INTRODUCTION

Temperature is one of the physical factors of most importance in the environment which influences processes of plant growth and development (Machado *et al.*, 2006). Sensitivity of biochemical reactions to temperature has an influence in these processes, and extreme temperatures can damage cells and tissues when favoring the dissociation of enzymatic proteins and cellular membranes (CIAT, 1981).

In natural cultivation conditions, plants are exposed to thermal variations in the physical environment and these have a great influence on the different physiological, biochemical and metabolic processes that lead to their growth and development (García-

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Noviembre, 2007. Aprobado: Agosto, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 29-35. 2009.

tes procesos fisiológicos, bioquímicos y metabólicos conducentes a su crecimiento y desarrollo (García-Pacheco y López-Castañeda, 2002). Por tanto, el estudio de la respuesta de las plantas a la temperatura es importante para determinar su influencia en el desarrollo del área foliar y la acumulación de materia seca durante el ciclo biológico de la planta (López-Castañeda *et al.*, 1996). En el caso del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), en México no está claro cuál es la temperatura base o temperatura más baja a que las hojas dejen de crecer. Qi *et al.* (1998) y Bahía *et al.* (2000) reportan una temperatura base de 4 a 10 °C dependiendo de la variedades y etapa fenológica del cultivo; de éstas la más usada en el cálculo de las unidades calor es 10 °C. La temperatura base (T_b) tiene gran importancia en el cálculo de los grados día o unidades calor (GD, °Cd) (Masle *et al.*, 1989).

Los grados día es una de las formas más correctas para medir cuánto tarda una determinada especie en alcanzar una etapa fenológica (inicio a floración, madurez fisiológica, días a antesis, etc.) ya que depende en gran medida de la temperatura. Además, determinar el mínimo de días que requiere una especie para alcanzar una etapa fenológica es muy abstracto ya que dependerá de la temperatura que prevalezca durante el ciclo biológico. Aunque la relación de las temperaturas en el desarrollo del frijol ha sido estudiada en diferentes partes de México, no hay trabajos donde se haya calculado la T_b del frijol para variedades mexicanas. Debido a las condiciones de bajas temperaturas que prevalecen en los Valles Altos en la zona Centro de México, la T_b podría ser menor a la de 10 °C, que ha sido la más usada para calcular los GD.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de extensión foliar (TEF) y T_b , temperatura a la que cesa el crecimiento, en plántulas de variedades comerciales y criollas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en condiciones favorables de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Los materiales fueron seis variedades comerciales tipo Flor de Mayo (FM) y una Flor de Junio (FJ), liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que proporcionó el Programa de frijol, Campo Experimental del Bajío, Celaya, Guanajuato. También fueron usadas 11 variedades criollas (colectas 1-9, Mich-128 y Flor de Abril) recolectadas en los estados de Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Aguascalientes (Cuadro 1).

Para cumplir los objetivos fueron establecidos dos experimentos a la intemperie en el Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México (19° 21' N, 98° 55' O; 2250 m). Semillas del

Pacheco and López-Castañeda, 2002). Therefore, the study of plant responses to temperature is important in order to determine its influence in the development of the foliar area and the accumulation of dry matter during the biological cycle of the plant (López-Castañeda *et al.*, 1996). In the case of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in México, the base temperature or the lowest temperature at which leaves stop growing is not clear. Qi *et al.* (1998) and Bahía *et al.* (2000) report a base temperature of 4 to 10 °C depending on the varieties and the phenological stage of the crop; out of these, the most used in calculating heat units is 10 °C. The base temperature (T_b) has great importance in the calculation of the degree-day or units of heat (DD, °Cd) (Masle *et al.*, 1989).

The degree-day is one of the most accurate ways of measuring how long a certain species takes to reach a phenologic stage (the beginning of flowering, days to anthesis, physiological maturity, etc.), since they depend to a great measure on temperature. Also, determining the minimum days that a species requires to reach a phenological stage is very abstract since it will depend on the temperature that prevails during the biological cycle. Although the relation between temperatures in the development of beans has been studied in different areas of México, there are no studies where the bean T_b has been calculated for Mexican varieties. Due to the conditions of low temperatures that prevail in the High Valleys of the Central area in México, the T_b could be less than 10 °C, which has been the one most used to calculate the DD.

