

Producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus* sp.) cultivada en Guanacaste, Costa Rica: relación con variables climáticas

Sprout production in pitahaya (*Hylocereus* sp.) grown in Guanacaste, Costa Rica: relation with climatic variables

José Eladio Monge Pérez

Finca Experimental
Interdisciplinaria de Modelos
Agroecológicos
Turrialba, Cartago, Costa Rica
jose.mongeperez@ucr.ac.cr

Michelle Loría Coto

Universidad Estatal a Distancia
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales
San José, Montes de Oca, Costa Rica
michelle_loria@yahoo.com

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre la producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus* sp.) y las variables climáticas. El ensayo se realizó en Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, entre enero de 2017 y noviembre de 2019. Las variables evaluadas fueron: número de brotes vegetativos (NBV), número de brotes reproductivos (NBR), precipitación pluvial (P, en mm), humedad relativa (HR, en %), temperatura promedio (Tp, en °C), temperatura máxima (Tmáx, en °C), temperatura mínima (Tmín, en °C), velocidad del viento (VV, en m/s); y radiación global (RG, en MJ/m²). Se obtuvieron las correlaciones de Spearman entre todas las variables, excepto NBR. La variable NBV no obtuvo correlaciones significativas con ninguna de las otras variables; sin embargo, sí se obtuvieron correlaciones significativas de NBV con las variables climáticas que se presentaron en meses previos a la brotación. La producción de brotes vegetativos no presentó un patrón definido a lo largo del período evaluado, mientras que la producción de brotes reproductivos ocurrió únicamente en el año 2019, durante la etapa inicial de la temporada lluviosa. En el momento de la producción de brotes reproductivos, las plantas no mostraron producción de brotes vegetativos.

PALABRAS CLAVE: fenología, clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa.

ABSTRACT: The objective was to evaluate the relationship between sprout production in pitahaya (*Hylocereus* sp.) and climatic variables. The trial was conducted in Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, from January 2017 to November 2019. Tested variables were: number of vegetative sprouts (NVS), number of reproductive sprouts (NRS), rainfall (R, in mm), relative humidity (RH, in %), average temperature (Ta, in °C), maximum temperature (Tmax, in °C), minimum temperature (Tmin, in °C), wind speed (WS, in m/s), and global radiation (GR, in MJ/m²). Spearman correlations were calculated among all variables, except NRS. NVS did not show significant correlations with any of the other variables; nevertheless, significant correlations of NVS were obtained with the climatic variables that occurred in the months prior to sprouting. The production of vegetative sprouts did not present a defined pattern throughout the evaluated period, while the production of reproductive sprouts occurred only in 2019, in the early stage of the rainy season. At the time of production of reproductive sprouts, the plants did not show production of vegetative sprouts.

KEYWORDS: phenology, climate, rainfall, temperature, relative humidity

Recibido: 30-12-21 | Aceptado: 10-02-22

CÓMO CITAR (APA): Monge Pérez, J. E., Loria Coto, M. (2022). Producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus* sp.) cultivada en Guanacaste, Costa Rica: relación con variables climáticas. *InterSedes*, 23(48), 94-114. DOI 10.15517/isucr.v23i48.49597

Publicado por la Editorial Sede del Pacífico, Universidad de Costa Rica

Introducción

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es una fruta popular debido a sus características fisicoquímicas, nutricionales, y sus compuestos bioactivos, razones por las cuales se le considera un alimento funcional, consumido en virtud de sus propiedades organolépticas y por su valor comercial agregado (Verona-Ruiz *et al.*, 2020; Ángel *et al.*, 2012). Se produce principalmente en regiones tropicales y subtropicales de América Latina y Asia (Ortiz-Hernández y Carrillo-Salazar, 2012; Verona-Ruiz *et al.*, 2020). La pitahaya pertenece a la familia Cactaceae, orden Caryophyllales, y su aporte nutricional incluye fibra dietética, vitaminas A y C, potasio, hierro, calcio, fósforo, zinc, sodio y magnesio, y además presenta propiedades antioxidantes y medicinales; también contiene betacianinas (pigmentos solubles en agua) que le dan el color rojo a la pulpa y la cáscara (Ángel *et al.*, 2012; Kishore, 2016; Verona-Ruiz *et al.*, 2020; Abirami *et al.*, 2021; Ortiz y Takahashi, 2020; Montesinos *et al.*, 2015).

El género *Hylocereus* incluye unas 31 especies, que difieren en la coloración interna y externa del fruto, entre otras características (Ángel *et al.*, 2012; Kishore, 2016; García-Rubio *et al.*, 2015). La especie *H. undatus* (cáscara roja y pulpa blanca) se cultiva ampliamente en muchos países del mundo, mientras que *H. polyrhizus* (cáscara roja y pulpa rojo-violeta) y *H. costaricensis* (cáscara y pulpa rojas) se cultivan en menor escala (Esquivel y Araya, 2012; Le Bellec y Vaillant, 2011). En Costa Rica y Nicaragua se cultiva con más frecuencia la pitahaya con frutos de cáscara y pulpa rojas, y las variedades más utilizadas son “Rosa”, “Cebra”, “Orejona”, “San Ignacio”, “Nacional”, “Crespa”, “Lisa”, así como la variedad “Amarilla”, de cáscara amarilla y pulpa blanca (INTA, 2002; García y Quirós, 2010; Esquivel y Araya, 2012; Mizrahi, 2014).

En Nicaragua, la producción de frutos de pitahaya va de mayo a noviembre (Ángel *et al.*, 2012), mientras que en Costa Rica el período de cosecha va de mayo a setiembre (García y Quirós, 2010). En el caso de México, el período reproductivo inicia a finales de abril o mayo, y termina en octubre (Ángel *et al.*, 2012). Las yemas florales emergen después de las primeras lluvias, y las plantas pueden tener hasta seis ciclos de floración a lo largo del año (Ángel *et al.*, 2012; Ha *et al.*, 2018).

