

Pitahaya (*Hylocereus sp.*) cv. Amarilla: producción de brotes y relación con variables climáticas**Dragon fruit (*Hylocereus sp.*) cv. yellow: shoot production and relationship with climatic variables**José Eladio Monge-Pérez¹ / Michelle Loría-Coto²Investigadores
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Recepción: 03-01-2022 Aceptación: 28-05-2022

Resumen

El estudio evaluó la relación entre la producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus sp.*) cv. Amarilla y las variables climáticas. El ensayo se realizó en San Mateo, en la provincia de Alajuela, Costa Rica; durante los meses de febrero del año 2017 a diciembre del año 2019.

Las variables evaluadas fueron: número de brotes vegetativos (NBV), número de brotes reproductivos (NBR), precipitación pluvial (P en milímetros); humedad relativa (HR en porcentaje), temperatura promedio (T_p en grados centígrados), temperatura máxima ($T_{máx}$ en grados centígrados), y temperatura mínima ($T_{mín}$ en grados centígrados). Se obtuvieron las correlaciones de Spearman entre todas las variables.

El número de brotes vegetativos no obtuvo correlaciones significativas con ninguna de las otras variables. El número de brotes reproductivos presentó una correlación positiva significativa, con las variables de temperatura mínima: (0.48**); temperatura promedio (0.34*) y precipitación pluvial (0.33*); por lo que, a mayor precipitación, temperatura promedio y temperatura mínima, mayor será el número de brotes reproductivos.

Se obtuvieron otras correlaciones significativas de número de brotes vegetativos y reproductivos con las variables climáticas obtenidas 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 las etapas inicial y media de la temporada lluviosa. Generalmente, en el surgimiento de los brotes reproductivos, la producción de brotes vegetativos fue baja o nula.

Palabras clave: Fenología, clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, pitahaya, pitahaya (*Hylocereus sp.*) cv. Amarilla

Abstract

The study evaluated the relationship between shoot production in dragon fruit (*Hylocereus sp.*) cv. yellow and climatic variables. The trial was carried out in San Mateo, in the province of Alajuela, Costa Rica; during the months of February 2017 to December 2019.

The variables evaluated were: number of vegetative shoots (NBV), number of reproductive shoots (NBR), rainfall (P in millimeters); relative humidity (RH in percentage), average temperature (T_p in degrees centigrade), maximum temperature (T_{max} in degrees centigrade), and minimum temperature (T_{min} in degrees centigrade). Spearman correlations were obtained between all variables.

The number of vegetative shoots did not obtain significant correlations with any of the other variables. The number of reproductive shoots presented a significant positive correlation with the variables of minimum temperature: (0.48**); average temperature (0.34*) and rainfall (0.33*); therefore, the higher the precipitation, average temperature and minimum temperature, the greater the number of reproductive shoots.

Other significant correlations of the number of vegetative and reproductive shoots with the climatic variables obtained in months prior to budding were obtained. The production of vegetative shoots did not present a defined pattern throughout the evaluated period, while the production of reproductive shoots occurred only in the initial and middle stages of the rainy season. Generally, at the emergence of reproductive shoots, the production of vegetative shoots was low or null.

Key words: Phenology, climate, rainfall, temperature, relative humidity, pitahaya, pitahaya (*Hylocereus sp.*) cv. yellow

1. Máster en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, investigador, Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica, Costa Rica; email: jose.mongeperez@ucr.ac.cr; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5384-507X>

2. Máster en Administración Educativa, investigadora, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica; email: michelle_loria@yahoo.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0456-2230>

1. Introducción

La pitahaya (*Hylocereus spp.*) es una planta de la familia Cactaceae, orden Cariophyllales, nativa del trópico y subtropico de México, Centroamérica y América del Sur; constituye el cactus trepador de mayor importancia a nivel mundial (Montesinos et al., 2015; Ángel et al., 2012). El uso principal de esta especie es como alimento, especialmente su fruto, aunque también se consumen sus flores y brotes tiernos. También sus semillas se usan como probióticos (Ángel et al., 2012; Montesinos et al., 2015). A partir de los frutos de pitahaya se puede obtener una gran diversidad de productos como gelatinas, refrescos, helados, yogurt, dulces, mermeladas, jaleas, cocteles, esencias, y suplementos digestivos (Huachi et al., 2015).