Therefore, the objective of this study was to determine the foliar extension rate (FER) and T_b , temperature at which growth stops, in seedlings of commercial and Creole varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.), in favorable conditions for growth.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

The materials were six commercial varieties of the types Flor de Mayo (FM) and one Flor de Junio (FJ), released by the National Institute of Forest, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), Experimental Field from El Bajío, Celaya, Guanajuato, which the bean program provided. Also used were 11 Creole varieties (Collections 1-9, Mich-128 and Flor de Abril) collected in the states of Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Michoacán and Aguascalientes (Table 1).

In order to fulfill the objectives, two experiments were established in the open at the Colegio de Postgraduados in Montecillo, State of México (19° 21' N, 98° 55' W; 2250 m). Seeds of the same weight (300 mg ± 10 mg) from each variety were sown in plastic

mismo peso (300 mg $\pm$ 10 mg) de cada variedad fueron sembradas en charolas de plástico (50 $\times$ 60 cm), con sustrato preparado con una mezcla proporcional de tierra de monte, arcilla y arena, en hileras separadas a 5 cm y a una profundidad de 3 cm. Las charolas estuvieron 72 h en una cámara de germinación a una temperatura óptima de 25 °C para uniformizar el desarrollo de las plántulas (Bradford, 2002; Machado *et al.*, 2006). Las plántulas emergidas en las charolas fueron llevadas al sitio experimental, donde estuvieron a la intemperie con luz solar por 7 d para alcanzar un tamaño adecuado para realizar las mediciones.

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones; la unidad experimental fue una plántula. El experimento I (E-I) fue del 19 de enero al 8 de febrero y el experimento II (E-II) del 8 al 27 de febrero del 2005, con un fotoperíodo promedio diario de 11.1 y 11.4 h.

En los E-I y E-II las plántulas fueron expuestas a la temperatura ambiente nocturna de las 18:00 a 06:00 h, con luz artificial (800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida con un sensor cuántico (Q 3833 LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA), para tener el crecimiento de la plántula a las más bajas temperaturas posibles. Durante el día después medir en la mañana y antes de medir en la tarde (06:00 a 18:00 h), las plántulas estuvieron en un cuarto oscuro. En ambos experimentos las temperaturas (T) máximas y mínimas diarias fueron medidas con un termómetro de máxima y mínima de columna de mercurio marca Taylor. Cada día (18:00 y 06:00 h) la longitud del foliolo central (mm) de la primera hoja trifoliada (etapa V3), fue medida con un vernier digital (Truper) para determinar la tasa de extensión foliar $TEF = [(L_2 - L_1)/(t_2 - t_1), \mu\text{m d}^{-1}]$, donde L_1 y L_2 son la longitud del foliolo central de la primera hoja trifoliada medida a las 18:00 (t_1) y 06:00 h (t_2).

La T_b (°C) fue calculada con un modelo de regresión lineal simple entre la TEF y la temperatura media (TM , °C) del aire, registrada entre los periodos de medición: $Y = a + bX + E_i$, donde Y es la TEF ($\mu\text{m d}^{-1}$); a es el valor del intercepto en la ordenada al origen ($\mu\text{m d}^{-1}$); X es la TM (°C) durante los periodos de medición de longitud de la hoja; b es la pendiente de la línea de regresión y representa la relación entre la TEF y la TM ; E_i es el error experimental. Con la ecuación de la recta y asignando el valor de cero a Y (TEF), fue calculado el valor de la T_b para cada variedad (Qi *et al.*, 1998; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006).

La T_b en diferentes etapas fenológicas de diversas especies ha sido calculada usando el mismo modelo de regresión entre una fase fenológica y la temperatura: con la tasa de germinación en especies de pastos (Steinmaus *et al.*, 2000); en frijol común en germinación (Etapa V0) (White y Montes, 1993; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006); al inicio de la floración (Etapa R5); en emergencia (Etapa V1), floración y formación de vainas (Etapa R7), y al inicio de la madurez fisiológica (Etapa R9) (Dapaah *et al.*, 1999; Bahia *et al.*, 2000).

Análisis estadístico

Para los experimentos individuales fue usado el diseño experimental completamente al azar: $Y_{ij} = \mu + V_i + E_{ij}$, donde Y_{ij} es el

Cuadro 1. Variedades de frijol utilizadas en los experimentos.
Table 1. Bean varieties used in the experiments.