Los factores ambientales, como la precipitación, humedad relativa y temperatura, pueden influir directamente sobre las fases fenológicas de las plantas, pues constituyen elementos que activan mecanismos fisiológicos, y provocan que cambien su metabolismo según las condiciones ambientales (Chagas *et al.*, 2019). La información de los estados fenológicos es importante para evaluar el impacto de las variables climáticas sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo, dado que la fenología es considerada un indicador clave del cambio climático (Kishore, 2016). El estudio de la fenología vegetativa y reproductiva de una planta a lo largo del tiempo genera insumos importantes para definir estrategias de manejo de la nutrición, polinización, propagación, así como conservación y fitomejoramiento (Chagas *et al.*, 2019; Kishore, 2016).

El análisis de correlación de Spearman es un método estadístico no paramétrico, que se usa para medir la intensidad de la asociación entre dos variables cuantitativas; esto significa que esta herramienta estadística se puede utilizar cuando la distribución de los datos no cumple con el supuesto de normalidad (Mondragón, 2014). La correlación de Spearman se ha usado para estudiar la relación entre la fenología del cultivo y las variables climáticas en palma aceitera (Chagas *et al.*, 2019), mientras que otros autores la utilizan con este mismo fin en el cultivo de pitahaya (Marques *et al.*, 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación entre la producción de brotes en pitahaya y las variables climáticas en Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

Materiales y métodos

El proyecto se desarrolló en Barrio El Limón, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, en una parcela de pitahaya (*Hylocereus* sp.) de la variedad “Orejona” cultivada de forma orgánica. Esta se ubica a 10° 17' 7,745” de Latitud Norte y 85° 35' 32,052” de Longitud Oeste, y a una altitud de 57 msnm, en las instalaciones de la Finca Experimental Santa Cruz, de la Universidad de Costa Rica. La fecha de siembra de la plantación fue el 1 de junio de 2016, a partir de plantas reproducidas vegetativamente mediante esquejes; la distancia de siembra fue de 3x3 m. Para el crecimiento de las plantas se utilizaron como tutores postes vivos de jiñocuabe (*Bursera*

simaruba), los que a su vez brindaron sombra al cultivo, y cuyas ramas fueron podadas cuando el nivel de sombra era excesivo.

El suelo de la parcela es arcilloso (45% de arcillas), con una capacidad de intercambio de cationes efectiva alta (28,79 cmol(+)/L), y en el cual la principal limitante es un bajo contenido de fósforo (P) (2 mg/L). La fertilización de la parcela consistió en la aplicación de bocashi, a una dosis de 1,5 kg/planta/año, fraccionada en tres aplicaciones a lo largo del año (junio, agosto y octubre), de 500 g cada una.

Se seleccionaron al azar 10 plantas de pitahaya de la parcela, en las cuales se realizaron las observaciones. Se hicieron visitas a la parcela cada dos semanas, con el fin de evaluar las siguientes variables:

1. Número de brotes vegetativos (NBV) nuevos por planta: se registró el dato para cada planta en forma quincenal, y se obtuvo el promedio.
2. Número de brotes reproductivos (NBR) nuevos por planta: se registró el dato para cada planta en forma quincenal, y se obtuvo el promedio.

Para la contabilización de los brotes vegetativos, se incluyeron aquellos que correspondieran con los estados de crecimiento fenológico 011, 013, 015, 017, 019 y 310, y para los brotes reproductivos se registraron los que se encontraban en los estados de crecimiento fenológico 510, 511, 513 y 514 y 515, en ambos casos según la escala BBCH desarrollada para pitahaya (Kishore, 2016). De esta forma se aseguró que no existiera un doble registro, ni tampoco un subregistro, de los brotes nuevos entre una evaluación y la siguiente, pues se comprobó que en el intervalo de dos semanas se registraban exactamente los brotes nuevos emergidos en ese lapso de tiempo. Las evaluaciones de los brotes iniciaron el 12 de enero de 2017 y finalizaron el 2 de noviembre de 2019.

Además, se obtuvieron los datos diarios de las siguientes variables climáticas en Santa Cruz para los años 2017-2019, los que fueron proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN): a) precipitación pluvial (P, en mm); b) humedad relativa (HR, en %); c) temperatura promedio (T_p , en °C); d) temperatura mínima (T_{\min} , en °C); e) temperatura máxima (T_{\max} , en °C); f) velocidad del viento (VV, en m/s); y g) radiación global (RG, en MJ/m²).

Para todas las variables, se obtuvo el promedio mensual, y a esos datos se les aplicó la prueba de Shapiro-Wilks modificado, la cual confirmó que los datos de todas las variables no se ajustaron a una distribución normal. Por lo tanto, para el análisis de la relación entre todas las variables, se utilizó la correlación de Spearman, según la descripción de Chagas *et al.* (2019); solamente se excluyó del cálculo de las correlaciones a la variable NBR, pues a lo largo de los 35 meses en que se desarrolló el presente estudio, solamente se presentaron brotes reproductivos en dos de esos meses.

En forma adicional, para la variable NBV se calcularon las correlaciones de Spearman con respecto a las variables climáticas, según los datos obtenidos en cada uno de los 12 meses previos a la brotación, con el fin de identificar el efecto de esas variables sobre la producción de brotes vegetativos en los meses subsiguientes.

