

Temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México

Juan Arista-Cortes¹
Abel Quevedo Nolasco^{2§}
Bertha Patricia Zamora Morales³
Ricardo Bauer Mengelberg²
Kai Sonder¹
Oziel Lugo Espinosa⁴

¹Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carretera México-Veracruz km 45, El Batán, Texcoco, Estado de México, México. Tel. 01(595) 9521900, ext. 2149 y 1342. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Texcoco, México. (jbauer@colpos.mx). ³CENID-COMEF-INIFAP. Av. Progreso núm. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán. CP. 04010. Tel. 01(55) 36268700, ext. 70555 y 01(55) 38718700, ext. 80605. (zamora.patricia@inifap.gob.mx). ⁴Universidad Autónoma del Estado de México, Av. Jardín Zumpango s/n Fraccionamiento el Tejocote, Texcoco, Estado de México. CP. 56159. Tel. 01(595) 9523488. (ozieluz@gmail.com).

§Autor para correspondencia: anolasco@colpox.mx.

Resumen

La variación de temperaturas de un lugar es función de los elementos y factores del clima, mismos que son alterados en mayor o menor grado por el cambio climático, lo que es un reto el determinar los periodos de crecimiento térmico, más óptimos de siembra para diversos cultivos por región. Con base en lo anterior el objetivo de este estudio fue determinar la temperatura base (T_b) y los grados días desarrollo (GDD) de la siembra a floración (femenina y masculina) para 10 accesiones de maíz que están resguardadas en el banco de germoplasma del CIMMYT. Se recolectó y analizó la información (duración en días (t)) de los periodos de siembra a floración y su respectiva temperatura media) de diferentes experimentos de campo de las estaciones de campo (Agua Fría, Puebla y Tlaltizapan, Morelos) de los años 2008, 2009, 2011, 2012 y 2013. La cuál se ajustó a un modelo lineal por regresión lineal entre la tasa de desarrollo ($1/t$) y la temperatura promedio del periodo. Se estimaron los GDD por accesión con el cociente $1/\alpha$ donde α es el parámetro de la regresión y T_b . Los resultados señalan que T_b vario de 7.1 a 13 °C para floración masculina y 5.4 a 12.1 °C para floración femenina con acumulación de GDD entre 880 y 1696 floración masculina y 1115 a 1860 floración femenina, que permite caracterizar a las accesiones evaluadas en orden de mayor a menor precocidad: Chis337, Yuca91, Vera617, Yuca158, Yuca47, Vera616, Vera64, Vera623, Snlp277, Hida275 y se confirma que el conocer los requerimientos agroclimáticos de los cultivos permite seleccionar regiones que favorezcan el crecimiento, desarrollo, reducción de pérdidas e incrementar rendimientos así como preservar la variabilidad genética de las especies.

palabras clave: grados días desarrollo, modelo lineal, temperatura base.

Recibido: marzo de 2018

Aceptado: junio de 2018

Introducción

Diversos estudios han demostrado el efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de cultivos ya que influyen en distintas etapas fenológicas, como en la germinación de semillas (Butler *et al.*, 2014; Fowler *et al.*, 2014); asimismo, las variaciones de temperatura pueden modificar la longitud del periodo emergencia-antesis o antesis-llenado de grano (Shim y Lee, 2017), la floración también es afectada por altas temperaturas (Noriega *et al.*, 2011), las cuales pueden des-sincronizar la floración femenina y la antesis (Cicchino *et al.*, 2010).

Las altas temperaturas afectan la viabilidad del polen durante la polinización (Hatfield y Prueger, 2015), que puede generar abortos en los granos (Cantarero *et al.*, 1999) y reflejara un menor número de granos por mazorca y por ende menor acumulación de biomasa, (Rincón *et al.*, 2006; Hatfield y Prueger, 2015), también es afectada la tasa de producción y extensión foliar (García y López, 2002) así como la duración de las distintas etapas fenológicas (Soto *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2013).

Por lo anterior es importante determinar el rango de temperaturas y así poder medir el crecimiento mediante la integración diaria de energía térmica o día grado crecimiento (D°) dentro del rango se conoce como grados días de desarrollo (GDD). Existen diversos modelos térmicos para estimar los GDD en el cultivo de Maíz, estos pueden ser lineales y no lineales (Cross y Zuber, 1972; Bonhomme *et al.*, 1994; McMaster y Wilhelm, 1997; Kumudini *et al.*, 2014; Archontoulis y Miguez, 2015).

