

FENOLOGÍA Y CONSTANTE TÉRMICA DE LA PITAHAYA (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose)

PHENOLOGY AND THERMAL CONSTANT OF DRAGON FRUIT (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose)

Martínez-Ruiz, E.R.¹; Tijerina-Chávez, L.¹; Becerril-Román, A.E.^{1*}; Rebolledo-Martínez, A.²; Velasco-Cruz, C.¹; del Ángel-Pérez, A.L.²

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Fruticultura. km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. México. Tel. 01595 95 20200 (Autor de correspondencia). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Cotaxtla. km 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz. C.P. 94270. México.

*Autor de correspondencia: becerril@colpos.mx

RESUMEN

La Constante Térmica (CT) son las unidades de calor acumuladas que necesita una planta para completar su ciclo, ya que la temperatura es uno de los elementos del clima más determinante en el desarrollo vegetal. Esta investigación se realizó con el fin de determinar la CT de *Hylocereus undatus*, valor desconocido para esta especie. En los ciclos 2013 y 2014 se estudió la fenología reproductiva de tres selecciones de pitahaya ('Ana', 'Juana' y 'Carlos'), establecidas en el Campo Cotaxtla del INIFAP en Medellín, Veracruz, México. Se determinaron las fechas de registro de las fases fenológicas: Brotación floral, antesis, amarre y madurez de frutos, y la duración en días de las etapas fenológicas (Brotación-Antesis, Antesis-Madurez de fruto y periodo completo). La CT se calculó en Grados-Día-Desarrollo (GDD), utilizando el método residual. El periodo reproductivo de la pitahaya inició después de registrarse los valores máximos de temperatura (<34 °C). La CT en cada etapa fenológica no varió estadísticamente entre flujos, ciclos ni entre selecciones. Para la etapa Brotación-Antesis, la CT fue de 360 GDD y para la de Antesis-Madurez de fruto la CT fue de 537 GDD; por lo tanto, para completar el período completo de Brotación-Madurez de fruto, la pitahaya ocupó 897 GDD.

Palabras clave: grados-día-desarrollo, fase fenológica, etapa fenológica.

ABSTRACT

The Thermal Constant (TC) is the units of accumulated heat that a plant needs to complete its cycle, since temperature is one of the most decisive climate elements in plant development. This research was done with the purpose of defining the TC of *Hylocereus undatus*, unknown value for this species. The reproductive phenology of three selections of dragon fruit ('Ana', 'Juana' and 'Carlos') was studied in the 2013 and 2014 cycles, established on the INIFAP Campo Cotaxtla field in Medellín, Veracruz, México. The register dates of the phenological phases were determined: flower budbreak, anthesis, fruit set, and fruit maturity, as well as the duration in days of the phenological stages (budbreak-anthesis, anthesis-fruit maturity, and complete period). The TC was calculated in degrees-day-development (DDD), using the residual method. The reproductive period of the dragon fruit began after the maximum temperature values were found (<34 °C). The TC in each phenological stage did not vary statistically among fluxes, cycles, or among selections. For the stage of budbreak-anthesis, the TC was 360 DDD, for anthesis-fruit maturity the TC was 537 DDD, therefore, to complete the budbreak-fruit maturity period, the dragon fruit took 897 DDD.

Keywords: degrees-day-development, phenological phase, phenological stage.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 9, septiembre. 2017. pp: 3-8.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** septiembre, 2017.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo vegetal regularmente se describen en términos de días calendario; sin embargo, determinar el desarrollo en términos de tiempo térmico o tiempo fisiológico, requiere del conocimiento de la acumulación de energía calórica para la ocurrencia de las etapas fenológicas de los cultivos (Salazar *et al.*, 2013). El tiempo térmico combina el tiempo cronológico con la temperatura y se ha usado para predecir la fenología de los cultivos, expresándose históricamente a través de diferentes términos: constante térmica, unidades térmicas, unidades calor, grados día desarrollo y grados día crecimiento (Miller *et al.*, 2001). La temperatura es el elemento del clima más determinante en el desarrollo de las plantas y los grados día desarrollo (GDD) o unidades calor es el índice más utilizado para estimar las etapas de desarrollo de los vegetales (Qadir *et al.*, 2007). Nerd *et al.* (2002) establecieron que el único elemento del clima que puede afectar la producción de flores en la pitahaya (*Hylocereus undatus*) es la temperatura durante el verano, siendo mínima la producción de botones florales en sitios con temperaturas entre 34 °C a 38 °C. En cuanto al factor precipitación, de acuerdo con Nobel y De la Barrera (2002a), la pitahaya responde de forma inmediata a la incidencia de lluvias, debido a su capacidad de incrementar la absorción neta de CO₂ después de un periodo de estrés hídrico.