Genotipo	Procedencia
Flor de Mayo M38	INIFAP [†]
Flor de Mayo Corregidora	INIFAP [†]
Flor de Mayo Sol	INIFAP [†]
Flor de Mayo RMC	INIFAP [†]
Flor de Mayo Bajío	INIFAP [†]
Mich-128	CP [‡]
Flor de Junio Marcela	INIFAP [†]
Flor de Mayo Anita	INIFAP [†]
Flor de Abril	CP [‡]
Criollo 1	CP [§]
Criollo 2	CP [§]
Criollo 3	CP [§]
Criollo 4	CP [§]
Criollo 5	CP [§]
Criollo 6	CP [§]
Criollo 7	CP [§]
Criollo 8	CP [§]
Criollo 9	CP [§]

[†] Variedades liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), y proporcionadas por el Dr. Jorge A. Acosta Gallegos.

[‡] Material proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Posgraduados.

[§] Materiales donados por el Dr. Cándido López Castañeda, Colegio de Posgraduados.

trays (50 $\times$ 60 cm), with a substrate prepared with a proportional mixture of soil from the ground, clay and sand, in rows at a distance of 5 cm and depth of 3 cm. The trays were placed in a germination chamber for 72 h, at an optimal temperature of 25 °C to make the development of the seedlings uniform (Bradford, 2002; Machado *et al.*, 2006). The seedlings that emerged in the trays were taken to the experimental site, where they remained in the open with sunlight for 7 d in order to reach an adequate size to carry out the measurements.

The experimental design was fully randomized with 10 repetitions; the experimental unit was one seedling. Experiment I (E-I) was from January 19th to February 8th and experiment II (E-II) from February 8th to the 27th in 2005, with a daily average photoperiod of 11.1 to 11.4 h.

In E-I and E-II, the seedlings were exposed to the nocturnal environmental temperature from 18:00 to 06:00 h, with artificial light (800 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) measured with a quantum sensor (Q 3833 LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA), so as to have the growth of the seedling at the lowest temperatures possible. During the day, after measuring in the morning and before measuring in the afternoon (06:00 to 18:00 h), the seedlings remained in a dark room. In both experiments, the daily maximum and minimum temperatures (T) were measured with a thermometer of mercury column maximum and minimum of Taylor® brand. Each day (18:00 and 06:00 h), the length of the central leaflet (mm) of the first trifoliated leaf (stage V3) was measured with a digital vernier (Truper®) in order to determine the foliar extension rate $FER = [(L_2 - L_1)/(t_2 - t_1), \mu\text{m d}^{-1}]$, where L_1 and L_2 are the

valor de la variable respuesta del tratamiento i en su repetición j ; μ es la media general; V_i el efecto de variedades; E_{ij} el error experimental. El diseño experimental fue completamente al azar y con un arreglo factorial de tratamientos: $Y_{ijk} = \mu + H_i + V_j + HV_{ij} + E_{ijk}$, donde Y_{ijk} es el valor de la variable respuesta correspondiente al nivel i , del H al nivel j de V en la repetición k ; μ es la media general; H_i y V_j son efectos de los niveles i y j de los factores H (experimentos) y V (variedades); HV_{ij} es la interacción de los factores H y V ; E_{ijk} es el error experimental para detectar diferencias significativas entre variedades y experimentos, para la TEF y T_b . El programa SAS (2004) fue usado para el análisis de varianza y la diferencia significativa honesta o de Tukey (DSH, $p \leq 0.05$) para comparar medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de las temperaturas a la intemperie y en la oscuridad

En el E-I las temperaturas (T) más altas a la intemperie durante la noche fluctuaron de 13 a 17 °C y las más bajas de 2 a 5 °C; durante el día en el cuarto oscuro las T más altas fluctuaron de 16 a 21 °C y las más bajas de 4 a 7 °C. En el E-II las T más altas a la intemperie durante la noche fluctuaron de 15 a 17 °C y además sólo las T más altas fueron mayores que las observadas en el E-I; en el E-II durante el día en el cuarto oscuro las T más altas fueron de 16 a 24 °C. Las T más bajas en los experimentos E-I y E-II fueron 2 y 5 °C y la T mínima promedio fue 3.9 °C.