Las especies *H. undatus*, *H. polyrhizus*, *H. costaricensis*, *H. triangularis* y *H. purpusii* se cultivan principalmente en Centroamérica e Israel, y se conocen como pitahaya roja (Montesinos et al., 2015; Ángel et al., 2012). Entre las variedades de *Hylocereus sp.* que se encuentran con más frecuencia en Costa Rica y Nicaragua están: “Rosa”, “Cebra”, “Orejona”, “San Ignacio”, “Nacional”, “Crespa”, “Lisa”; todas ellas de cáscara y pulpa roja y, además, la variedad “Amarilla”, de cáscara amarilla y pulpa blanca (Mizrahi, 2014; INTA, 2002; García & Quirós, 2010). Ninguna de estas especies presenta espinas en el fruto, lo cual sí es característico de otra especie también llamada pitahaya, *Selenicereus megalanthus*, cuyos frutos son, asi-

mismo, de cáscara amarilla y de pulpa blanca (Mizrahi, 2014).

La pitahaya es una especie xerofítica, por lo que está adaptada a ambientes secos y áridos, dado que ha desarrollado mecanismos para favorecer la captación de agua y evitar la evapotranspiración (Ángel et al., 2012; Montesinos et al., 2015).

En México y Nicaragua, la producción de frutos de pitahaya sucede entre los meses de mayo a junio, y de octubre-noviembre (Le Bellec et al., 2006; Cálix et al., 2014; Ángel et al., 2012). Mientras que en Costa Rica ocurre entre los meses de mayo a septiembre; pero los meses de junio, julio y agosto son los de mayor producción (García & Quirós, 2010).

Con respecto a la floración de la pitahaya, las yemas florales emergen después del inicio de la temporada de lluvias (Le Bellec et al., 2006; Ángel et al., 2012). Los botones florales emergen principalmente de los tallos que se han desarrollado en el período de crecimiento del año anterior (Ángel et al., 2012).

Las variables climáticas, tales como la precipitación pluvial, la temperatura promedio y la humedad relativa pueden incidir directamente sobre la fenología de las plantas, dado que son elementos externos que accionan mecanismos fisiológicos, y causan que los individuos alteren su metabolismo según las condiciones ambientales (Chagas et al., 2019). La información sobre las fases fenológicas es importante para evaluar el impacto de las va-

riables 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 especie vegetal, a lo largo del tiempo, genera elementos cruciales para definir estrategias de manejo de los cultivos, así como de 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 dicha herramienta estadística se puede utilizar cuando la distribución de los datos no cumple con el supuesto de normalidad (Mondragón, 2014). Varios investigadores utilizaron la correlación de Spearman para estudiar la relación entre la fenología del cultivo y las variables climáticas en palma aceitera (Chagas *et al.*, 2019); mientras que otros la utilizaron 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 cv. Amarilla y sus variables climáticas.

2. Materiales y Métodos

El proyecto se desarrolló en San Mateo provincia de Alajuela en Costa Rica, en una parcela de pitahaya (*Hylocereus sp.*) de la variedad Amarilla cultivada en forma orgánica. Este terreno se ubicó a 9° 56' 36,880" de Latitud Norte y 84°

32' 57,148" de Longitud Oeste, y a una altitud de 232 msnm. La plantación se sembró el 1 de junio de 2016, a partir de plantas reproducidas vegetativamente mediante esquejes. La distancia de siembra fue de 3x3m.

Para el crecimiento de las plantas se utilizó como tutores postes vivos de jiñocuabe (*Bursera simaruba*, también conocido con los nombres vulgares de "indio desnudo", "jiñocuabo", "palo mulato", "chacaj" y "carate", entre otros). Este árbol sirvió de sombra al cultivo; además que sus ramas fueron podadas cuando el nivel de sombra era excesivo.

El suelo de la parcela fue arcilloso (55% de arcilla), con una capacidad de intercambio de cationes efectiva alta (13.49cmol (+) /L); y en el cual la principal limitante fue el bajo contenido de fósforo (4mg/L). La fertilización de la parcela consistió en la aplicación de bocashi, a una dosis de 1.5kg/planta/año, fraccionada en tres aplicaciones a lo largo del año (junio, agosto y octubre) de 500g cada una.