La pitahaya es una especie frutal con alto potencial de desarrollo y oportunidades de mercado (Ortiz *et al.*, 2012). En México se registra una superficie de 831 ha establecidas con este cultivo, principalmente en Yucatán y Quintana Roo (SIAP-SAGARPA, 2016). No obstante la importancia que representa, no hay registro en la literatura en cuanto a los efectos del tiempo térmico, en sus diferentes términos, en pitahaya. Considerando este escenario, se realizó el presente estudio para determinar la Constante Térmica requerida para la presentación de las etapas fenológicas reproductivas de la pitahaya, así como identificar la influencia de los elementos del clima sobre el desarrollo reproductivo de este frutal en la región central de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, en Medellín, Veracruz, México (18° 56' 1.8" N, 96° 11' 35.5" O) a una altitud de 10 m. La precipitación media anual de la región es de 1350 mm; los meses más lluviosos son de junio a octubre, en los cuales se registra 80% de la precipitación del año. La temperatura media anual es de 26 °C y las temperaturas media anual máxima y mínima de 31.8 °C y 21.8 °C, respectivamente (INIFAP, 2013). Se obtuvieron los registros meteorológicos diarios de la estación agrometeorológica ubicada en el Campo Experimental Cotaxtla, correspondiente a los dos ciclos de evaluación: 1) ciclo 2013, de octubre 2012 a septiembre 2013; y, 2) Ciclo 2014, de octubre 2013-agosto 2014. Se registraron las variables del clima: temperatura ambiental (máxima, mínima y media) y precipitación. Para describir de forma aproximada la tendencia y variación de la temperatura a lo largo de los dos ciclos, se utilizaron valores ajustados de temperatura media, máxima, mínima y nocturna, todos ellos valores mensuales.

Se evaluaron las selecciones de pitahaya: 'Ana', 'Juana' y 'Carlos', recolectadas por el INIFAP en la región central de Veracruz, establecidas en el Campo Experimental Cotaxtla en 2008. Para el estudio de la fenología reproductiva se determinaron las fases fenológicas: Brotación floral, antesis, amarre y madurez de frutos (fisiológica); se registraron las fechas de cada fase y la duración en días de las etapas fenológicas de brotación-antesis (B-A) y antesis-madurez de fruto (A-M), así como del periodo reproductivo completo, que corresponde a un flujo reproductivo (brotación-madurez de fruto); se consideraron dos flujos en cada ciclo evaluado (Flujo 2 y Flujo 3).

Cálculo de los grados-día (GDD) y Análisis de datos

Para realizar el cálculo de GDD se utilizó el Método Residual mediante la siguiente ecuación (McMaster y Wilhelm, 1997):

$$GDD = \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) - T_{base}$$

Donde: T_{max}=temperatura máxima diaria; T_{min}=temperatura mínima diaria; y T_{base}=temperatura base o cero vital para la pitahaya (7 °C).