Resultados y discusión

En las figuras 1 a 5 se presentan los datos de las variables climáticas en Santa Cruz durante el período evaluado. La P varió entre 0 y 236,7 mm, con un promedio de 5,26 mm; la HR osciló entre 47 y 100 %, con un promedio de 75,25 %; la VV varió entre 0,2 y 6,1 m/s, con un promedio de 1,95 m/s; la RG osciló entre 1,0 y 28,0 MJ/m², con un promedio de 19,17 MJ/m²; la T_p osciló entre 23,2 y 31,5 °C, con un promedio de 27,43 °C; la $T_{máx}$ varió entre 24,8 y 40,5 °C, con un promedio de 33,37 °C; y la $T_{mín}$ osciló entre 16,8 y 27,5 °C, con un promedio de 23,43 °C. Investigadores informan que la fijación neta de CO₂ en pitahaya es óptima cuando la temperatura diurna y nocturna es de 30 y 20 °C, respectivamente, en comparación a temperaturas mayores o menores (Nobel y De la Barrera, 2002a); las condiciones de T_p que se presentaron durante este ensayo se ubicaron un poco por encima de ese rango, mientras que la $T_{mín}$ promedio sí se ubicó en ese rango pero la $T_{máx}$ promedio fue superior al mismo.

Se observa que la precipitación pluvial provocó un aumento en la humedad relativa, y una disminución en T_p , $T_{máx}$, $T_{mín}$ y RG, lo cual corresponde a consecuencias lógicas producto de las lluvias. Durante la temporada lluviosa, la humedad relativa se mantuvo casi siempre por encima de 60-80 %.

FIGURA 1

PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MM) EN SANTA CRUZ (12 ENERO DE 2017 A 2 NOVIEMBRE DE 2019)

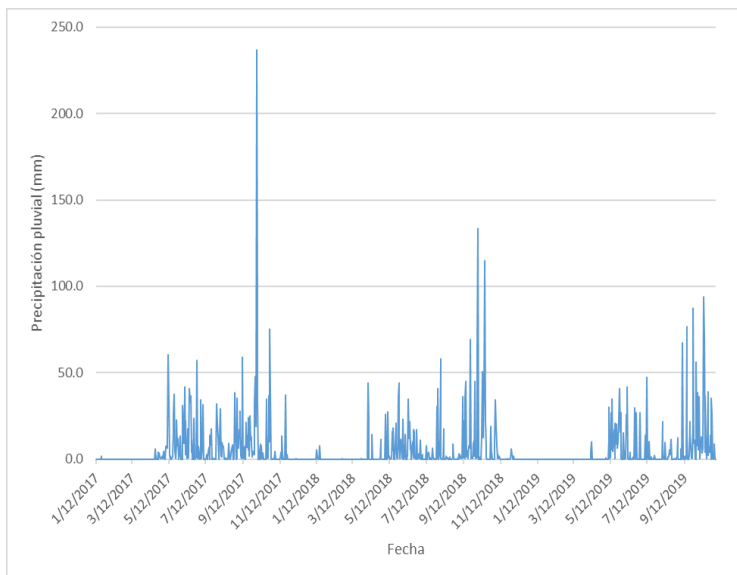


FIGURA 2

HUMEDAD RELATIVA (%) EN SANTA CRUZ (12 ENERO DE 2017 A 2 NOVIEMBRE DE 2019)

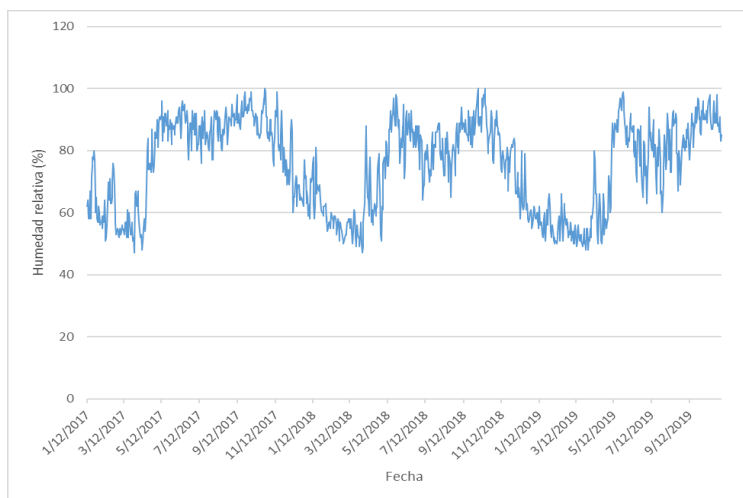


FIGURA 3

VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) EN SANTA CRUZ (12 ENERO DE 2017 A 2 NOVIEMBRE DE 2019)

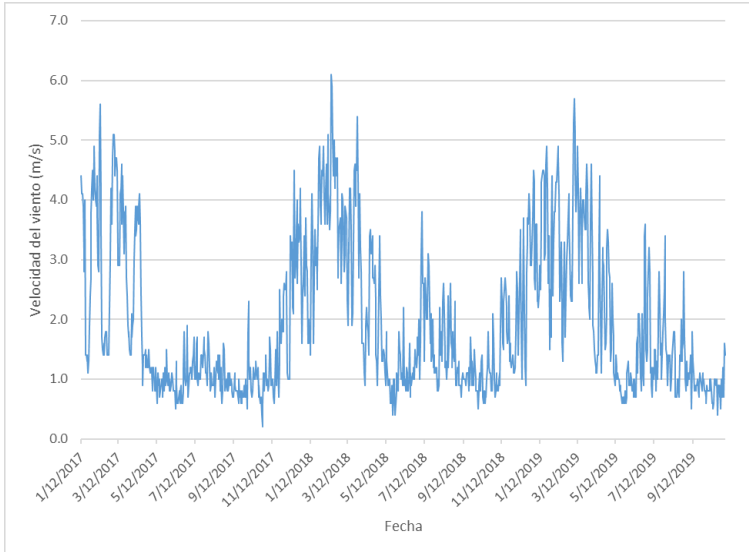


FIGURA 4

RADIACIÓN GLOBAL (MJ/M²) EN SANTA CRUZ (12 ENERO DE 2017 A 2 NOVIEMBRE DE 2019)