En ambos experimentos las T mínimas del aire a la intemperie fueron bajas y no se observaron daños en las láminas foliares de las plántulas. Estos resultados coinciden con los de otros autores quienes reportan crecimiento sin daño entre 4 a 10 °C (Bahia *et al.*, 2000; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006). También es probable que las bajas temperaturas ocurrieron en un lapso corto de tiempo, sin dañar las láminas foliares. Los resultados del presente estudio contradicen lo reportado por Singh (1991), quien menciona que las T menores de 15 °C cambian el crecimiento y desarrollo del frijol dañando las láminas foliares. Raper y Kramer (1987) encontraron daño a T de 10-15 °C, en sojas de origen subtropical, y que el grado de daño depende de la severidad y duración de las bajas T y del nivel de radiación total. Plántulas de maíz sometidas a T de -2 a 5 °C y -3 a 10 °C tampoco sufrieron daño por la T mínima (García-Pacheco y López-Castañeda, 2002).

La temperatura máxima promedio en el E-II fue 16.0 °C seguido por el E-I con 15.8 °C. Lo anterior sugiere que las diferencias en T_b y TEF entre experimentos fueron probablemente debidas a estas diferencias en temperaturas.

length of the central leaflet of the first trifoliated leaf measured at 18:00 (t_1) and 06:00 (t_2).

The T_b (°C) was calculated with a simple linear regression model between the FER and the average temperature (AT , °C) in the air, registered between the measurement periods: $Y = a + bX + E_i$, where Y is the FER ($\mu\text{m d}^{-1}$); a is the value of the y intercept at the origin ordinate ($\mu\text{m d}^{-1}$); X is the AT (°C) during the periods of measurement of the leaf length; b is the regression line slope and represents the relation between FER and AT ; E_i is the experimental error. With the line equation, and assigning the value of zero to Y (FER), the value for T_b was calculated for each variety (Qi *et al.*, 1998; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006).

The T_b in different phenological stages of various species has been calculated using the same regression model between a phenological phase and the temperature: for the germination rate in grass species (Steinmaus *et al.*, 2000); in common beans for germination (Stage V0) (White and Montes, 1993; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006); at the beginning of flowering (Stage R5); at emergence (Stage V1), flowering and pod formation (Stage R7), and at the beginning of physiological maturation (Stage R9) (Dapaah *et al.*, 1999; Bahia *et al.*, 2000).

Statistical analysis

For individual experiments, a fully randomized experimental design was used: $Y_{ij} = \mu + V_i + E_{ij}$ where Y_{ij} is the value of the variable response to treatment i in its j repetition; μ is the general average; V_i the effect of varieties; E_{ij} the experimental error. The experimental design was fully randomized and with a factorial arrangement of treatments: $Y_{ijk} = \mu + H_i + V_j + HV_{ij} + E_{ijk}$, where Y_{ijk} is the value of the corresponding response variable at the i level, from H at the j level of V in the k repetition; μ is the general average; H_i and V_j are the effects of the i and j levels of the H (experiments) and V (varieties) factors; HV_{ij} is the interaction of the H and V factors; E_{ijk} is the experimental error to detect significant differences between varieties and experiments, for FER and T_b . The SAS (2004) program was used for the variance analysis and the honest or Tukey (DSH, $p \leq 0.05$) significant difference in order to compare averages.

RESULTS AND DISCUSSION

Variation of temperatures in the open and in darkness

In E-I, the highest temperatures (T) in the open during the night fluctuated from 13 to 17 °C and the lowest from 2 to 5 °C; during the day in the dark room, the highest T fluctuated from 16 to 21 °C and the lowest from 4 to 7 °C. In E-II, the highest T in the open during the night fluctuated from 15 to 17 °C and in addition only the highest T s were higher than those observed in E-I; in E-II during the day in the dark room, the highest T s were from 16 to 24 °C. The

Tasa de extensión foliar

En ambos experimentos hubo un menor crecimiento de la longitud de la hoja en el cuarto oscuro, a pesar que se presentaron temperaturas más altas. Esto se debió posiblemente a que estas plantas estuvieron en oscuridad completa, donde el crecimiento es casi nulo (Díaz Ruiz *et al.*, 1999).