Se calcularon los GDD acumulados en las dos etapas fenológicas (B-A y A-M) y en el periodo completo (B-M), catalogando la información por cada flujo (Flujo 2 y Flujo 3) en cada ciclo. Para el análisis de los resultados se utilizó el paquete estadístico SAS 9.3 (Statistical Analysis System) para Windows. Se realizó un análisis de varianza para determinar significancia entre selecciones y entre flujos para las variables: Duración de las etapas fenológicas en días y

la Constante Térmica (CT) por etapa fenológica, calculada mediante la sumatoria de GDD durante la etapa en estudio. Debido a que no se encontró diferencia estadística al comparar la CT entre selecciones ni entre flujos, en este artículo se muestra la CT promedio por etapa fenológica. Se comparó también la CT resultante en los ciclos 2013 y 2014 para determinar diferencias; en específico, si la CT variaba de un ciclo a otro en cada etapa fenológica; sin embargo, la CT fue constante en ambos ciclos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ciclo 2013 se registraron temperaturas máxima (41.6 °C) el 23 de marzo, y mínima (7.9 °C) el 4 marzo. Durante el ciclo 2014, la temperatura máxima se registró el 28 de abril (42.3 °C) y la mínima el 23 de enero (7.9 °C). En ambos ciclos las máximas no alcanzaron el intervalo de 34 °C-38 °C (Figura 1) durante la etapa reproductiva de la pitahaya, lo cual puede afectar la brotación de yemas florales, de acuerdo con lo reportado por Nerd *et al.* (2002). Con los valores ajustados de temperatura media, máxima, mínima y nocturna fue posible determinar que la etapa reproductiva de la pitahaya ocurre después de que se registran los valores máximos de temperatura en la zona de estudio (Figura 1). De acuerdo con Nobel y de la Barrera (2002b), *H. undatus* alcanza la máxima absorción total neta de CO₂ en temperaturas de 30 °C durante el día y 20 °C por la noche, debido a que la mayor absorción de CO₂ ocurre en ese momento. Por lo tanto, la pitahaya responde a temperaturas nocturnas más altas que los cactus nativos de zonas áridas y semiáridas, para los cuales la absorción neta de CO₂ ocurre entre 10 °C y 15 °C durante la noche.

Durante el ciclo 2013, las temperaturas nocturnas oscilaron entre 17 °C y 25 °C, que fue condición favorable para la asimilación de CO₂, de acuerdo con lo anteriormente descrito; no obstante, para el ciclo 2014, en el mes de enero se registraron valores de temperatura nocturna de hasta 10 °C, lo cual pudo afectar la actividad fisiológica de las plantas, ya que, por debajo de 15 °C, esta especie reduce su actividad fisiológica (Nobel, 1988). En el ciclo 2013 la precipitación acumulada fue de 1117 mm, mientras que en 2014 solo se registraron 654 mm (Figura 2). En ambos ciclos la precipitación estuvo por debajo de la media anual de la zona (1350 mm). La brotación se registró dos meses después de que las plantas recibieron humedad, ya sea proveniente de precipitación o mediante riego.

La Figura 3 describe de forma detallada las etapas fenológicas de *Hylocereus undatus* durante el periodo reproductivo. Después de la emergencia, los brotes se desarrollan rápidamente hasta llegar a la antesis, donde las flores pierden el perianto; a partir de esta fase transcurren de cinco a seis días para que se presente el amarre de fruto e inicie el desarrollo del fruto. En la Figura 4 se muestran los botones florales de las selecciones de pitahaya evaluadas en este estudio. A los cinco días de haber emergido, en este periodo se

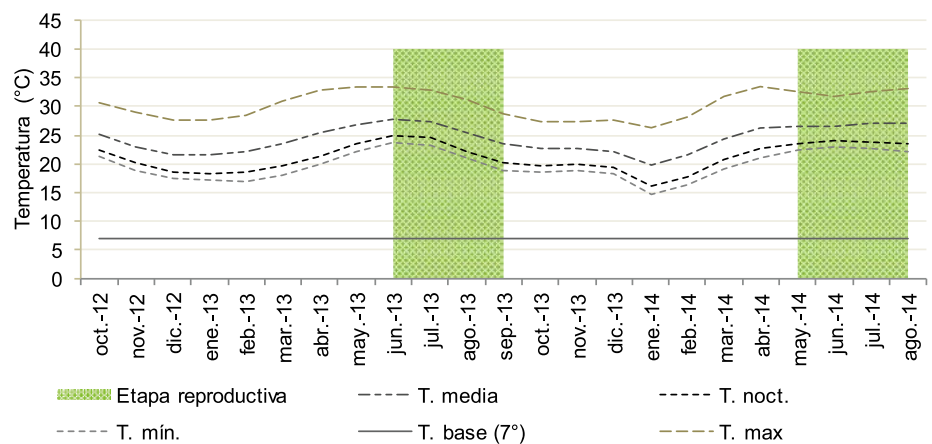


Figura 1. Temperaturas media (T. media), nocturna (T. noct.), mínima (T. mín.) y máxima (T. máx.), temperatura base (T. base=7 °C) y los periodos reproductivos de *Hylocereus undatus* (definidos por las barras verdes) en Medellín, Veracruz, México (2013 y 2014).