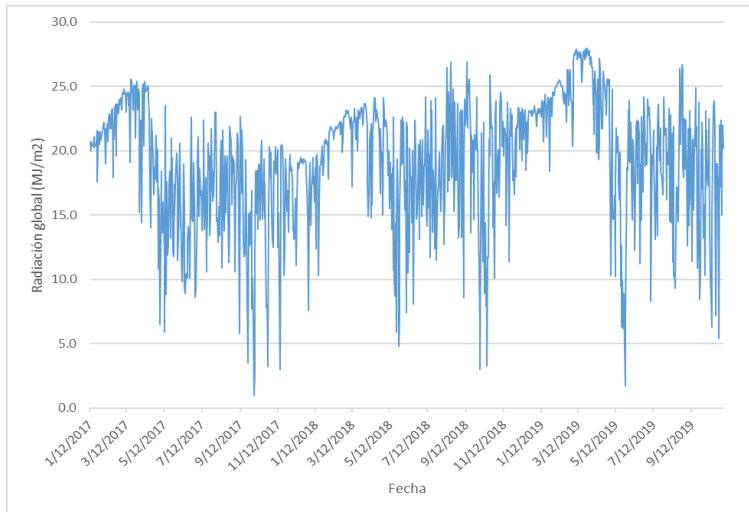
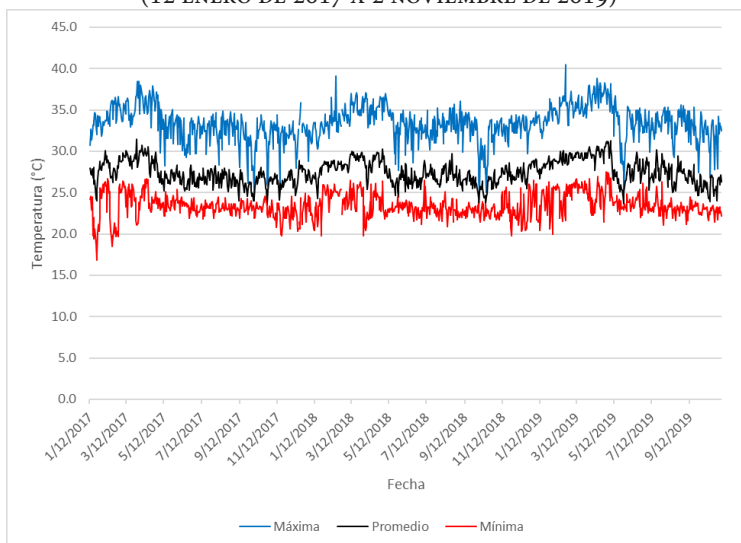


FIGURA 5

TEMPERATURAS (MÁXIMA, PROMEDIO Y MÍNIMA, °C) EN SANTA CRUZ
(12 ENERO DE 2017 A 2 NOVIEMBRE DE 2019)

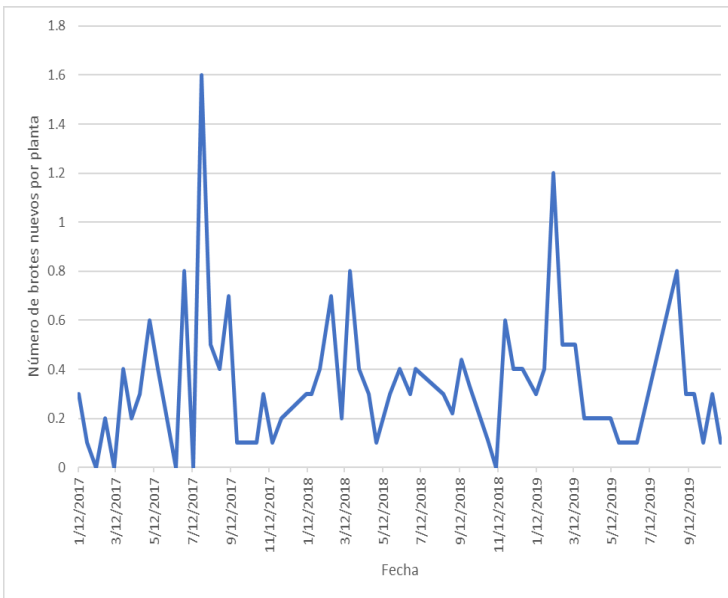


En la figura 6 se muestra la evolución de la producción de brotes vegetativos nuevos en el cultivo de pitahaya durante el período evaluado. Los picos máximos de producción de brotes se produjeron en mayo (0,6 brotes/planta), junio (0,8 brotes/planta), julio (1,6 brotes/planta) y setiembre (0,7 brotes/planta) de 2017; en febrero (0,7 brotes/planta), marzo (0,8 brotes/planta) y noviembre (0,6 brotes/planta) de 2018; y en febrero (1,2 brotes/planta) y agosto (0,8 brotes/planta) de 2019. No se observó un patrón definido en la producción de NBV a lo largo de estos tres años. Sin embargo, fue distintivo el que en todas las evaluaciones quincenales se encontraron brotes vegetativos emergiendo de las plantas; a lo largo de las 73 quincenas en que se tomaron evaluaciones de NBV, solamente en cinco de ellas no se encontraron brotes vegetativos en ninguna de las 10 plantas del ensayo. Por lo tanto, las plantas de pitahaya estuvieron produciendo brotes vegetativos de forma ininterrumpida a lo largo de los 35 meses de evaluación, por lo que es evidente que no se hayan encontrado correlaciones entre NBV y las variables climáticas, pues la brotación vegetativa aparentemente no dependió de ellas.

Otros investigadores informaron que la pitahaya produce múltiples eventos de brotación vegetativa a lo largo del año (Kishore, 2016; Trivellini *et al.*, 2020); esto se corroboró en el presente ensayo.