Se seleccionaron al azar diez 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)³ 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; mientras que para los brotes reproductivos se registraron los que se encontraban en los estados de crecimiento fenológico: 510, 511, 513 y 514 y 515, 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 8 de febrero de 2017, y finalizaron el 26 de diciembre de 2019.

Además, se obtuvieron los datos diarios de las siguientes variables climáticas en San Mateo para los años involucrados (2017-2019). Estos datos fueron proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), a saber: precipitación pluvial (P en mm); humedad relativa (HR en porcentaje); temperatura promedio (T_p en grados centígrados); temperatura mínima (T_{\min} en grados cen-

tígrados); y temperatura máxima (T_{\max} en grados centígrados).⁴

Para todas las variables se obtuvo el promedio mensual; asimismo, a estos datos se les aplicó la prueba de Shapiro-Wilks modificada, 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).

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

3. Resultados y Discusión

En las figuras 1 a 3 se presentan los datos de las variables climáticas en San Mateo durante el período evaluado. La P varió entre 0 y 168mm, con un promedio de 6.16 mm; la HR osciló entre 37 y 100%, con un promedio de 82.43%. La T_p osciló entre 21.8 y 30.0°C, con un promedio de 25.59°C; la T_{\max} varió entre 24.0 y 39.4 °C, con un promedio de 33.21 °C; y la T_{\min} osciló entre 15.2 y 26.4 °C, con un promedio de 20.39 °C.

3. Dentro del documento, el autor hará referencia a estos términos mediante sus acrónimos.

4. Para efectos prácticos de interpretación de los datos, dentro del documento y de una forma mayoritaria, los autores se referirán a estos términos mediante las abreviaturas anteriormente expuestas.