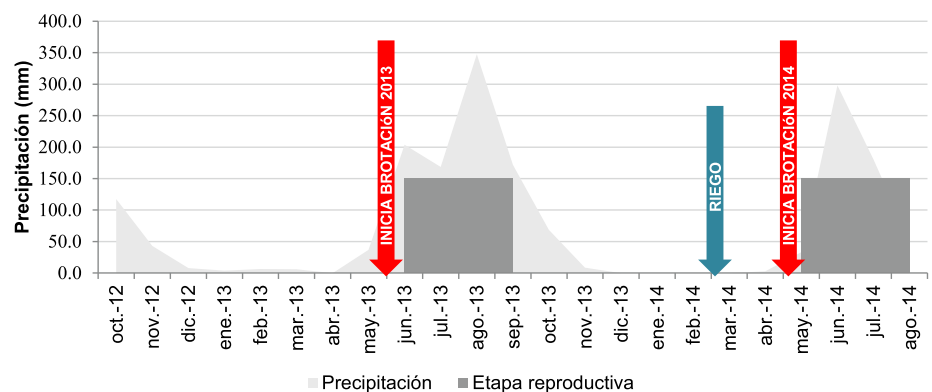


Figura 2. Precipitación registrada en Medellín, Veracruz, México (octubre 2012 - agosto 2014) y su relación con el inicio de brotación floral de *Hylocereus undatus* (barras oscuras muestran el periodo reproductivo de las plantas).

Fase I Brotación	Fase II Floración	Fase III Amarre de fruto	Fase IV Madurez de fruto
Se observa el levantamiento de una espina donde una yema que ha sido diferenciada emerge, iniciando el crecimiento de la yema floral.	Una vez que el perianto alcanza su máxima longitud (25-30 cm), la flor abre a partir de las primeras horas y permanece abierta hasta las 7 am del mismo día, aproximadamente.	El perianto cae y una vez fecundado el óvulo comienza el desarrollo del fruto.	Los frutos adquieren el color característico de la variedad observada. El cambio de color y firmeza de fruto son los indicadores para su cosecha.

Figura 3. Descripción de las fases fenológicas reproductivas de *Hylocereus undatus* observadas en Medellín, Veracruz, México (2013-2014).

incrementó exponencialmente el tamaño de los botones. En el ciclo 2013 se registraron cuatro periodos de brotación bien definidos en las tres variedades evaluadas y en el 2014 brotaron tres flujos; esto coincide con lo reportado por Castillo y Ortiz (1994), quienes identificaron tres periodos traslapados de floración y fructificación en los Valles Centrales de Oaxaca, México; no obstante, en otras regiones del país se han registrado más flujos, como en Culiacán, Sinaloa, donde Osuna *et al.* (2016) registró hasta siete flujos de brotación. En las Figuras 5a y 5b se resumen las fechas de registro de las fases fenológicas evaluadas, observándose cómo se traslapan los evaluados en este estudio. Entre el inicio de cada flujo transcurre aproximadamente un mes.