FIGURA 6

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN QUINCENAL PROMEDIO DE NUEVOS BROTES VEGETATIVOS (NBV) POR PLANTA EN PITAHAJA (12 ENERO 2017 A 2 NOVIEMBRE 2019)



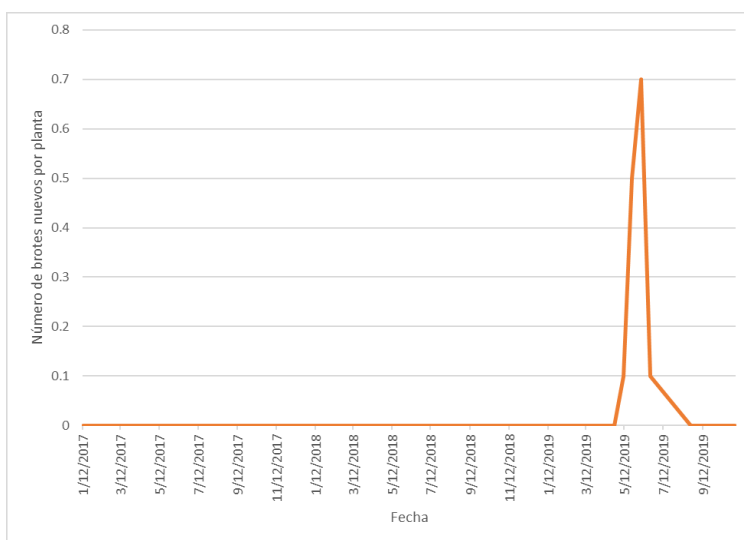
En la figura 7 se muestra la evolución de la producción de brotes reproductivos nuevos en el cultivo de pitahaya durante el período evaluado. La producción de brotes reproductivos sucedió únicamente en el año 2019, al tercer año de edad de la plantación, y los puntos máximos de producción de brotes se presentaron en mayo (0,5 brotes/planta) y junio (0,7 brotes/planta) de ese año. Los brotes reproductivos se produjeron durante la temporada lluviosa, pero solamente en la etapa inicial de la misma, nunca hacia mediados o finales de ella; en 2019 se produjeron entre el 10 de mayo y el 21 de junio, pero la temporada lluviosa se extendió hasta finales de octubre. Estos resultados son similares a los obtenidos por otros investigadores, quienes hallaron que el inicio de la floración

ocurrió después del inicio de la estación lluviosa (Marques *et al.*, 2010); por esa razón, el pico de floración coincidió con la ocurrencia de alta HR, ya que la floración inició únicamente cuando la HR alcanzó cerca de 80 % (Marques *et al.*, 2010); lo mismo ocurrió en el presente ensayo, pues la HR fue superior a 70 % durante el período de floración.

En otras plantaciones de pitahaya es normal que los primeros brotes reproductivos aparezcan a partir de los 12 meses luego de la siembra (INTA, 2002; Trivellini *et al.*, 2020). Por lo tanto, es atípico que en esta parcela de Santa Cruz los brotes reproductivos hayan aparecido únicamente hasta el tercer año; esto se pudo deber a algún factor que no fue evaluado, por ejemplo, la compactación del terreno, o también podría deberse al muy bajo contenido de P del suelo (2 mg/L).

FIGURA 7

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN QUINCENAL PROMEDIO DE BROTES REPRODUCTIVOS (NBR) NUEVOS POR PLANTA EN PITAHAYA (12 ENERO 2017 A 2 NOVIEMBRE 2019)



Otra posible explicación al hecho de que no se presentara floración en 2017 y 2018 es que la temperatura máxima registrada en Santa Cruz pudo haber afectado el desarrollo de la plantación, ya

que se ha establecido que temperaturas superiores a 30 °C pueden influir negativamente en el crecimiento, desarrollo y producción de la pitahaya (Nerd *et al.*, 2002; Nobel y De la Barrera, 2002a). Otra explicación podría estar relacionada con alguna característica física o química del suelo; en relación a esto, Lewis (2015) informa que el tipo de suelo afecta el número de flores producidas en pitahaya, y dicho número fue muy bajo en un suelo de arena blanca, probablemente con alto contenido de calcio; en este sentido, el suelo de Santa Cruz presentó 19,87 cmol(+)/L de Ca, lo que se considera bastante alto, y además presentó 8,06 cmol(+)/L de Mg, por lo que el contenido de bases del suelo era bastante alto, y podría entonces haber alguna afectación a la floración de la pitahaya debido a este factor. Otro factor a tomar en cuenta es que el contenido de P en el suelo era muy bajo, y dado que no se aplicó fertilización química sino únicamente orgánica, es probable que este bajo nivel del elemento influyera en la poca y tardía emisión de brotes reproductivos; en otros casos en Costa Rica, los primeros brotes reproductivos en pitahaya se obtienen principalmente a partir de los 12 meses de establecida la plantación (INTA, 2002; Trivellini *et al.*, 2020). Sin embargo, se requiere de más investigación para determinar las razones del atraso en el inicio de la floración en la parcela de pitahaya del estudio.

En el año 2019 se presentó solamente un ciclo de floración. Esto es inferior a lo informado por algunos autores, quienes obtuvieron entre 3-5 ciclos de floración por año (Kishore, 2016; Marques *et al.*, 2011; Martínez-Ruiz *et al.*, 2017; Nerd *et al.*, 2002), e inclusive otros investigadores han hallado entre 5 y 9 ciclos por año (Ángel *et al.*, 2012; Osuna-Enciso *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2015; Ha *et al.*, 2018).

