

NECESIDADES TERMICAS PARA LA FLORACION DE SORGO EN LA CIENEGA DE CHAPALA

THERMAL NEEDS FOR FLOWERING OF SORGHUM IN LA CIENEGA DE CHAPALA

José Ariel Ruiz Corral¹ y Leonardo Soltero Díaz²

RESUMEN

Se determinaron las temperaturas base (T_b) y los requerimientos térmicos (RT) durante la etapa siembra-floración, de nueve líneas de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) adaptadas a la Ciénega de Chapala, Jalisco, México. El procedimiento consistió en un análisis de regresión lineal simple entre la temperatura promedio (T) y los días a floración (t), expresados como tasa de desarrollo (1/t), con base en datos recabados en 11 fechas de siembra realizadas entre 1984 y 1987. Los resultados mostraron una T_b y un RT de 12.7°C y 672 grados día de desarrollo (GDD) para la línea R 5A; 13.7°C y 598 GDD para ATX-378; 14.7°C y 515 GDD para E 15A; 15.7°C y 395 GDD para ATX-623; 11.7°C y 674 GDD para B 106A; 13.1°C y 650 GDD para R 27A; 15.2°C y 482 GDD para B 198A; 14.6°C y 529 GDD para RTX-430 y 12.9°C y 639 GDD para 3-252. Esta información pretende utilizarse para predecir con mayor precisión la floración de estas líneas en programas de producción de semilla de híbridos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Sorghum bicolor L. Moench, agrometeorología, fenología, temperatura base, requerimiento térmico, Jalisco.

¹ Investigador del INIFAP. Programa de Agrometeorología. CIPAC-JAL. Campo Exp. Centro de Jalisco. Apdo. Postal 6-558. CP 44660 Guadalajara, Jal.

² Investigador del INIFAP. Programa de Sorgo. CIPAC-JAL. Campo Exp. Aux. Ocotlán. Apdo. Postal No. 79. CP 47800 Ocotlán, Jal.

SUMMARY

The base temperature (T_b) and thermal requirements (RT) were determined for the period sowing-anthesis of nine grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) lines adapted to the Chapala region, Jalisco, México. The procedure was based on a linear regression analysis between the mean temperature (T) and the days to anthesis (t), expressed as development rate (1/t), using data collected in 11 planting-dates field experiments carried out between 1984 and 1987. The results showed a T_b and RT of 12.7°C and 672 growing degree days (GDD) for the line R 5A; 13.7°C and 598 GDD for ATX-378; 14.7°C and 515 GDD for E 15A; 15.7°C and 395 GDD for ATX-623; 11.7°C and 674 GDD for B 106A; 13.1°C and 650 GDD for R 27A; 15.2°C and 482 GDD for B 198A; 14.6°C and 529 GDD for RTX-430, and 12.9°C and 639 GDD for 3-252. These data are pretended to be used to improve the prediction of days to flower of these lines in hybrid seed production programs.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Sorghum bicolor L. Moench, agrometeorology, phenology, base temperature, thermal requirements, Jalisco.

INTRODUCCION

La caracterización de genotipos con base en sus requerimientos climáticos puede tener aplicaciones en diferentes campos de la agronomía, uno de los cuales es la producción de semillas. Por ejemplo, al cotejar los requerimientos climáticos de los genotipos con las disponibilidades ambientales de una región, se posibilita el pronóstico de las

etapas fenológicas con suficiente anticipación para establecer programas de fechas de siembra escalonadas, que permitan la coincidencia de la floración para producir semilla en cantidad y calidad adecuadas en diferentes épocas del año.

En el estado de Jalisco, una de las principales actividades económicas es la producción de semilla y uno de los cultivos de mayor importancia es el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). En la actualidad no se dispone de una caracterización fenológica de los materiales genéticos en términos agroclimáticos, lo cual puede ser causa de imprecisiones en la coincidencia de sus floraciones durante la multiplicación experimental o comercial de semilla de los híbridos.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las temperaturas base y los requerimientos térmicos para la etapa siembra-floración de nueve líneas progenitoras de híbridos de sorgo, provenientes del programa de mejoramiento del Campo Experimental Auxiliar "Ocotlán".