Los modelos no lineales se ajustan mejor a variaciones de temperatura, sin embargo, requieren ser calibrados por cultivo y región y la precisión dependen del rango de temperaturas al cual fueron calibrados, como es el caso del modelo CHU (Crop Heat Units) que es utilizado principalmente en Canadá, este modelo calcula el CHU diario mediante dos funciones: una lineal para la noche y otra polinomial para el día (Brown, 1975). Cutforth y Shaykewich (1989), encontraron que el modelo CHU sobreestima la tasa de desarrollo a bajas temperaturas lo que genera un mayor valor de CHU en el periodo siembra-floración (SF).

Por otro lado, los modelos lineales se basan en la relación lineal existente entre la tasa de desarrollo y la temperatura, dentro de un rango de temperatura mínima (temperatura base T_b) a partir de la cual el cultivo se desarrolla a una temperatura máxima (temperatura óptima T_o) donde se da el mayor desarrollo; pocos grados por arriba de la temperatura óptima se tiene la temperatura umbral (T_u) a partir de la cual el crecimiento decrece considerablemente (Monteith, 1977). Los modelos térmicos requieren T_b y T_o de cada cultivo para estimar los GDD, los valores más utilizados en el cultivo de maíz son: $T_b= 10^\circ\text{C}$ y $T_o= 30^\circ\text{C}$ (Hou *et al.*, 2014).

A partir de esto, diversos investigadores han evaluado en distintos ambientes la exactitud de los modelos térmicos para el cultivo de maíz (Cross y Zuber, 1972; Cutforth y Shaykewich, 1989; Bonhomme *et al.*, 1994; Archontoulis y Miguez, 2015). En algunos modelos se utilizaron valores de temperaturas para $T_b=10^\circ\text{C}$ y $T_o= 30^\circ\text{C}$, las diferencias encontradas en los resultados sugieren variaciones en T_b por cultivo.

Autores como Singh *et al.* (1976) encontraron valores de $T_b= 10^\circ\text{C}$ y $T_o= 35^\circ\text{C}$ para el híbrido pionner 3388; asimismo, Warrington y Kanemasu (1983) obtuvieron $T_b= 11^\circ\text{C}$ y $T_o= 28^\circ\text{C}$, por otro lado, Hernández y Carballo (1984) estimaron $T_b= 7^\circ\text{C}$ y $T_o= 27^\circ\text{C}$ para Valles Altos en

México y cuyo T_b coincide con la encontrada por Narwal *et al.* (1986) para invierno en el noroeste de India. Otros investigadores como García y López (2002) encontraron $T_b = 7.5\text{ }^\circ\text{C}$ para la extensión foliar y Ruiz *et al.* (1998) obtuvieron T_b entre $2\text{ }^\circ\text{C}$ y $10\text{ }^\circ\text{C}$ para 49 razas mexicanas de maíz.

En México existe gran diversidad de razas y variedades de maíz, adaptados a diversas altitudes y climas y con requerimientos ambientales distintos, razón por la cual y para preservar dicha variabilidad genética del maíz, el CIMMYT cuenta con un banco de germoplasma con muestras de semilla (accesiones de maíz) tomadas en distintos lugares del país. En el presente estudio se utilizaron datos de siembra-floración de 10 accesiones de dicho banco y se aplicó un modelo lineal para cálculo del valor de T_b y los GDD.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó a partir del uso de datos agroclimáticos registrados durante el establecimiento de parcelas experimentales de maíz del banco de Germoplasma de CIMMYT, que fueron obtenidos en los ciclos agrícolas otoño-invierno y primavera-verano durante los años: 2008, 2009, 2011, 2012 y 2013. Las parcelas experimentales de maíz se ubicaron en dos estaciones de campo del CIMMYT: Agua Fría y Tlaltizapan (Figura 1), que cuentan con estaciones meteorológicas y un registro histórico de datos de clima.