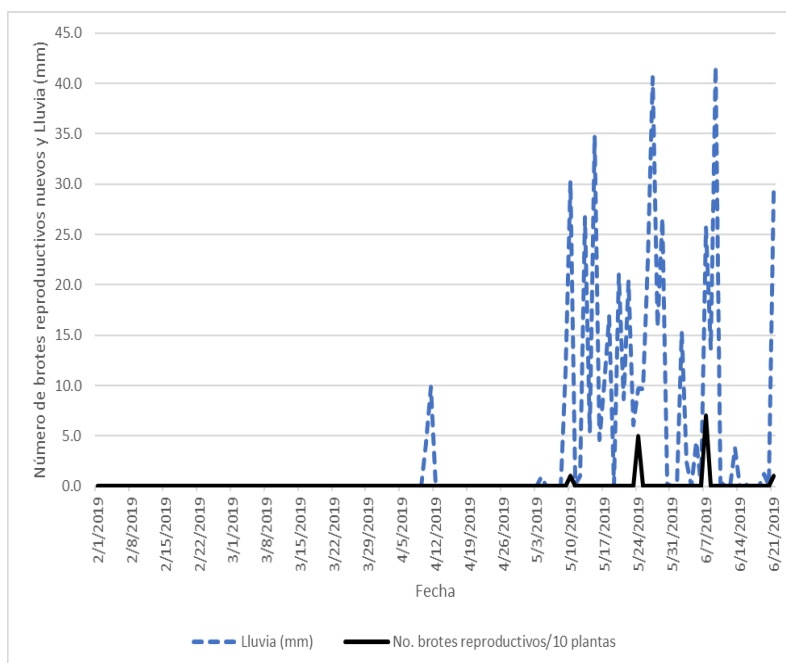
Asimismo, se observó que cuando la planta presenta brotes reproductivos, no presenta brotes vegetativos; este mismo fenómeno fue informado por otros investigadores (Trivellini *et al.*, 2020).

En la figura 8 se presenta la relación entre la precipitación pluvial y la producción de brotes reproductivos del 1° de febrero al 21 de junio de 2019. Los días 10 y 11 de abril se presentó una precipitación acumulada de 14,2 mm, pero que no interrumpió la temporada seca. El 4 de mayo se produjo una pequeña precipitación (0,9 mm). El siguiente aguacero se produjo el 9 de mayo (11,5 mm), y los primeros brotes se detectaron el 10 de mayo. Entre el 10 y el 23

de mayo la precipitación acumulada fue de 186,4 mm, y el 24 de mayo se registró una brotación importante (0,5 NBR). Entre el 24 de mayo y el 6 de junio la precipitación acumulada llegó a 147,3 mm, y el 7 de junio se registró el máximo pico de producción de brotes (0,7 NBR).

FIGURA 8

RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MM) Y LA PRODUCCIÓN DE BROTES REPRODUCTIVOS NUEVOS (1° FEBRERO A 21 JUNIO 2019)



Otros autores informaron que cuando la pitahaya se encuentra en condiciones de sequía, la conductividad hidráulica se reduce, pero se recupera completamente a valores similares de condiciones húmedas luego de tres días de restablecido el abastecimiento de agua, lo que se considera una respuesta rápida de esta especie (Nobel y De la Barrera, 2002b). En otro trabajo se encontró que la brotación reproductiva en pitahaya se registró dos meses después de que las plantas recibieron humedad, ya sea proveniente de precipitación o mediante riego (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017).

La pitahaya es una especie isohídrica, por lo que una reducción en el potencial hídrico del suelo debido a la sequía se manifiesta en un pequeño cambio en el contenido de agua de la planta, lo cual se debe al efecto del ácido abscísico (ABA) producido en las raíces y que causa el cierre de los estomas, lo que garantiza la conservación del agua en el tallo (Nobel y De la Barrera, 2002b). Si una planta de pitahaya se encuentra en condiciones de sequía y recibe un pequeño evento de lluvia que aumenta el potencial hídrico del suelo (pero solo por un corto lapso de tiempo) esto no producirá un período sostenido de apertura estomática que contribuya a reducir el contenido de agua del tallo (Nobel y De la Barrera, 2002b); probablemente esta es la razón por la cual la lluvia de abril de 2019 no provocó la brotación reproductiva, sino que se debió esperar a que la temporada lluviosa se estableciera para que las plantas mantuvieran abiertos los estomas y maximizaran la fijación neta de carbono. La pitahaya responde de forma inmediata a la incidencia de lluvias, debido a su capacidad de incrementar la absorción neta de CO_2 después de un período de estrés hídrico (Nobel y De la Barrera, 2002b). Se debe recordar que la pitahaya presenta el mecanismo ácido de las crasuláceas (CAM), por lo que la máxima apertura estomática y la fijación neta de carbono ocurre durante la noche (Nobel y De la Barrera, 2002b). El mecanismo CAM otorga una tolerancia a la sequía extrema, dado que los estomas permanecen cerrados durante el día, lo que ayuda a mantener el agua en la planta (Trivellini *et al.*, 2020; Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Algunos autores informan que un estrés hídrico moderado reduce el metabolismo CAM, mientras que un estrés hídrico severo lo detiene; además, encontraron que la máxima tasa fotosintética ocurrió durante la estación lluviosa (Ortiz-Hernández *et al.*, 2012).

En la tabla 1 se muestran los resultados de la correlación de Spearman entre los datos de producción de brotes y las variables climáticas. En el caso de NBV, no se obtuvo ninguna correlación significativa con las otras variables, lo que confirma que no se presentó ningún patrón definido o característico en la aparición de los brotes vegetativos, ligado a alguna variable climática.

Las correlaciones entre todas las variables climáticas fueron significativas, excepto entre T_{\min} y P, y entre T_{\min} y VV. Las que fueron significativas son muy visibles; por ejemplo, un aumento en la T_p se correlacionó positivamente con un aumento en T_{\max} y

T_{\min} ; además, un aumento en P y en HR se correlacionó en forma negativa con la T_p , debido a que la presencia de humedad en el ambiente hace que el agua absorba el calor y se evapore, lo que reduce la temperatura; P y HR mostraron una correlación positiva, dado que la presencia de lluvia aumenta la humedad relativa del ambiente.