REVISION DE LITERATURA

Las necesidades ambientales de los cultivos generalmente han sido expresadas en términos de elementos del clima y difieren entre especies (Doorenbos y Kassam, 1980; Benacchio, 1982). Esta información es una herramienta útil, sobre todo en trabajos de planeación agrícola destinados a delimitar áreas con potencial agroclimático para el desarrollo de cultivos. Sin embargo, en estudios más específicos, como la calendarización de fechas de siembra y el pronóstico de floraciones en programas de mejoramiento genético, las necesidades

ambientales deben conocerse a nivel de genotipo.

Numerosas investigaciones han sido conducidas, tanto bajo condiciones de campo como de ambiente controlado, para tratar de conocer las necesidades agroclimáticas de diferentes cultivos. En estos estudios, la determinación de los requerimientos térmicos y la influencia del fotoperíodo han sido los temas más frecuentes.

Los requerimientos térmicos de cultivos han sido caracterizados a través de las unidades calor (UC) o grados día de desarrollo (GDD); ambos términos no tienen un significado biológico totalmente exacto, ya que las plantas, aun siendo organismos poikilotérmicos, no responden de una manera lineal a la temperatura (supuesto que considera el concepto de GDD) sino de una forma sigmoidal (Orchard, 1976). Sin embargo, las UC han funcionado con éxito en el pronóstico de la fenología tanto de especies vegetales (Young *et al.*, 1980; Smith *et al.*, 1982; McMaster y Smika, 1988) como en insectos-plaga (Shaffer, 1983).

De acuerdo con Summerfield *et al.* (1989), en ausencia de sensibilidad al fotoperíodo y vernalización, la tasa de desarrollo para la etapa siembra-floración es una función lineal positiva de la temperatura a partir de una temperatura base (T_b), donde la tasa de desarrollo es cero, hasta una temperatura óptima (T_o), donde la tasa es máxima. Sobre la temperatura óptima, existe una relación lineal negativa, hasta una temperatura umbral máxima (T_u), en la cual la tasa de desarrollo es de nuevo cero. A temperaturas subóptimas (entre T_b y T_o ó entre T_o y T_u), la relación entre tasa de desarrollo y temperatura puede ser descrita como:

$$1/t = a + bT \quad (1)$$

Donde t es el tiempo que transcurre de la siembra a la floración, T es la temperatura promedio y los parámetros de la regresión a y b son constantes genotípicas.

La temperatura base, a la cual la tasa de desarrollo es cero, está dada por:

$$T_b = -a/b \quad (2)$$

Esto es porque cuando $T = T_b$, entonces $1/t = 0$, así que la ecuación (1) puede reescribirse $0 = a + bT$. Al despejar T en esta expresión, para conocer a que temperatura la tasa de desarrollo es cero, se deriva la ecuación (2).

A partir de la ecuación (1) se infiere que la floración ocurrirá cuando el requerimiento térmico (RT), apropiado para el genotipo, ha sido acumulado. Este se mide en grados día de desarrollo (GDD) que se calcula restando la T_b de la temperatura promedio de cada día y añadiendo este resultado al subtotal acumulado desde el día de la siembra. Por ejemplo:

$$RT = t(T - T_b) \quad (3)$$

Si los parámetros a y b se calculan mediante la ecuación (1), entonces el requerimiento térmico puede ser calculado a partir de la expresión:

$$RT = 1/b \quad (4)$$

Esto es porque, de acuerdo con Monteith (1977), la ecuación (1) puede ser reescrita como $1/t = b(T - T_b)$ y así, al despejar $t(T - T_b)$, que de acuerdo con la ecuación (3) equivale al RT, se obtiene $1/b = t(T - T_b)$ y da origen a la ecuación (4).

Utilizando estos principios, han sido caracterizadas las necesidades térmicas de durazno *Prunus persica* (L.) Batsch (Muñoz *et al.*, 1986), trigo *Triticum aestivum* L. (Pozo *et al.*, 1987; Slafer y Savin, 1991), girasol *Helianthus annuus* L. (Ruiz, 1989) y guayabo *Psidium guajava* L. (Ruiz, 1991), entre otros.