La *TEF* con las bajas temperaturas de la noche simulando el día, presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en promedio de experimentos y en forma individual. La *TEF* en el experimento E-I fue muy similar a la del experimento E-II; en promedio de todas las variedades en E-I fue $58.7 \mu\text{m d}^{-1}$ y $61.5 \mu\text{m d}^{-1}$ en E-II. Las variedades FM M38, FM Corregidora, FM Sol, FM Anita, Flor de Abril y las Colectas 5, 7 y 8 mostraron la mayor *TEF* en el experimento E-I; las variedades FM M38, FM Corregidora, FM Sol, FM Bajío, FM Anita, Flor de Abril y las Colectas 5, 7 y 8 mostraron mayor *TEF* en E-II. Las variedades FM Corregidora, Colecta 8, FM Sol, FM Bajío, Flor de Abril, FM Anita, Colecta 5, Colecta 7 y FM M38 tuvieron mayor *TEF* al promediar E-I y E-II (Cuadro 2).

La variación significativa en la *TEF* en el presente estudio fue similar a la observada en plántulas

lowest T in experiments E-I and E-II were 2 and 5 °C and the minimum average T was 3.9 °C.

In both experiments, the minimum air T in the open were low and no damages were observed in the foliar lamina of the seedlings. These results coincide with those of other authors who report growth without damage between 4 and 10 °C (Bahia *et al.*, 2000; Trevizan *et al.*, 2004; Machado *et al.*, 2006). It is also likely that the low temperatures occurred in a short lapse of time, without damaging the foliar lamina. The results of this study contradict what was reported by Singh (1991), who mentioned that T lower than 15 °C change the growth and development of beans, damaging foliar lamina. Raper and Kramer (1987) found damage at T of 10-15 °C, in soy of sub-tropical origin and reported that the degree of damage depends on the severity and duration of the low T and the level of total radiation. Corn seedlings that underwent T of -2 to 5 °C and -3 to 10 °C also did not suffer damages because of the minimum T (García-Pacheco and López-Castañeda, 2000).

The maximum average temperature in E-II was 16.0 °C followed by E-I with 15.8 °C. This suggests that the differences in T_b and *FER* between experiments were probably due to these differences in temperatures.

Cuadro 2. Tasa de extensión foliar (*TEF*) y temperatura base (T_b) en cada genotipo de frijol, en los Experimentos I y II, y en promedio de experimentos. Montecillo, estado de México. 2005.

Table 2. Foliar extension rate (*FER*) and base temperature (T_b) in each bean genotype, in experiments I and II and in the average of both experiments. Montecillo, State of México. 2005.