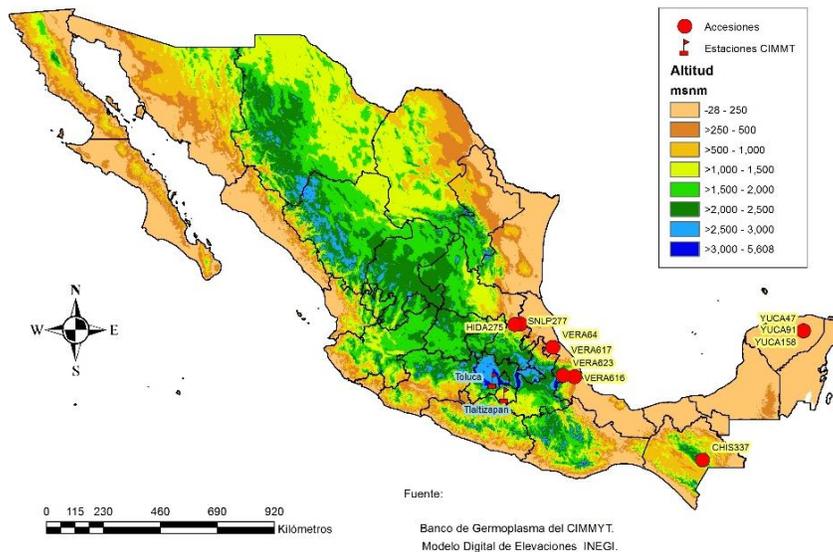


Figura 1. Localización de las estaciones de CIMMYT y sitios de colecta.

La estación Agua Fría se localiza el municipio de Venustiano Carranza en Puebla en las coordenadas latitud $20^\circ 27'$ latitud norte y longitud oeste $97^\circ 38.4'$ a una altitud 102 m. La estación Tlaltizapan se localiza en Morelos en las coordenadas latitud norte $18^\circ 40.8'$ y longitud oeste $99^\circ 7.2'$ con una altitud 943 m.

Para mantener el inventario de semillas, el banco de germoplasma sigue las consideraciones propuestas por Cutforth *et al.* (1994), para la conservación de las accesiones de maíz, para ello realiza siembras cada año acorde a la demanda de la misma por investigadores. Para el manejo de la parcela, se divide en lotes de 5 metros de longitud con separación entre surcos de 70 cm y con dos semillas por mata entre 5 y 10 cm de profundidad. Durante el ciclo agrícola se registran las fechas de siembra y número de días transcurridos cuando 50% de las plantas alcanzaron la floración masculina, la floración femenina y la senescencia, para todas las siembras se aplicó riego, fertilizante y herbicidas.

Se consultaron y analizaron los registros de siembras de 3 142 accesiones de maíz de las cuales se calculó T_b de los periodos siembra-floración masculina y siembra-floración femenina para 41 accesiones por presentar el mayor número de repeticiones de siembra (3 a 5, donde cada punto representa un experimento). Finalmente se seleccionaron 10 (Cuadro 1 y 2) por presentar el más alto coeficiente de determinación y correlación, así para cada periodo siembra-floración se calculó la temperatura promedio (Cuadro 3) y se descartaron siembras con datos no confiables. Los orígenes de las accesiones son: Chiapas, Hidalgo, Veracruz y Yucatán (Figura 1).

Cuadro 1. Origen de las accesiones de maíz.

Accesión	Latitud, longitud	Altitud (m)	Municipio	Localidad	Colecta
CHIS337	16.33 N, 91.94 W	1494	Las Margaritas	Margaritas	01/ene/72
HIDA275	21.27 N, 98.55 W	140	San Felipe O.	Piedra Hincada	05/jun/07
SNLP277	21.25 N, 98.76 W	125	Tamazunchale	Guaxcuaco	17/ago/07
VERA64	20.43 N, 97.38 W	109	Papantla	El Tajín	01/ene/48
VERA616	19.35 N, 96.59 W	262	Emiliano Zap.	Rafael Lucio	01/ene/77
VERA617	19.35 N, 96.59 W	262	Emiliano Zap.	Rafael Lucio	01/ene/77
VERA623	19.4 N, 97 W	1221	Tlacolulan	Tlacolulan	01/ene/77
YUCA47	21.017 N, 88.28 W	23	Espita	Espita	01/ene/48
YUCA91	21.017 N, 88.28 W	23	Espita	Espita	01/ene/48
YUCA158	21.017 N, 88.28 W	23	Espita	Espita	01/ene/48

Cuadro 2. Razas de las accesiones de maíz.