MATERIALES Y METODOS

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron datos fenológicos de nueve líneas de sorgo, recabados en 11 experimentos de incremento de semilla, conducidos bajo condiciones de punta de riego y temporal en 1984, 1985 y 1987, en la región conocida como Ciénega de Chapala, en el Municipio de Briseñas, Michoacán, con tipo de clima (A)C(wo)(w)a(i') y una altitud de 1517 m. Las fechas de siembra y los genotipos utilizados se describen en el Cuadro 1.

El suelo de la región corresponde al tipo vertisol pélico, con una profundidad mayor a 40 cm. La precipitación durante el ciclo de temporal es de 746 mm y se distribuye en la forma de un patrón bimodal. Las parcelas de observación constaron de tres surcos de 3 m de largo con separación de 0.70 m y una repetición.

Durante el desarrollo del cultivo se fertilizó con la dosis 180-46-00 y se combatió de manera adecuada la acción de organismos dañinos tales como malezas y plagas. El nivel de humedad del suelo durante la etapa siembra-floración se mantuvo por arriba del 50% de humedad aprovechable.

Dentro de las observaciones fenológicas realizadas se incluyeron la fecha de siembra y la fecha de floración. Se consideró como

Cuadro 1. Días a floración (Df) y temperatura media (Tm, °C) durante la etapa siembra-floración para nueve líneas de sorgo en once fechas de siembra en la Ciénega de Chapala, Jalisco, México (1984-1987).

Fecha de siembra	L í n e a s d e s o r g o																	
	R5A		ATX-378		E15A		ATX-623		B106A		R27A		B198A		RTX-430		3-252	
	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm	Df	Tm
May 07/84	81	21.0	83	21.0	84	20.9	74	21.0	71	21.0	84	20.9	85	20.9	75	21.0	82	20.9
May 19/84	81	21.0	83	21.0	84	21.0	76	21.1	73	21.0	85	21.0	87	20.9	75	21.1	78	21.0
Jun 02/84	87	20.6	89	20.6	87	20.6	82	20.7	74	20.7	89	20.6	89	20.6	81	20.6	82	20.7
Jun 12/84	85	20.5	85	20.5	88	20.4	88	20.4	77	20.5	89	20.4	90	20.4	87	20.4	85	20.5
Jun 22/84	94	20.1	94	20.1	96	20.1	86	20.2	79	20.3	95	20.1	96	20.1	88	20.1	84	20.2
May 15/85	84	20.9	87	20.9	84	20.9	76	21.0	70	21.1	84	20.9	86	20.9	72	21.1	80	20.9
Jun 05/85	86	20.2	89	20.2	91	20.2	84	20.2	78	20.3	86	20.2	97	20.2	88	20.2	88	20.2
Abr 15/87	82	21.2	79	21.2	81	21.2	75	21.1	74	21.1	82	21.2	82	21.2	75	21.1	81	21.2
Abr 30/87	83	21.3	83	21.3	85	21.3	72	21.3	75	21.3	82	21.3	86	21.3	80	21.3	81	21.3
May 18/87	74	21.5	74	21.5	72	21.5	66	21.7	67	21.7	74	21.5	73	21.5	74	21.5	73	21.5
Jun 04/87	75	21.3	75	21.3	72	21.4	65	21.4	67	21.4	77	21.3	73	21.3	70	21.4	69	21.4

fecha a floración cuando el 50% de las plantas en la parcela mostraban anthesis en la parte media de la panoja. La frecuencia de las observaciones fue de dos veces por semana. En esta investigación, además de la información fenológica, también se utilizaron datos de temperatura diaria registrada en la estación meteorológica de Cumuato, Mpio. de Briseñas, Michoacán, localizada a menos de 5 km de las parcelas experimentales.

La temperatura base y el requerimiento térmico de cada línea de sorgo se calcularon de acuerdo a la metodología propuesta por Summerfield *et al.* (1989) y Monteith (1977), descrita en párrafos anteriores. El procedimiento consistió en ajustar regresiones lineales entre la tasa de desarrollo (recíproco de los días de siembra a floración) y la temperatura promedio para esta etapa fenológica. La T_b se obtuvo al estimar el valor de la abscisa cuando la ordenada toma un valor de cero y el RT se calculó como el inverso de la pendiente de la recta ($1/\beta_1$). Los datos utilizados para estos análisis se describen en el Cuadro 1.