Genotipo	Experimento I (E-I)			Experimento II (E-II)			Promedio	
	TEF ($10^{-3} \mu\text{m d}^{-1}$)	Ecuación de la recta	T_b (°C)	TEF ($10^{-3} \mu\text{m d}^{-1}$)	Ecuación de la recta	T_b (°C)	TEF ($10^{-3} \mu\text{m d}^{-1}$)	T_b (°C)
FM M38	60.2 (0.93)	$y = 17.54x - 143.8$	8.2	64.1 (0.91)	$y = 13.79x - 115.8$	8.4	62.2	8.3
FM Corregidora	66.3 (0.91)	$y = 15.68x - 123.8$	7.9	70.6 (0.94)	$y = 16.28x - 130.5$	8.0	68.5	8.0
FM Sol	63.4 (0.95)	$y = 16.69x - 135.6$	8.1	65.7 (0.93)	$y = 14.54x - 122.4$	8.4	64.6	8.3
FM RMC	58.5 (0.93)	$y = 18.33x - 150.3$	8.2	61.3 (0.90)	$y = 16.53x - 137.6$	8.3	59.9	8.3
FM Bajío	61.7 (0.96)	$y = 17x - 139.4$	8.2	65.6 (0.92)	$y = 17.07x - 141.9$	8.3	63.7	8.3
Mich-128	51.2 (0.94)	$y = 17.21x - 144.6$	8.4	53.7 (0.96)	$y = 14.86x - 127.8$	8.6	52.5	8.5
FJ Marcela	58.3 (0.92)	$y = 13.87x - 115.1$	8.3	60.2 (0.91)	$y = 15.44x - 131.3$	8.5	59.3	8.4
FM Anita	61.1 (0.90)	$y = 15.65x - 126.8$	8.1	65.4 (0.90)	$y = 14.26x - 116.9$	8.2	63.3	8.2
Flor de Abril	61.6 (0.93)	$y = 15.33x - 130.3$	8.5	65.5 (0.93)	$y = 16.2x - 139.4$	8.6	63.6	8.6
Criollo 1	52.3 (0.92)	$y = 20.35x - 158.7$	7.8	53.8 (0.96)	$y = 15.59x - 126.3$	8.1	53.1	8.0
Criollo 2	51.8 (0.93)	$y = 18.2x - 149.4$	8.2	56.9 (0.92)	$y = 17.57x - 144.7$	8.2	54.4	8.2
Criollo 3	55.9 (0.90)	$y = 15.74x - 129.4$	8.2	58.8 (0.94)	$y = 18x - 151.2$	8.4	57.4	8.3
Criollo 4	52.6 (0.92)	$y = 16.4x - 131.6$	8.0	55.9 (0.92)	$y = 15.75x - 130.7$	8.3	54.3	8.2
Criollo 5	62.3 (0.91)	$y = 17.56x - 140.5$	8.0	64.1 (0.91)	$y = 18.71x - 155.3$	8.3	63.2	8.2
Criollo 6	56.8 (0.94)	$y = 15.55x - 129.4$	8.3	58.2 (0.95)	$y = 16.35x - 137.5$	8.4	57.5	8.4
Criollo 7	61.9 (0.91)	$y = 15.93x - 133.8$	8.4	64.4 (0.91)	$y = 13.43x - 116.8$	8.7	63.2	8.6
Criollo 8	64.7 (0.95)	$y = 19.09x - 160.4$	8.4	65.7 (0.90)	$y = 16.04x - 136.3$	8.5	65.2	8.5
Criollo 9	56.2 (0.96)	$y = 19.07x - 152.7$	8.0	56.9 (0.94)	$y = 17.48x - 145.7$	8.3	56.6	8.2
Media	58.7	-	8.2	61.5	-	8.4	60.1	8.3
DSH ($p \leq 0.05$)	7.1	-	0.8	9.2	-	0.9	3.2	0.6
CV (%)	7.9	-	2.3	7.9	-	2.1	7.8	2.1

Los números entre paréntesis representan el coeficiente de regresión lineal simple (R^2).

de nueve variedades mexicanas de maíz en la intemperie (García-Pacheco y López-Castañeda, 2002) y en plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*Triticale* spp.) y avena (*Avena sativa* L.) (López-Castañeda *et al.*, 1996). Una alta tasa de expansión foliar es deseable para que los cultivos logren una rápida cobertura del suelo y la reducción sustancial de las pérdidas de humedad por evaporación directa del suelo, en condiciones de buena humedad o deficiencias hídricas. Esta alta *TEF* también es deseable como un síntoma de alto vigor inicial para un crecimiento más rápido de sus hojas en estas variedades.

Variación en la temperatura base (T_b)

La diferencia de la T_b promedio de ambos experimentos, así como la de los experimentos individuales no fue significativa. En el E-I la T_b varió de 7.8 a 8.4 °C y en el E-II varió de 8.0 a 8.7 °C. El valor promedio de la T_b fue 8.2 °C en el E-I y 8.4 °C en E-II. La T_b encontradas en este estudio fueron menos heterogéneas respecto a otros estudios con frijol: 1) en una variedad de frijol pinto en Nueva Zelanda la T_b varió de 5 a 9 °C para diferentes etapas de desarrollo, y sólo en la etapa de emergencia a floración la T_b fue constante de 7 °C (Dapaah *et al.*, 1999); 2) en tres variedades de frijol común en Brasil y diferentes etapas de desarrollo, la T_b varió de 6 a 10 °C (Bahia *et al.*, 2000); 3) en varios cultivares de frijol común en la etapa de germinación la T_b varió de 6 a 12 °C (Machado *et al.*, 2006). Además, Qi *et al.* (1998), Bahia *et al.* (2000) y Trevizan *et al.* (2004) sugieren que para cada etapa y para cada variedad se tiene una T_b . Lo segundo es aceptable y se corrobora en el presente trabajo con variedades mexicanas de frijol, pero la T_b en diferentes etapas fenológicas puede ocurrir sólo si en esas etapas hay bajas T , las cuales no ocurrieron en todo el ciclo del cultivo.