Accesión	Raza	Sub-raza	Nombre común
CHIS337	Comiteco	Oloton	Amarillo
HIDA275	Ancho	Olotil	Maíz ancho
SNLP277	Olotillo	Tuxpen	Maíz grande blanco
VERA64			Chico
VERA616	Coscomatepec		
VERA617			Criollo Pinto
VERA623			Pinto
YUCA47	DZIT-BACAL		XNUC-NAL
YUCA158	DZIT-BACAL		

Cuadro 3. Fechas de siembra, floración masculina (fecha FM) y femenina (Fecha FF); temperatura media para siembra-floración masculina (TM-FM) y siembra-floración femenina(TM-FF).

Lugar de siembra	Accesión	Fecha de siembra	Fecha FM	Fecha FF	TM-FM (°C)	TM-FF (°C)
Tlaltizapan	CHIS337	16-jun-11	3-sep-11	14-sep-11	24.75	24.53
Tlaltizapan	CHIS337	19-jun-12	5-sep-12	14-sep-11	23.49	24.26
Tlaltizapan	CHIS337	14-nov-12	14-mar-13	2-mar-13	20.87	20.99
Tlaltizapan	CHIS337	28-nov-13	11-mar-14	25-mar-14	21.28	21.96
Tlaltizapan	HIDA275	20-apr-13	13-jul-13	17-jul-13	25.73	25.61
Agua Fría	HIDA275	4-jun-09	24-ago-09	27-ago-09	29.54	29.43
Tlaltizapan	HIDA275	14-nov-12	19-mar-13	14-mar-13	20.84	21.12
Tlaltizapan	HIDA275	28-nov-08	4-abr-09	7-abr-09	21.49	21.64
Agua Fría	HIDA275	8-jul-14	26-sep-14	29-sep-14	27.83	27.79
Tlaltizapan	SNLP277	28-nov-13	10-mar-14	15-mar-14	21.25	21.48
Tlaltizapan	SNLP277	14-nov-12	10-mar-13	1-mar-13	20.76	20.98
Agua Fría	SNLP277	4-jun-09	11-ago-09	14-ago-09	29.61	29.59
Tlaltizapan	SNLP277	28-nov-08	20-mar-09	21-mar-09	21.09	21.13
Tlaltizapan	VERA616	16-jun-11	2-sep-11	8-sep-11	24.79	24.66
Tlaltizapan	VERA616	19-jun-12	1-sep-12	5-sep-12	23.49	24.27
Tlaltizapan	VERA616	14-nov-12	28-feb-13	19-feb-13	20.63	20.77
Tlaltizapan	VERA616	28-nov-13	7-mar-14	15-mar-14	21.17	21.48
Tlaltizapan	VERA617	16-jun-11	29-aug-11	2-sep-11	24.81	24.75
Tlaltizapan	VERA617	17-jul-12	29-sep-12	9-oct-12	23.34	23.93
Tlaltizapan	VERA617	14-nov-12	25-feb-13	16-feb-13	20.57	20.72
Tlaltizapan	VERA617	28-nov-13	4-mar-14	12-mar-14	21.07	21.36
Tlaltizapan	VERA623	16-jun-11	2-sep-11	9-sep-11	24.79	24.63
Tlaltizapan	VERA623	14-nov-12	3-mar-13	26-feb-13	20.74	20.87
Tlaltizapan	VERA623	28-nov-13	8-mar-14	19-mar-14	21.21	21.61
Agua Fría	VERA64	8-jun-11	5-aug-11	7-ago-11	28.76	28.76
Tlaltizapan	VERA64	14-nov-12	21-feb-13	17-feb-13	20.5	20.72
Tlaltizapan	VERA64	28-nov-13	4-mar-14	10-mar-14	21.07	21.32
Agua Fría	YUCA158	31-may-12	14-aug-12	16-ago-12	26.41	26.44
Tlaltizapan	YUCA158	14-nov-12	22-mar-13	10-mar-13	20.9	21.03
Tlaltizapan	YUCA158	28-nov-13	18-mar-14	27-mar-14	21.51	22.05
Agua Fría	YUCA47	31-may-12	13-aug-12	16-ago-12	26.44	26.44
Tlaltizapan	YUCA47	14-nov-12	15-mar-13	11-mar-13	20.89	21.05
Tlaltizapan	YUCA47	28-nov-13	20-mar-14	28-mar-14	21.59	22.09
Agua Fría	YUCA91	31-may-12	11-aug-12	7-ago-12	26.47	26.41
Tlaltizapan	YUCA91	14-nov-12	14-mar-13	3-mar-13	20.87	20.97
Tlaltizapan	YUCA91	28-nov-13	18-mar-14	2-abr-14	21.51	22.32

Si el cultivar de maíz no es sensible al fotoperiodo (Gouesnard *et al.*, 2002), o no requiere vernalización, el desarrollo del periodo siembra-floración sigue un comportamiento lineal positivo de la temperatura en un intervalo de temperatura base y temperatura óptima (Ruiz *et al.*, 2002).