El periodo reproductivo de la pitahaya inició con la brotación del primer flujo de yemas florales el 29 de mayo del 2013. En este ciclo y flujo, todas las yemas florales brotadas, incluyendo las que llegaron a floración, presentaron abscisión. Castillo y Ortiz (1994) reportaron que en la región Valles Centrales de Oaxaca, México, aproximadamente 20% de los botones florales, abortaron después de detener su crecimiento, sobre todo, aquellos que emergieron al final, debido a que las flores no fueron polinizadas. En esta situación el pericarpio se torna amarillo y después de cuatro a seis días la flor completa cae (Le Bellec *et al.*, 2006); esta condición de polinización deficiente puede explicarse por una reacción debilitada de incompatibilidad sexual en *H. undatus* (Lichtenzweig, 2000). Para el ciclo 2014, la primera brotación se registró el 4 de mayo, lo que representó un adelanto de 25 días en relación con el ciclo 2013. Las yemas emergidas en este primer flujo también abortaron un día después de registrarse una precipitación. Esta respuesta inmediata



Figura 4. Botones florales de las selecciones de *Hylocereus undatus* evaluadas, a) 'Ana', b) 'Juana', c) 'Carlos'; siete días después de haber emergido.

de la pitahaya a la humedad se explica después de un periodo de estrés hídrico (Nobel y De la Barrera, 2002a). A nivel de selecciones se registró diferencia significativa, solamente en duración de la etapa Antesis-Madurez de fruto; no obstante, la duración del periodo completo fue estadísticamente igual entre selecciones (Cuadro 1). Osuna *et al.* (2016) reportaron para el Valle de Culiacán, Sinaloa, que *H. undatus* tarda de 14 a 18 días para completar la etapa brotación-antesis (B-A). No obstante, la etapa Antesis-Madurez de fruto (A-M) fue más prolongada, ocupando hasta 48 días (en los flujos más tardíos). En la región de Yucatán, México, transcurren 25 a 31 días

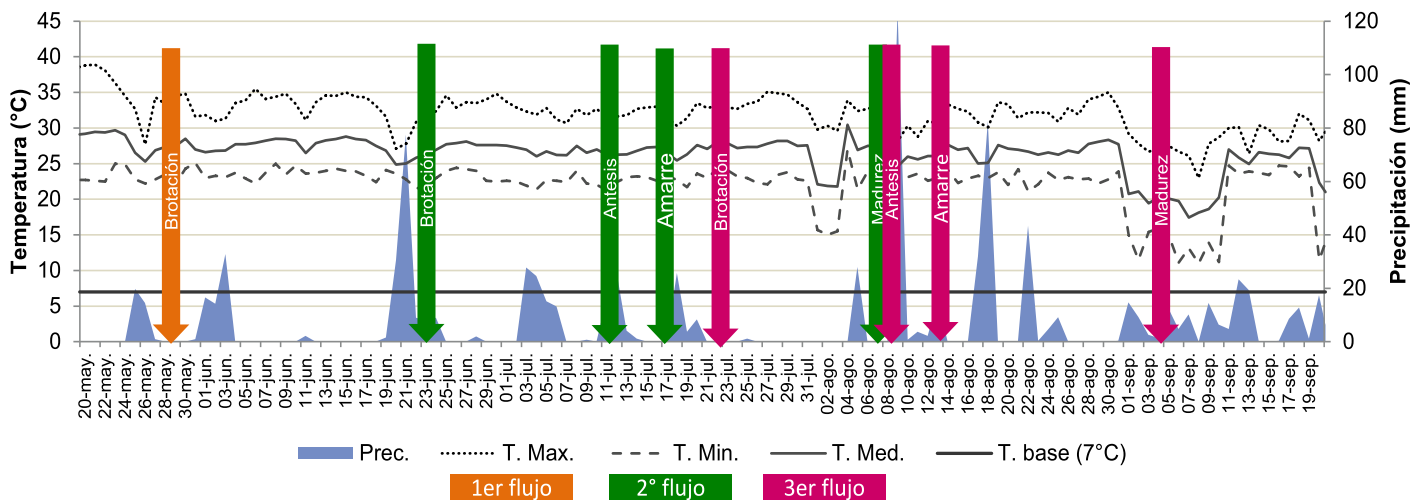


Figura 5a. Registros de temperaturas y precipitación para el ciclo de evaluación 2013 y periodo reproductivo de *Hylocereus undatus* en Medellín Veracruz, México. (Prec.=Precipitación; T. Max.=Temperatura Máxima; T. Min.=Temperatura Mínima; T. Med.=Temperatura Media; T. base=Temperatura base).