Las temperaturas base obtenidas experimentalmente (T_{be}) para cada una de las líneas, fueron validadas comparando el coeficiente de variación (C.V.) de los días a floración de las líneas (Cuadro 1), el C.V. del requerimiento térmico recalculado con la temperatura base experimental y el C.V. del RT calculado con una T_b de 15°C, valor que ha sido empleado por varios autores (Peacock y Heinrich, citados por Villalpando, 1991; Benacchio, 1982) como la temperatura umbral mínima de esta especie. Mediante este procedimiento se selecciona el método que presente menor C.V. Los datos utilizados en esta validación corresponden a las mismas observaciones utilizadas en los análisis de regresión. Esto,

aunque estadísticamente no es lo correcto, se llevó a cabo debido al reducido número de observaciones de que se dispuso, ya que los experimentos de los que se extrajo la información no se diseñaron para los fines de la presente investigación, pues eran lotes de incremento de semilla.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tasa de desarrollo para la etapa siembra-floración se comportó como una función lineal y positiva de la temperatura promedio en los nueve genotipos estudiados. En la Figura 1 se describe gráficamente esta relación, tomando como ejemplo la línea ATx-623. En tanto, en el Cuadro 2 puede verse que la temperatura promedio explicó del 63 al 87% de la variación de la variable dependiente (tasa de desarrollo). El resto de la variación de la tasa de desarrollo, probablemente sea consecuencia de una fuente de error en el manejo del cultivo o podría explicarse incluyendo otra variable meteorológica en futuros estudios.

De acuerdo a la tendencia de respuesta lineal observada en la tasa de desarrollo, se deduce que muy probablemente la etapa siembra-floración de las líneas de sorgo se llevó a cabo bajo condiciones de temperaturas subóptimas, ya que éste es un supuesto que debe cumplirse para que la tasa de desarrollo se comporte como una función lineal de la temperatura (Summerfield *et al.*, 1989). El Cuadro 1 confirma este señalamiento, pues las temperaturas promedio para la etapa siembra-floración, en todos los ambientes osciló entre 20.1 y 21.7°C, valores inferiores a la gama de temperatura óptima para desarrollo del sorgo, que según Doorenbos y Kassam (1980) es de 24 a 30°C y, de acuerdo con Benacchio (1982) varía entre 26 y 27°C.