Dentro del intervalo entre T_b y T_o (Figura 2), es posible utilizar el siguiente modelo lineal (Monteith, 1977):

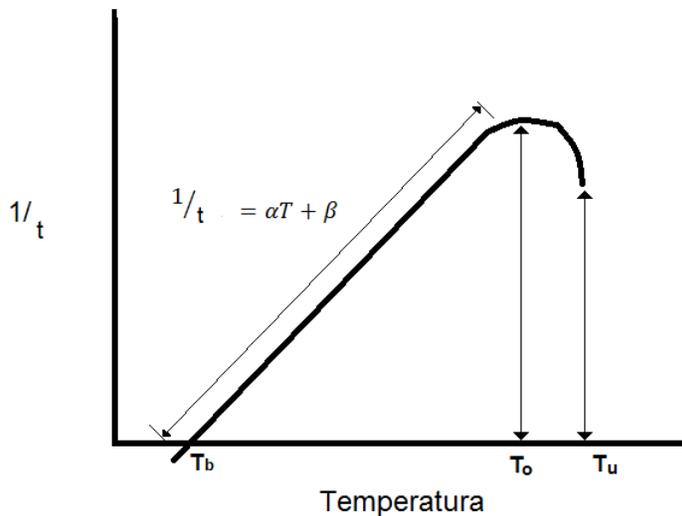


Figura 2. Desarrollo de cultivos entre temperatura base y óptima.

$$1/t = \alpha T + \beta \tag{1}$$

Donde: t es la duración en días del periodo siembra-floración, T es la temperatura promedio del periodo, α y β son parámetros obtenidos mediante una regresión lineal simple. Para conocer la temperatura a partir de la cual inicia el crecimiento ($1/t = 0$), se iguala la ecuación 1 a cero y expresarla en función de T para obtener T_b :

$$T_b = -\frac{\beta}{\alpha} \tag{2}$$

Para el cálculo de lo GDD se utilizó el cociente siguiente (Mullens y Rutz, 1983):

$$1/\alpha \tag{3}$$

Resultados y discusión

Los valores de T_b obtenidos para las 10 accesiones, así como los parámetros de regresión lineal, el coeficiente de determinación y correlación y los GDD se muestran en la Cuadro 4 y 5. Se graficaron los valores de T_b y GDD para floración masculina y femenina para analizar su comportamiento (Figura 3).

Cuadro 4. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación y correlación, temperaturas base y GDD, para las accesiones de maíz, floración masculina.

Accesión	α	β	r^2	ρ	T_b	GDD
CHIS337	0.00113526	-0.014775	0.88	0.939	13.01	880.85
HIDA275	0.0005896	-0.0042653	0.91	0.953	7.23	1696.05
SNLP277	0.0006552	-0.0046727	0.98	0.99	7.13	1526.24
VERA64	0.0008743	-0.0079089	0.99	0.909	9.05	1143.78
VERA616	0.00093642	-0.0096216	0.84	0.914	10.27	1067.89
VERA617	0.00096652	-0.009908	0.91	0.952	10.25	1034.64
VERA623	0.00085814	-0.0084257	0.99	0.9	9.82	1165.3
YUCA47	0.00094535	-0.01148306	0.99	0.646	12.15	1057.81
YUCA91	0.00098333	-0.01213178	0.99	0.642	12.34	1016.95
YUCA158	0.00094939	-0.0117027	0.98	0.621	12.33	1053.31