Figura 1
Precipitación pluviométrica (mm) en San Mateo

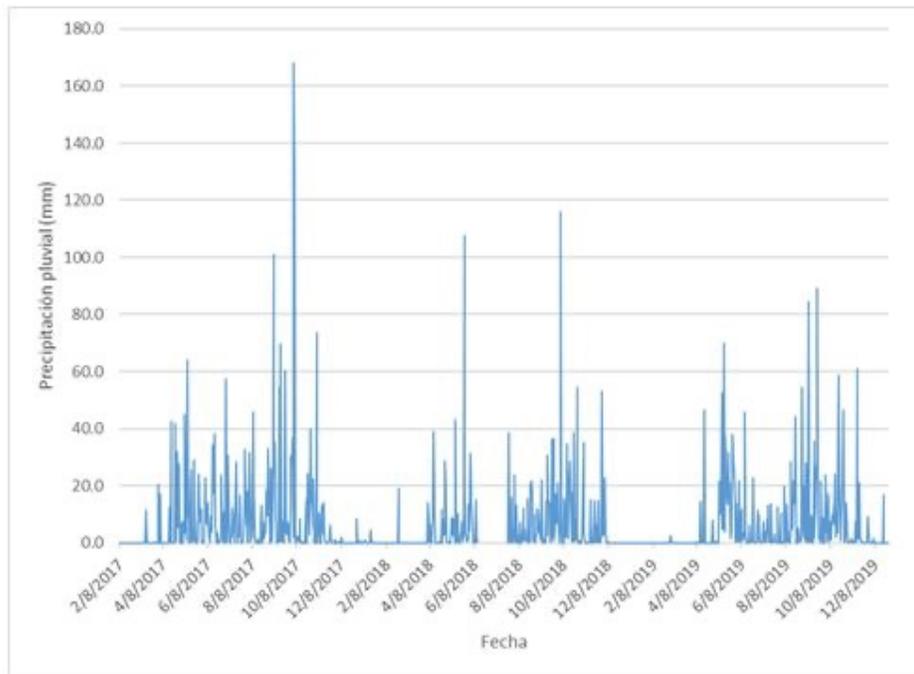


Figura 2
Porcentaje en humedad relativa

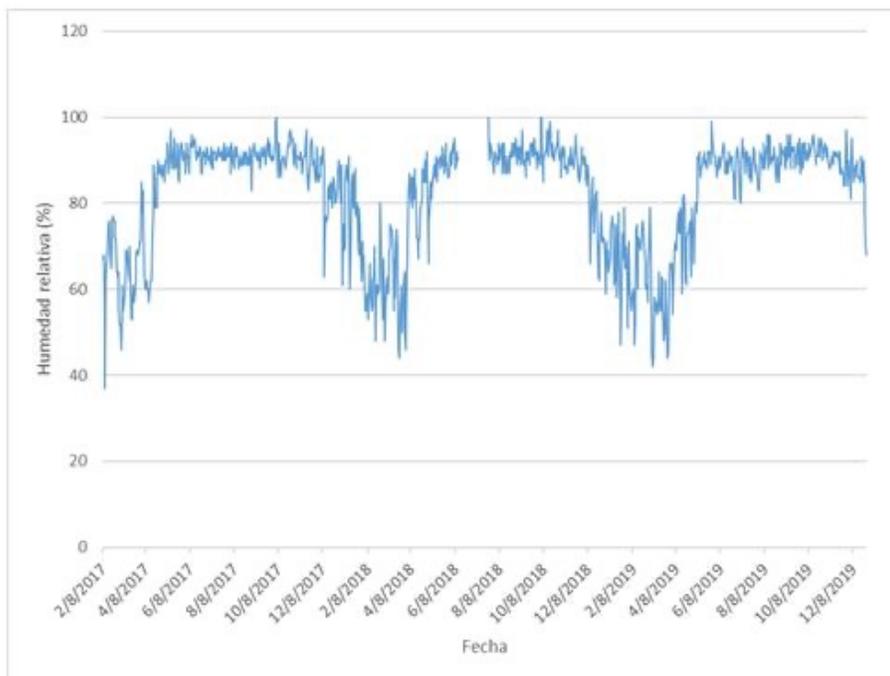
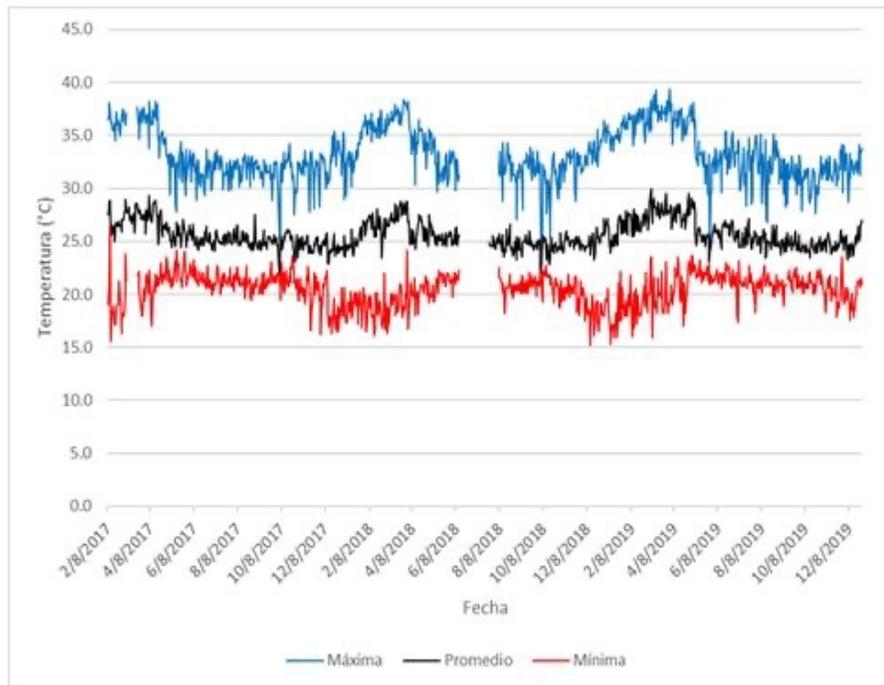


Figura 3

Temperatura (máxima, promedio y mínima en grados centígrados)