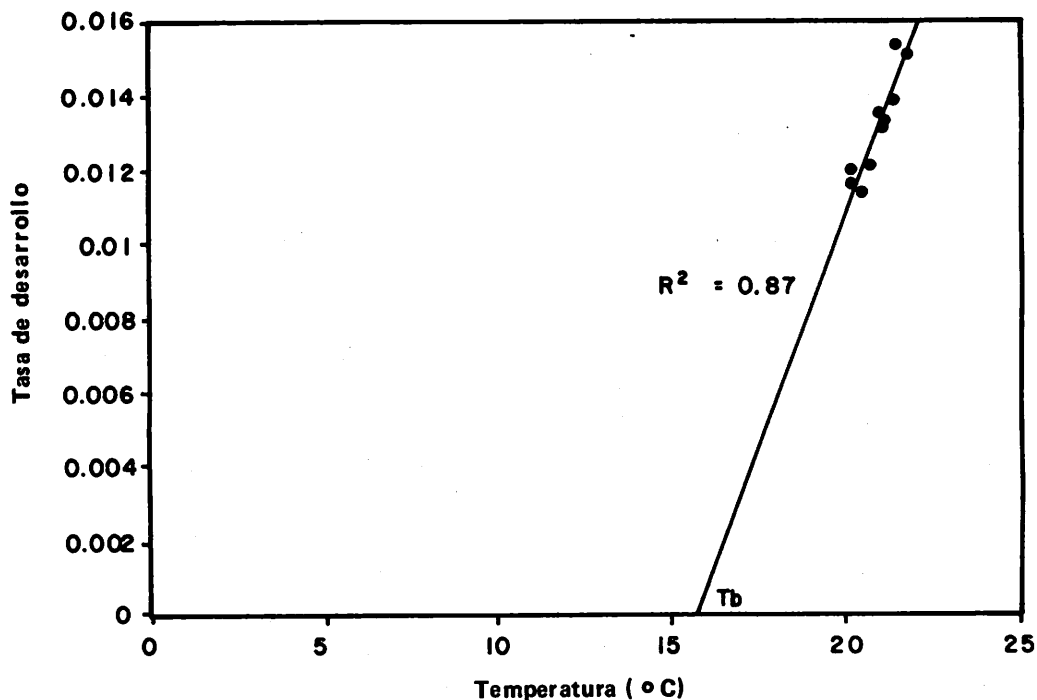


Figura 1. Relación entre temperatura y tasa de desarrollo para la línea ATX-623.

Cuadro 2. Temperatura base (T_b), requerimiento térmico (RT), coeficiente de determinación (r^2), número de observaciones (n) y días a floración promedio (DF) en nueve líneas de sorgo.

Genotipo	Origen	T_b (°C)	RT (GDD)	r^2	n	DF
R5A	Templado	12.7	672	0.73	11	82.9
ATX-378	Templado	13.7	598	0.77	11	83.4
E15A	Templado	14.7	515	0.76	11	84.0
ATX-623	Tropical	15.7	395	0.87	11	76.7
B106A	Temp x Trop	11.7	674	0.74	11	73.2
R27A	Templado	13.1	650	0.77	11	84.3
B198A	Templado	15.2	482	0.76	11	85.8
RTX-430	Tropical	14.6	529	0.78	11	78.6
3-252	Templado	12.9	639	0.63	11	80.3

A pesar de que las condiciones de temperatura de los ambientes analizados no presentaron una variación considerable (20.1 a 21.7°C), los días a floración de las líneas en general, sí mostraron una variación apreciable (65-97 días) (Cuadro 1); esto indica que a temperaturas subóptimas, la duración de la etapa siembra-floración es muy sensible a cambios pequeños.

Las Tb y los RT obtenidos muestran que las necesidades térmicas del sorgo difieren entre genotipos, al menos para la etapa siembra-floración. En general, las líneas de origen templado presentaron Tb menores que las de origen tropical (Cuadro 2). Sólo las líneas "B" 106A y 198A rompieron con esta tendencia. El comportamiento de la línea B106A, puede explicarse por su origen templado x tropical, en el que aparentemente existe una dominancia del progenitor hembra, que le permite desarrollarse a temperaturas relativamente frescas, hasta de 11.7°C. En el caso de la línea B198A no parece haber una explicación lógica, a menos que durante su formación haya sido sometida a un proceso de adaptación a ambientes relativamente cálidos, perdiendo así su respuesta a temperaturas templadas. De acuerdo con la relación aparente entre la Tb y el origen de los genotipos, podría especularse que los cultivares de sorgo con menor Tb presentarían mayor tolerancia a las bajas temperaturas.

La validación de los resultados puede verse en el Cuadro 3. El C.V. para el RT calculado tanto con la Tbe como con Tb15, es menor que el C.V. obtenido para los días a floración. Esto señala la conveniencia de utilizar los GDD para pronosticar la floración del sorgo, lo cual concuerda con lo consignado por Mederski *et al.* (1973),

quienes indican que las unidades calor constituyen una herramienta más poderosa que los días calendario para caracterizar la fenología de los cultivos.

El C.V. del RT calculado con la Tbe fue menor que el C.V. del RT calculado con Tb15 en ocho de los nueve genotipos, lo que permite sugerir que los valores de Tb y RT obtenidos son realmente los que corresponden a los cultivares de estudio. La única excepción fue B198A, pero la diferencia entre la Tb15 y la Tbe fue de sólo 0.2°C, por lo que prácticamente se trata de un solo valor de Tb que se comparó contra sí mismo.

Comparando los valores de RT (Tbe) promedio (m) del Cuadro 3 con los valores de RT del Cuadro 2, se puede apreciar una pequeña diferencia; ésta se debe a pequeños valores que se van acumulando en el recálculo del RT que se hizo para la validación de las Tbe. Sin embargo, el RT que debe considerarse para cada línea es el que aparece en el Cuadro 2, producto del análisis de regresión.