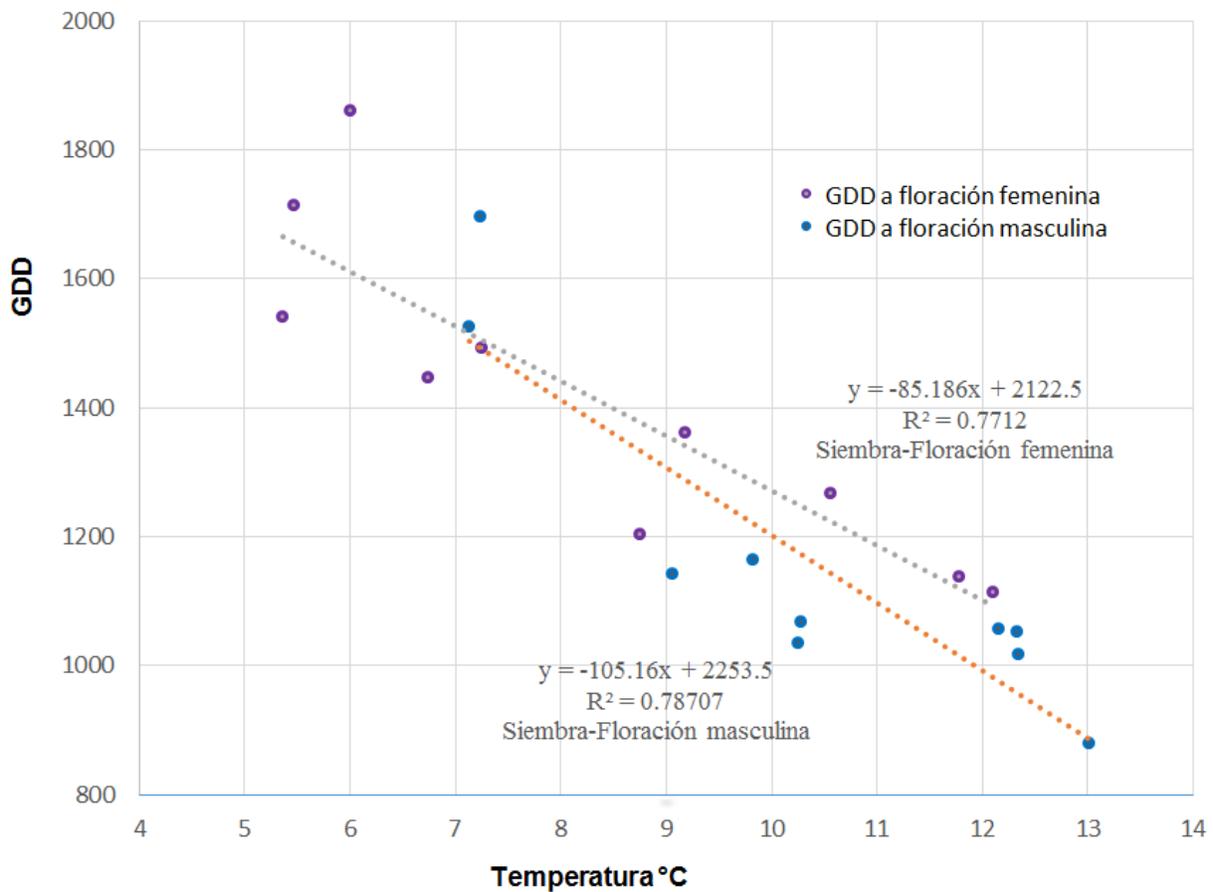


Figura 3. Relación entre T_b y GDD de la siembra a floración (femenina y masculina) para diferentes accesiones de maíz.

Se obtuvieron valores altos en los coeficientes de determinación, los cuales pueden ser por el número de repeticiones de siembra-floración, ya que el banco de germoplasma realiza la siembra solo para mantener las existencias de semilla.

Por otra parte, se obtuvieron grandes coeficientes de correlación en la mayoría de las accesiones, lo que da mayor certidumbre a los modelos lineales desarrollados, salvo para las accesiones Yuca47, Yuca91 y Yuca158, que presentaron correlaciones entre 0.6 y 0.7 (Cuadro 4), lo que sugiere coleccionar más datos de siembras futuras, para mejorar el modelo.

Para las accesiones Vera64, Vera616, Vera617 y Vera623 se obtuvieron valores de T_b cercanas a 10 °C (Cuadro 4), estos valores coinciden con lo utilizados por diversos autores (Cross y Zuber, 1972, Kumudini *et al.*, 2014). Las Accesiones Hida275 y SLP277 presentaron un T_b cercano a 7 °C (Cuadro 4), similar a la encontrada por Hernández y Carballo (1984) para Valles Altos y la reportada por Ruiz (1998) para las razas Ancho, Jala, Coscomatepec, Reventador, Onaveño y Dulcillo; así como el promedio calculado por Sánchez *et al.* (2014) para floración masculina. Las accesiones Yuca47, Yuca91, Yuca158, Chis337 presentaron T_b entre 12.3 °C y 13 °C, valores cercanos a 12.6 °C promedio calculado por Sánchez *et al.* (2014) para el desarrollo de raíces. Por otra parte, la accesión Yuca158, presenta un valor de $T_b = 11.7$ °C, para floración femenina (Cuadro 5), este valor es cercano a 11 °C reportado por Warrington y Kanemasu (1983) para antesis.