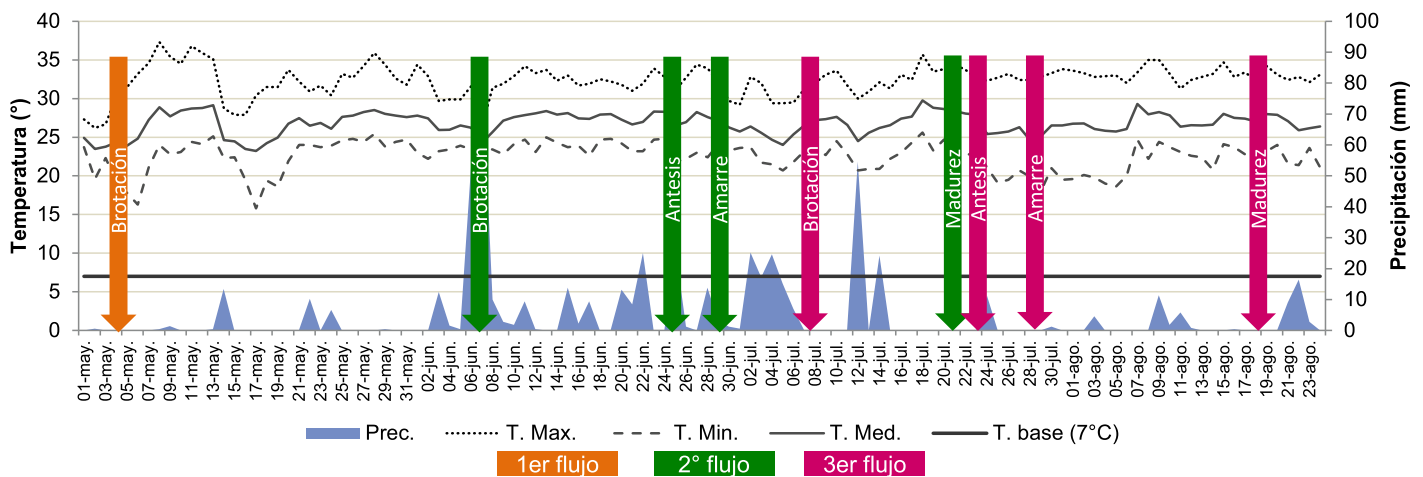


Figura 5b. Registros de temperaturas y precipitación para el ciclo de evaluación 2014 y periodo reproductivo de *Hylocereus undatus* en Medellín Veracruz, México. (Prec.=Precipitación; T. Max.=Temperatura Máxima; T. Min.=Temperatura Mínima; T. Med.=Temperatura Media; T. base=Temperatura base).

después de la antesis para llegar a cosecha (Centurión et al., 2008), prolongándose mucho más que en Veracruz.

Acumulación de calor-Grados día desarrollo

Al registrarse en la región central de Veracruz valores de temperatura diaria superiores a la temperatura base de la pitahaya (7 °C), la acumulación de GDD fue consistente a lo largo de los dos ciclos de brotación. La CT resultante en cada etapa fenológica no varió estadísticamente entre los flujos 2 y 3, ni entre los ciclos 2013 y 2014 (Cuadro 2), por lo que se puede establecer que la CT fue constante. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre selecciones; por lo tanto, la CT por etapa fenológica fue estadísticamente igual entre selecciones.

Los valores de la CT resultantes deben ser los mismos en otras regiones; sin embargo, las etapas fenológicas serán cubiertas en un número de días variable, dependiendo de las condiciones meteorológicas de las otras regiones. En futuros estudios será posible determinar o pronosticar la fecha de registro de las fases fenológicas de esta especie, utilizando los valores de CT contabilizados en este estudio como un valor referencia para predicción.