Es conveniente señalar la necesidad de co-tejar esta información, en fechas de siembra específicamente diseñadas para el pronóstico de floraciones con base en datos de GDD.

CONCLUSIONES

1) El cultivo del sorgo en la Ciénega de Chapala, bajo condiciones de punta de riego y de temporal, se lleva a cabo en condiciones de temperaturas subóptimas.

2) Las necesidades térmicas durante la etapa siembra-floración difieren entre las líneas estudiadas.

Cuadro 3. Valor promedio (m), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (C.V.) para días a floración (DF) y requerimiento térmico (RT) calculado con dos temperaturas base en nueve genotipos de sorgo.

Genotipo	RT (Tbe)			RT (Tb15)			DF		
	m	s	C.V. (%)	m	s	C.V. (%)	m	s	C.V. (%)
R5A	675.57	22.97	3.40	484.84	20.16	4.16	82.91	5.52	6.66
ATX-378	598.26	20.75	3.47	489.37	18.83	3.85	83.45	5.87	7.03
E15A	514.92	21.52	4.18	489.79	20.82	4.25	84.00	7.18	8.55
ATX-623	397.15	13.95	3.51	450.83	16.25	3.60	76.73	7.62	9.93
B106A	678.55	19.35	2.85	433.14	17.98	4.15	73.18	4.09	5.59
R27A	651.30	21.06	3.23	491.18	19.08	3.88	84.27	5.76	6.84
B198A	481.49	20.87	4.33	498.65	21.48	4.31	85.82	7.76	9.04
RTX-430	492.09	18.86	3.83	460.77	18.24	3.96	78.64	6.58	8.37
3-252	639.64	26.02	4.07	471.14	22.13	4.70	80.27	5.37	6.69

Tbe = Temperatura base obtenida experimentalmente.

3) Existe relación entre el origen de las líneas y el valor de su Tb. En general las líneas de origen templado presentan Tb inferiores a las de origen tropical.

BIBLIOGRAFIA

- Benacchio, S.S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas de 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano. Centro Nacional de Investigación Agropecuaria. Maracay, Venezuela. 202 pp.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. 1980. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO: Riego y Drenaje No. 33. Roma. 212 pp.
- McMaster, G.S. and D.E. Smika. 1988. Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the Central Great Plains. Agric. For. Meteorol. 43:1-18.
- Mederski H.J., H.E. Miller, and C.R. Weaver. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. Agron. J. 65: 743-747.
- Monteith, J.L. 1977. Climate. In: Ecophysiology of Tropical Crops. T. Alvim and T.T. Kozlowski (eds.). Academic Press. New York. pp. 1-25.
- Muñoz C., G. Sepúlveda, and J. García-Huidobro. 1986. Determining thermal time and base temperature required for fruit development in low-chilling peaches. HortSci. 21(3):520-522.
- Orchard, T.J. 1976. The constant temperature equivalent. Scientia Hort. 4:299-307.
- Pozo A.H. Del, J. García-Huidobro, R. Novoa, and S. Villaseca. 1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat. Exp. Agric. 23:21-30.
- Ruiz C., J.A. 1989. Determinación de la temperatura base en genotipos de girasol. En: Memorias de la II Reunión Nal. de Agroclimatología. UACH. pp. 420-425.

- _____. 1991. Caracterización fenológica del guayabo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. 78 pp.
- Shaffer, P.L. 1983. Prediction of variation in development period of insects and mites reared at constant temperatures. *Environ. Entomol.* 12:1012-1019.
- 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.
- Villalpando I., J.F. 1991. Métodos de análisis de datos climatológicos y su uso en la agricultura. Material de apoyo para curso de capacitación. *Agroclimatología, S.A. de C.V. Guadalajara, Jal.* 131 pp.
- Young, E.F. Jr., R.M. Taylor, and H.D. Petersen. 1980. Day-degree units and time in relation to vegetative development and fruiting for three cultivars of cotton. *Crop Sci.* 20:370-374.