Cuadro 5. Parámetros de regresión, coeficientes de determinación y correlación, temperaturas base y GDD, para las accesiones de maíz, floración femenina.

Accesión	α	β	r^2	ρ	T_b	GDD
CHIS337	0.00073418	-0.00673683	0.796	0.892	9.17	1362.05
HIDA275	0.00053737	-0.00322956	0.895	0.946	6	1860.89
SNLP277	0.00058353	-0.00318764	0.99	0.995	5.46	1713.68
VERA616	0.00069075	-0.00465105	0.751	0.866	6.73	1447.7
VERA617	0.00064908	-0.00348244	0.811	0.9	5.36	1540.63
VERA623	0.00067007	-0.00486002	0.848	0.921	7.25	1492.37
VERA64	0.00083059	-0.00726978	0.973	0.987	8.75	1203.96
YUCA158	0.00087787	-0.01033777	0.951	0.975	11.77	1139.12
YUCA47	0.00089663	-0.01083809	0.951	0.975	12.09	1115.28
YUCA91	0.00078849	-0.00832139	0.788	0.888	10.55	1268.25

En la Figura 3, se observa que la floración masculina requiere mayor T_b que la femenina (Cuadros 4 y 5); sin embargo, requiere menor energía térmica (GDD), lo que corresponde con las fechas de floración, ya que la masculina se presenta antes.

Con respecto a la altitud y temperatura, no se encontró relación directa entre elevación y GDD, lo que sugiere la existencia de errores en la toma de coordenadas geográficas durante la colecta de las accesiones, las cuales, al no contar con un registro más detallado de la ubicación, no hay forma de corregir dichas coordenadas.

Conclusiones

La importancia de la evaluación de los requerimientos bioclimáticos, en este caso térmicos (T_b y GDD) de las accesiones de maíz, permite evaluar los periodos de crecimiento térmico para diferentes sitios, independiente de un calendario civil, dado que se determina con base a la oferta térmica del lugar.

Con los requerimientos térmicos obtenidos para los periodos de siembras-floración, se pueden planificar las fechas de siembra para sintonizar la floración y así realizar cruza.

Conocer la oferta térmica de un lugar permite seleccionar acciones que puedan completar su ciclo agrícola y así preservar la variabilidad genética de estos; así mismo es posible cambiar el cultivo actual por otro equivalente en su demanda térmica.

De las diferentes accesiones la T_b osciló entre 7.13 y 13.01 con requerimientos que varían entre 800 y 1 696 GDD, de la siembra a la floración masculina; de manera similar la T_b osciló entre 5.36 y 12.09 con requerimientos que varían entre 1 115 y 1 540 GDD de la siembra a la floración femenina. Los valores anteriores se corresponden con el clima, siendo las accesiones de climas cálidos los que demanden más T_b y los de valles Altos los de menor requerimiento térmico.

En las diez accesiones estudiadas, existe una variabilidad en los requerimientos de T_b y GDD, que expresa un amplio espectro de adaptación de dichos materiales que han sido recolectadas por el CIMMYT.

Agradecimientos

Se agradece a la Dr. Denise Costich, gerente del banco de germoplasma de maíz del CIMMYT y al Ing. Marcial Rivas, asistente de investigación asociado del banco de germoplasma de maíz del CIMMYT por la información proporcionada de las bitácoras de campo de las accesiones de maíz.

Literatura citada

- Archontoulis, S. V. and Miguez, F. E. 2015. Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agron. J.* 107(2):786-798.
- Bonhomme, R.; Derieux, M. and Edmeades, G. O. 1994. Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multilocation field trials. *Crop Sci.* 34(1):156-164
- Brown, D. M. 1975. Heat units for corn in Southern Ontario. Factsheet Ministry of Agriculture and Food Ontario. Canada. 111/31.
- Butler, T. J.; Celen, A. E.; Webb, S. L.; Krstic, D. and Interrante, S. M. 2014. Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Sci.* 54(6):2846-2853.
- Cantarero, M. G.; Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1999. Night temperature at silking affects set in maize. *Crop Sci.* 39(3):703-710.