CONCLUSIONES

La CT fue igual entre ciclos y selecciones. Se concluye que para la etapa B-A la CT fue de 360 GDD y para la A-M, de 537 GDD; en consecuencia, para el periodo completo (B-M) la CT total fue de 897 GDD. La

temperatura condicionó el inicio de la brotación floral de las selecciones evaluadas, ya que valores máximos de temperatura antecedieron el inicio de la brotación de los botones florales en los dos ciclos de estudio. Las temperaturas máximas registradas no sobrepasaron el intervalo de 34 °C-38 °C, por tanto, no inhibieron la brotación de yemas reproductivas en la pitahaya. La información generada en esta investigación es útil para realizar, a futuro, estudios de predicción de la ocurrencia de las fases fenológicas reproductivas de la pitahaya, considerando la CT obtenida en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Castillo M.R., Ortiz H., Y.D. 1994. Floración y fructificación de *Hylocereus undatus* (pitahaya) en Zaachila, Oaxaca. Revista Fitotecnia Mexicana 17: 12-19.
- Centurión Y.A.R., Solís P.S., Saucedo V.C., Báez S.R., Sauri D.E. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia Mexicana 31(1): 1-5.
- INIFAP. Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas. México. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=35925>. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2013.
- Le Bellec F., Vaillant F., Imbert E. 2006. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. *Fruits* 61:237-250.
- Lichtenzbeig J., Abbo S., Nerd A., Tel-Zur N., Mizrahi Y. 2000. Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany* 87(7): 1058-1065
- McMaster G.S., Wilhelm W.W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87 (4): 291-300.
- Miller P., Lanier W., Brandt S. 2001. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. Montana State University. Montguide MT200103 AG 7/2001. <http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200103AG.pdf> Fecha de consulta: 12/13/2013.
- Nerd A., Sitrit Y., Kaushik R., Mizrahi Y. 2002. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Sci. Hort.* 96: 343-350.
- Nobel P.S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York, USA. 270 p.
- Nobel P.S., De La Barrera E. 2002a. Stem water relations and net CO₂ uptake for a hemiepiphytic cactus during short-term drought. *Environmental and Experimental Botany* 48: 129-137.
- Nobel P.S., De La Barrera E. 2002b. High temperatures and net CO₂ uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Biotropica* 34: 225-231.
- Ortiz H.Y.D., Livera M.M., Carrillo S.J.A., Valencia B.A.J., Castillo M.R. 2012. Agronomical, physiological and cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus* spp.) in México. *Israel Journal of Plant Sciences* 60 (3): 359-370.

Cuadro 1. Duración en días de las etapas fenológicas de *Hylocereus undatus* en Medellín, Veracruz, México (2013 y 2014) (B-A: Brotación-Antesis; A-M: Antesis-Madurez de fruto; B-M: Brotación-Madurez de fruto).

Variedad/Etapa	B-A	A-M	B-M
Ana	18 a ^z	27 a	45 a
Juana	17 a	26 b	43 a
Carlos	18 a	27 a	45 a
Promedio	17	27	44
DMSH ^y	3.07	0.89	3.48
CV ^x	8.16	1.53	3.65

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) ^y DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; ^x CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 2. Constante térmica promedio por etapa fenológica de tres selecciones de *Hylocereus undatus* en Medellín, Veracruz, México (2013 y 2014) (B-A: Brotación-Antesis; A-M: Antesis-Madurez de fruto; B-M: Brotación-Madurez de fruto).

Variedad/Etapa	B-A	A-M	B-M
Ana	363 a ^z	544 a	907 a
Juana	353 a	522 a	874 a
Carlos	364 a	546 a	910 a
Promedio	360	537	897
DMSH ^y	65.54	34.50	97.30
CV ^x	8.40	2.96	5.00

^z Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) ^y DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; ^x CV: Coeficiente de variación.

- Osuna E.T., Valdez T.J.B., Sañudo B.J.A., Muy R.M.D., Hernández V.S., Villarreal R.M., Osuna R.J.M. 2016. Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Agrociencia* 50: 61-78.
- Qadir G., Cheema M.A., Hassan F., Ashraf M., Wahid M.A. 2007. Relationship of heat units accumulation and fatty acid composition in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 44(1): 24-29.
- Salazar-Gutierrez M.R., Johnson J., Chavez-Cordoba B., Hoogenboom G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production* 7(4):741-762.
- SIAP-SAGARPA. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> Fecha de consulta: 11/11/2016.