El análisis de los resultados en el presente estudio sugiere que una T_b de 8.3 °C podría ser usada para calcular los GD de desarrollo en las variedades mexicanas de frijol. Cada variedad podría tener su propia T_b , pero el valor calculado en el presente estudio es más aproximado porque se usaron variedades mexicanas. En cambio no tiene caso usar el valor de T_b de 10 °C (el más comúnmente utilizado) debido a que es un valor calculado en otro país, con diferentes variedades y en ambientes muy diferentes a los de México.

CONCLUSIONES

Los experimentos a la intemperie durante las noches permitieron exponer las plantas de frijol a

Foliar extension rate

In both experiments there was a lower growth in leaf length in the dark room, although there were higher temperatures. This was possibly due to the fact that these plants were in total darkness, where growth is almost null (Díaz Ruiz *et al.*, 1999).

The *FER* with the low temperatures of night simulating day presented significant differences ($p \leq 0.05$) in the average for both experiments and individually. The *FER* in experiment E-I was very similar to that of experiment E-II; the average of all the varieties in E-I was $58.7 \mu\text{m d}^{-1}$ and $61.5 \mu\text{m d}^{-1}$ in E-II. The FM M38, FM Corregidora, FM Sol, FM Anita, Flor de Abril varieties and Collections 5, 7 and 8, showed the greatest *FER* in experiment E-I; varieties FM M38, FM Corregidora, FM Sol, FM Bajío, FM Anita, Flor de Abril and collections 5, 7 and 8, showed the greatest *FER* in E-II. The varieties FM Corregidora, Collection 8, FM Sol, FM Bajío, Flor de Abril, FM Anita, Collection 5, Collection 7 and FM M38 had a greater *FER* when averaging E-I with E-II (Table 2).

The significant variation in the *FER* in this study was similar to the one observed in seedlings of nine Mexican corn varieties grown in the open (García-Pacheco and López-Castañeda, 2002) and in barley (*Hordeum vulgare* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), triticale (*Triticale* spp.) and oat (*Avena sativa* L.) seedlings (López-Castañeda *et al.*, 1996). A high rate of foliar expansion is desirable for crops to achieve a rapid cover of the soil and thus a substantial reduction in losses of humidity because of direct evaporation from the soil, in conditions of good humidity or of water deficiencies. This high *FER* is also desirable as a character of high initial vigor for a faster growth of the leaves in these varieties.

Variation in base temperature (T_b)

The difference in average T_b in both experiments, as well as that from individual experiments was not significant. In E-I the T_b varied from 7.8 to 8.4 °C and in E-II it varied from 8.0 to 8.7 °C. The average value for the T_b was 8.2 °C in E-I and 8.4 °C in E-II. The T_b found in this study were less heterogeneous as compared with other studies with beans: 1) in a variety of pinto beans in New Zealand, the T_b varied from 5 to 9 °C for different stages of development, and only in the emergence to flowering stages the T_b was constant at 7 °C (Dapaah *et al.*, 1999); 2) in three varieties of common bean in Brazil and different stages of development, the T_b varied from 6 to 10 °C (Bahia *et al.*, 2000); 3) in various common bean

temperaturas suficientemente bajas como para realizar un cálculo más realista de la T_b . En el E-I la T_b promedio fue 8.2 y 8.4 °C para el E-II. El valor de T_b de 10 °C, usado comúnmente, es muy alto. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio para variedades mexicanas el valor de T_b es menor (8.3, en promedio de ambos experimentos), y debe ser usado para calcular los grados día.

Las variedades con mayor tasa de extensión foliar, en promedio de los E-I y E-II fueron: FM Corregidora, Colecta 8, FM Sol, FM Bajío, Flor de Abril, FM Anita, Colecta 5, Colecta 7 y FM M38.