TABLA 1

RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE BROTES Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

	NBV	NBR	T_p	T_{\max}	T_{\min}	P	HR	VV	RG
NBV	1	0,28 ns	0,14 ns	0,20 ns	0,28 ns	-0,14 ns	-0,11 ns	0,11 ns	0,18 ns
NBR		1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T_p			1	0,89**	0,65**	-0,72**	-0,90**	0,82**	0,80**
T_{\max}				1	0,63**	-0,55**	-0,75**	0,62**	0,79**
T_{\min}					1	-0,18 ns	-0,42**	0,33 ns	0,33*
P						1	0,91**	-0,93**	-0,77**
HR							1	-0,97**	-0,87**
VV								1	0,81**

Nota. Se promediaron los datos de cada mes (12 enero de 2017 a 2 noviembre de 2019). NBV: número de brotes vegetativos; NBR: número de brotes reproductivos; T_p : temperatura promedio (°C); T_{\max} : temperatura máxima (°C); T_{\min} : temperatura mínima (°C); P: precipitación pluvial (mm); HR: humedad relativa (%); VV: velocidad del viento (m/s); RG: radiación global (MJ/m²). *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ns: no significativa; ND: no dato.

Otros autores hallaron que la T_p fue la variable que presentó la mayor correlación positiva ($r_s = 0,75$) con NBR en pitahaya (Marques *et al.*, 2010); sin embargo, esto se debe a que en el sitio localizado en Brasil en el cual llevaron a cabo el ensayo se presentan las cuatro estaciones, por lo que los brotes reproductivos aparecen principalmente en la época de verano ($T_p = 20-25$ °C), y nunca cuando dicha temperatura fue menor a 20 °C.

Con respecto a la relación entre temperatura y floración, investigadores encontraron que un rango de temperatura entre 34-38 °C redujo de forma importante la floración en pitahaya (Nerd *et al.*, 2002); en el presente ensayo, durante los meses secos la T_{\max}

alcanzó valores promedio de 33,37 °C, con un rango entre 24,8 y 40,5 °C, por lo que esta condición pudo haber influido en las plantas de pitahaya, y consecuentemente afectar el proceso de floración en el presente ensayo.

En un ensayo realizado en México, se encontró que la etapa reproductiva de la pitahaya ocurrió luego de la época del año en que se registraron los valores máximos de temperatura (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017); esto mismo sucedió en el presente ensayo en el año 2019.

Además acerca de la T_p , otros autores indicaron que también HR y P fueron las variables climáticas que más interfirieron en la floración (Marques *et al.*, 2010); en el presente ensayo el resultado fue similar con respecto a todas esas variables. Varios investigadores hallaron que la emisión de brotes reproductivos coincidió con el inicio de la estación lluviosa y con altas temperaturas (mayor a 20 °C) (Silva *et al.*, 2015), mientras que otros encontraron que el inicio de la floración coincidió con el inicio de las lluvias y el incremento de la temperatura y la HR (Osuna-Enciso *et al.*, 2016); dichos resultados coinciden con los obtenidos en el presente ensayo en lo concerniente a P y HR.

En otros estudios se informó que la temperatura que antecede a los meses de emisión de brotes reproductivos parece interferir con el inicio de la floración, dado que los brotes reproductivos iniciaron dos meses después de que la T_p fue superior a 20 °C (Marques *et al.*, 2010). Sin embargo, en el presente ensayo la T_p siempre fue superior a los 20 °C a lo largo de todo el período del estudio.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la correlación de Spearman entre los datos de producción de brotes vegetativos (NBV) con respecto a las otras variables, según los datos obtenidos en cada uno de los 12 meses previos a la brotación vegetativa (MPBV).

TABLA 2
 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN ENTRE EL NÚMERO DE BROTES VEGETATIVOS (NBV) Y LAS OTRAS VARIABLES, SEGÚN LOS DATOS OBTENIDOS EN CADA UNO DE LOS 12 MESES PREVIOS A LA BROTAÇÃO VEGETATIVA

Variable principal	Momento de evaluación de la otra variable (MPBV)	Otras variables									
		NBR	T _p	T _{máx}	T _{mín}	P	HR	VV	RG		
NBV	1	0,38*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	2	0,54**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	3	0,48**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	7	ND	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	8	ND	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	9	ND	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,46*
	10	ND	ns	ns	0,40*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	11	ND	ns	ns	0,55**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Nota. Se promediaron los datos de cada mes (12 enero de 2017 a 2 noviembre de 2019). MPBV: meses previos a la brotación vegetativa; NBV: número de brotes vegetativos por quincena; NBR: número de brotes reproductivos por quincena; T_p: temperatura promedio (°C); T_{máx}: temperatura máxima (°C); T_{mín}: temperatura mínima (°C); P: precipitación (mm); HR: humedad relativa (%); VV: velocidad del viento (m/s); RG: radiación global (MJ/m²). *: p≤0,05; **: p≤0,01; ns: no significativa; ND: no dato.

La variable NBV presentó una correlación significativa de carácter positivo con NBR entre 1 y 3 MPBV; esto significa que un aumento en el NBR influye positivamente sobre el NBV que se obtendrá entre 1-3 meses después.

Por otra parte, se encontró una correlación positiva relevante entre NBV y T_{\min} entre 10 y 11 MPBV. Esto significa que un aumento en la T_{\min} influirá de forma positiva sobre el NBV que se obtendrá 10-11 meses después.

Además, se encontró una correlación positiva también significativa entre NBV y VV a 12 MPBV. Esto significa que un aumento en VV influirá en forma positiva sobre el NBV que se obtendrá 12 meses después.

Se halló una correlación negativa significativa entre NBV y P a 12 MPBV, así como también entre NBV y HR a 12 MPBV. Por lo tanto, un aumento en P (y consecuentemente un aumento en HR) influye en forma negativa sobre el NBV que se producirá 12 meses después.

También, se obtuvo una correlación negativa significativa entre NBV y RG a 9 MPBV, por lo que un aumento en RG influye en forma negativa sobre el NBV que se producirá 9 meses después.