- Cicchino, M.; Edreira, J. I. and Otegui, M. E. 2010. Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature. *Crop Sci.* 50(4):1431-1437.
- Cross, H. Z. and Zuber, M. S. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64(3):351-355.
- Cutforth, J.; Taba, S.; Eberhart, S. A.; Bretting, P. and Vencovsky, R. 1994. Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor. Appl. Gen.* 89(1):89-95.
- Cutforth, H. W. and Shaykewich, C. F. 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.
- Fowler, D. B.; Byrns, B. M. and Greer, K. J. 2014. Overwinter low-temperature responses of cereals: analyses and simulation. *Crop Sci.* 54(6):2395-2405.
- García, P. A. D. y López, C. C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):381-386.
- Gouesnard, B.; Rebourg, C., Welcker, C. and Charcosset, A. 2002. Analysis of photoperiod sensitivity within a collection of tropical maize populations. *Genetic Res. Crop Evol.* 49(5):471-481.
- Hatfield, J. L. and Prueger, J. H. 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and climate extremes.* 10:4-10.
- Hernández, L. A. y Carballo, C. A. 1984. Caracterización de genotipos de maíz de Valles Altos por sus requerimientos de unidades calor. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 44:42-48.
- Hou, P.; Liu, Y.; Xie, R.; Ming, B.; Ma, D.; Li, S. and Mei, X. 2014. Temporal and spatial variation in accumulated temperature requirements of maize. *Field Crops Res.* 158:55-64.
- Kumudini S.; Andrade, F. H.; Boote, K. J.; Brown, G. A.; Dzotsi, K. A.; Edmeades, G. O.; Gocken, T.; Goodwin, M.; Halter, A. L.; Hammer, G. L.; Hatfield, J. L.; Jones, J. W.; Kemanian, A. R.; Kim, S. H.; Kiniry, J.; Lizaso, J. I.; Nendel, C.; Nielsen, R. L.; Parent, B.; Stöckle, C. O.; Tardieu, F.; Thomison, P. R.; Timlin, D. J.; Vyn, T. J.; Wallach, D.; Yang, H. S. and Tollenaar, M. 2014. Predicting maize phenology: intercomparison of functions for developmental response to temperature. *Agron. J.* 106(6):2087-2097.
- Liu, Y.; Xie, R.; Hou, P.; Li, S.; Zhang, H.; Ming, B. and Liang, S. 2013. Phenological responses of maize to changes in environment when grown at different latitudes in China. *Field Crops Res.* 144:192-199.
- McMaster, G. S. and Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest Meteorol.* 87(4):291-300.
- Monteith, J. L. 1977. Climate. *In: ecophysiology of tropical crops.* Alvim, T. and Kozłowski, T. T. (Eds.). Academic Press. New York. 1-25 pp.
- Mullens, B. A. and Rutz, D. A. 1983. Development of immature *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae) at constant laboratory temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 76(4):747-751.
- Narwal, S. S.; Poonia, S.; Singh, G. and Malik, D. S. 1986. Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L.). *Agric. For. Meteorol.* 38(1):47-57.
- Noriega, L. A.; Preciado, R. E.; Andrio, E.; Terrón Ibarra, A. D. y Covarrubias Prieto, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(4):489-500.

- Rincón, J. A.; Castro, S.; López, J. A.; Huerta, A. J.; Trejo, C. y Briones, F. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton*. Buenos Aires. 75:31-40.
- Ruiz, J. A.; Flores, H. E.; Ramírez, L. y González, D. R. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia*. 36(5):569-577.
- Ruiz, J. A.; Sánchez, J. J. and Goodman, M. M. 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 mexican maize races. *Maydica*. 43(4):277-282.
- Sánchez, B.; Rasmussen, A. and Porter, J. R. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biol*. 20(2):408-417.
- Shim, D.; Lee, K. J. and Lee, B. W. 2017. Response of phenology and yield related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. *The Crop J*. 5:305-3016.
- Singh, P. M., Gilley, J. R. and Splinter, W. E. 1976. Temperature thresholds for corn growth in a controlled environment. *Transactions of the ASAE*. 19(6):1152-1155.
- Soto, F.; Hernández, N. y Plana, R. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Trop*. 30(3):32-36.
- Warrington, I. J. and Kanemasu, E. T. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seeding emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agron. J*. 75(5):749-754.