AGRADECIMIENTOS

A Juan Alvarado Espinoza y Fidel Pérez Romero, por su apoyo en la parte experimental de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Bahia, W., E. O. Brunini, M. Trevizan B., J. Lopes de C., P. Boller G., R. A. Dias K., A. L. Mello M., J. C. Alves P., N. Bartoletto, E. Martins P., M. Sakai, L. A. Saes, E. J. Ambrosano, S. A. Moraes C., e L. C. Paterno S. 2000. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. *Rev. Bras. Agrometeorol. Santa Maria* 8: 55-61.
- Bradford, K. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248-260.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1981. Studies of yield-limiting factors. Bean Program Annual Report 1980. Cali, Colombia. 87 p.
- Dapaah, K. H., A. B. McKenzie, and G. D. Hill. 1999. Effects of irrigation and sowing date phenology and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Canterbury, New Zealand. *NZ. J. Crop Hort. Sci.* 27: 297-305.
- Díaz Ruiz, R., J. Kohashi Shibata, P. Yáñez Jiménez, y A. Escalante Estrada. 1999. Crecimiento, asignación de materia seca y senescencia de plántulas de frijol común en oscuridad. *Agrociencia* 33:313-321.
- García-Pacheco, A. D., y C. López-Castañeda. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. 2002. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 381-386.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, G. D. Farquhar, and R. E. Williamson. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36: 1257-1266.
- Machado N., N. B., M. Regina P., A. B. Gatti, and V. J. Mendes C. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Sci. Agron.* 28:155-164.
- Masle, J., G. Doussinault, G. D. Farquhar, and B. Sun. 1989. Foliar stage in wheat correlates better to photothermal time than to thermal time. *Plant, Cell and Environ.* 12: 235-247.
- Qi, A., J. B. Smithson, and R. J. Summerfield. 1998. Adaptation to climate in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): Photothermal flowering responses in the Eastern, Southern and Great Lakes Regions of Africa. *Exp. Agric.* 34: 153-170.
- Raper C., D. Jr., and J. P. Kramer. 1987. Stress physiology. In: Wilcox, J. R. (ed). *Soybeans: Improvement, Production and Uses. Agronomy Monograph No. 16. USA.* pp: 589-641.
- Steinmaus, S. J., T. S. Prater, and J. S. Holt. 2000. Estimation of base temperatures for nine weed species. *J. Exp. Bot.* 51: 275-286.
- cultivars in the germination stage, the T_b varied from 6 to 12 °C (Machado *et al.*, 2006). Besides, Qi *et al.* (1998), Bahia *et al.* (2000) and Trevizan *et al.* (2004) suggest that for each stage and for each variety there is a T_b . The latter is acceptable and corroborated in this study with Mexican bean varieties, but the T_b in different phenological stages can occur only if in these stages there are low T, which did not occur in the whole cultivation cycle.
- The analysis of the results in this study suggests that a T_b of 8.3 °C could be used in order to calculate the DD of development in the Mexican bean varieties. Each variety could have its own T_b , but the value calculated in the present study is more approximate because Mexican varieties were used. Instead, there is no purpose in using a T_b value of 10 °C (the most commonly used) due to the fact that it is a value calculated in another country, with different varieties and in environments that are very different from those in México.

CONCLUSIONS

The experiments in the open during the nights allowed exposing the bean plants to temperatures that were sufficiently low so as to carry out a more realistic calculation of the T_b . In E-I, the average T_b was 8.2 and 8.4 °C for E-II. The value of T_b of 10 °C commonly used is too high. According to the results obtained in this study for the Mexican varieties, the value of T_b is lower (8.3 in average for both experiments), and should be used to calculate the degree-day.

The varieties with greatest foliar extension rate in average from E-I and E-II were: FM Corregidora, Collection 8, FM Sol, FM Bajío, Flor de Abril, FM Anita, Collection 5, Collection 7 and FM M38.

—End of the English version—



- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp: 421-481.
- Singh, S. P. 1991. Breeding for seed yield. In: Schoonhoven, A. V., and O. Voysest (eds). *Common Beans: Research for Crop Improvement.* C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp: 383-429.
- Trevizan B., M., O. Brunini, E. Bahia W., e S. L. Gonçalves. 2004. Probabilidade de atendimento das necessidades hídricas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca), na sementeira das águas, no Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Agrometeorol. Santa Maria* 12: 323-332.
- White W., J., and C. Montes R. 1993. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. *J. Exp. Bot.* 44: 1795-1800.