Debido a que los factores climáticos actúan en forma simultánea, se hace difícil la identificación de la influencia de cada uno de ellos sobre los parámetros fenológicos en pitahaya y en otros cultivos (Marques *et al.*, 2010); esta complejidad también se evidenció en el presente ensayo, al intentar interpretar la influencia de las variables climáticas que se presentan en un momento dado sobre la producción de brotes vegetativos en los meses subsiguientes en el cultivo de pitahaya.

Conclusiones

La variable NBV no obtuvo correlaciones significativas con ninguna de las otras variables; sin embargo, sí se obtuvieron correlaciones significativas de NBV con las variables climáticas que se presentaron en meses previos a la brotación.

La producción de brotes vegetativos no presentó un patrón definido a lo largo del período evaluado, mientras que la producción de brotes reproductivos ocurrió únicamente en el año 2019, en la etapa inicial de la temporada lluviosa.

En la gran mayoría de las evaluaciones quincenales se encontraron brotes vegetativos emergiendo de las plantas (68 de las 73 evaluaciones). Por lo tanto, las plantas de pitahaya estuvieron produciendo brotes vegetativos prácticamente de forma ininterrumpida a lo largo de los 35 meses de evaluación, por lo que es lógico que no se hayan encontrado correlaciones entre NBV y las variables climáticas, pues la brotación vegetativa aparentemente no dependió de ellas.

En el momento de la producción de brotes reproductivos, las plantas no mostraron producción de brotes vegetativos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Wendy Lázaro en el trabajo de campo, y de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés. Asimismo, agradecen la cesión de los datos meteorológicos por parte del Instituto Meteorológico Nacional, y el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Costa Rica para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Abirami, K., Swain, S., Baskaran, V., Venkatesan, K., Sakthivel, K. y Bommayasamy, N. (2021). Distinguishing three Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) species grown in Andaman and Nicobar Islands of India using morphological, biochemical and molecular traits. *Scientific Reports*, 11, 28-94.
- Ángel, A., Estrada, C., Rebolledo, A. y Zetina, R. (2012). *Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Chagas, K., Carvalho, B., Guerra, C., Silva, R. y Vieira, F. (2019). Fenología do dendezeiro e correlações com variáveis climáticas. *Ciência Florestal*, 29 (4), 1701-1711.
- Esquivel, P. y Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129.

- García, M. y Quirós, O. (2010). Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 23 (2), 14-24.
- García-Rubio, L., Vargas-Ponce, O., Ramírez-Mireles, J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. y Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93 (4), 1-19.
- Ha, T., Oanh, L. y Yen, C. (2018). Flowering phenology and mating system of a red skin pitaya (*Hylocereus* spp.) germplasm collection in Taiwan. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 7 (3), 1-8.
- López, H. y Miranda, A. (2002). *Cultivo de la pitahaya* (Vol. Guía tecnológica 6). Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 213, 294-302.
- Le Bellec, F. y Vaillant, F. (2011). Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 247-273). Woodhead Publishing Limited.
- Lewis, S. (2015). Cultivation of pitahaya (*Hylocereus undatus*) in three soil types of Guyana. *International Journal of Agricultural Research and Review*, 3 (2), 177-183.
- Marques, V., Moreira, R., Ramos, D., Araújo, N. y Silva, O. (2011). Fenología reproductiva de pitaia vermelha no município de Lavras, MG. *Ciência Rural*, 41 (6), 984-987.
- Marques, V., Ramos, D., Araújo, A. y Moeira, R. A. (2010). Correlação dos fatores ambientais e o período reprodutivo da pitaia (*Hylocereus undatus*) em Lavras-MG. *XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura*.
- Martínez-Ruiz, E. R., Tijerina-Chávez, L., Becerril-Román, A. E., Rebolledo-Martínez, A., Velasco-Cruz, C. y Ángel-Pérez, A. L. (2017). Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. y Rose). *Agro Productividad*, 10 (9), 3-8.
- Mizrahi, Y. (2014). Vine-cacti pitayas - the new crops of the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36 (1), 124-138.

- Mondragón, M. A. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento Científico*, 8 (1), 98-104.
- Montesinos, J. A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M. A., Ruíz, G. y Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67-76.
- Nerd, A., Sitrit, Y., Kaushik, R. A. y Mizrahi, Y. (2002). High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 96 (1-4), 343-350.
- Nobel, P. S. y De la Barrera, E. (2002a). High temperatures and net CO₂ uptake, growth, and stem damage for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. *Biotropica*, 34 (2), 225-231.
- Nobel, P. S. y De la Barrera, E. (2002b). Stem water relations and net CO₂ uptake for a hemiepiphytic cactus during short-term drought. *Environmental and Experimental Botany*, 48, 129-137.
- Ortiz, T. A. y Takahashi, L. S. (2020). Pitaya fruit quality (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton y Rose) according to physiological maturity. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14 (1), 63-75.
- Ortiz-Hernández, Y. D. y Carrillo-Salazar, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Scientiae*, 3 (4), 220-237.
- Ortiz-Hernández, Y. D., Livera-Muñoz, M., Carrillo-Salazar, J. A., Valencia-Botín, A. J. y Castillo-Martínez, R. (2012). Agronomical, physiological, and cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus* spp.) in Mexico. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60, 359-370.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M. y Osuna-Rodríguez, 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 (1), 61-78.
- Silva, A. C., Cavallari, L. L., Sabião, R. y Martins, A. B. (2015). Fenologia reprodutiva de pitaya vermelha em Jaboticabal, SP. *Ciência Rural*, 45 (4), 585-590.

- Trivellini, A., Lucchesini, M., Ferrante, A., Massa, D., Orlando, M., Incrocci, L. y Mensuali-Sodi, A. (2020). Pitaya, an attractive alternative crop for Mediterranean region. *Agronomy*, 10, 1065.
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J. y Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): cultivo, características físicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11 (3), 439-453.