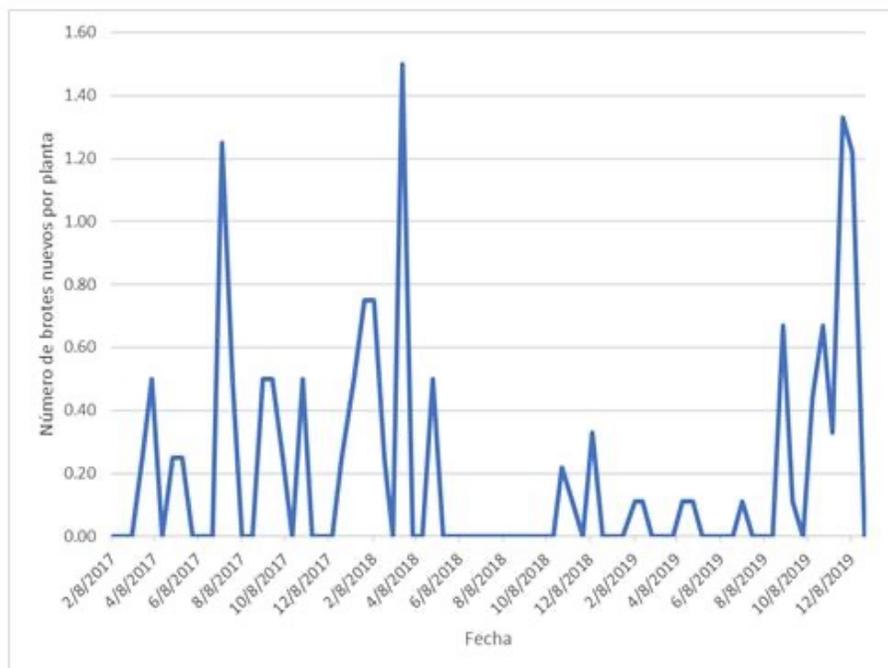
La fijación neta de CO₂ en pitahaya es óptima cuando la temperatura diurna y nocturna es de 30 y 20°C respectivamente, en comparación a temperaturas mayores o menores (Nobel & De la Barrera, 2002a). Las condiciones de T_p que se presentaron durante este ensayo se ubicaron en ese rango, y lo mismo ocurrió con la T_{mín} promedio; pero la T_{máx} promedio fue superior a dicho rango. Se observa que la precipitación pluvial provocó un aumento en la humedad relativa y en la T_{mín}; y una disminución en la T_p y la T_{máx}, lo cual corresponde a consecuencias lógicas producto de las lluvias. Durante la temporada lluviosa, la humedad relativa se mantuvo siempre por encima de 80%.

En la figura 4 se muestra la producción de brotes vegetativos nuevos en el cultivo de pitahaya cv. Amarilla. Los picos máximos se

produjeron en julio (1.25 brotes/planta) durante el año 2017; en los meses de enero (0.75 brotes/planta), febrero (0.75 brotes/planta) y marzo (1.50 brotes/planta) del año 2018, y en los meses de septiembre (0.67 brotes/planta), octubre (0,67 brotes/planta), noviembre (1.33 brotes/planta) y diciembre (1.22 brotes/planta) del año 2019. No se observó un patrón definido en la producción de NBV a lo largo de estos tres años; lo más relevante fue la poca producción de este tipo de brotes entre el 16 de mayo de 2018 y el 20 de agosto de 2019 (15 meses), período en que el NBV varió entre 0 y 0.33, con un promedio quincenal de 0.04. En un estudio anterior, se informó que la pitahaya produce múltiples eventos de brotación vegetativa a lo largo del año (Kishore, 2016; Trivellini *et al.*, 2020). Esto se corroboró durante esta investigación.

Figura 4

Evolución de la producción quincenal promedio de brotes vegetativos nuevos por planta de pitahaya cv. Amarilla



En la figura 5 se muestra la producción de brotes reproductivos nuevos en el cultivo de pitahaya. Los picos máximos de brotes reproductivos emergieron principalmente en los meses de abril (1.00 brotes/planta) y junio (2.25 brotes/planta) del año 2018; y en los meses de mayo (1.78 brotes/planta) y julio (1.89 brotes/planta) del año 2019. En el año 2017 no se produjeron brotes reproductivos, probablemente debido a que la plantación tenía solamente un año de edad. (Ver figura 5)

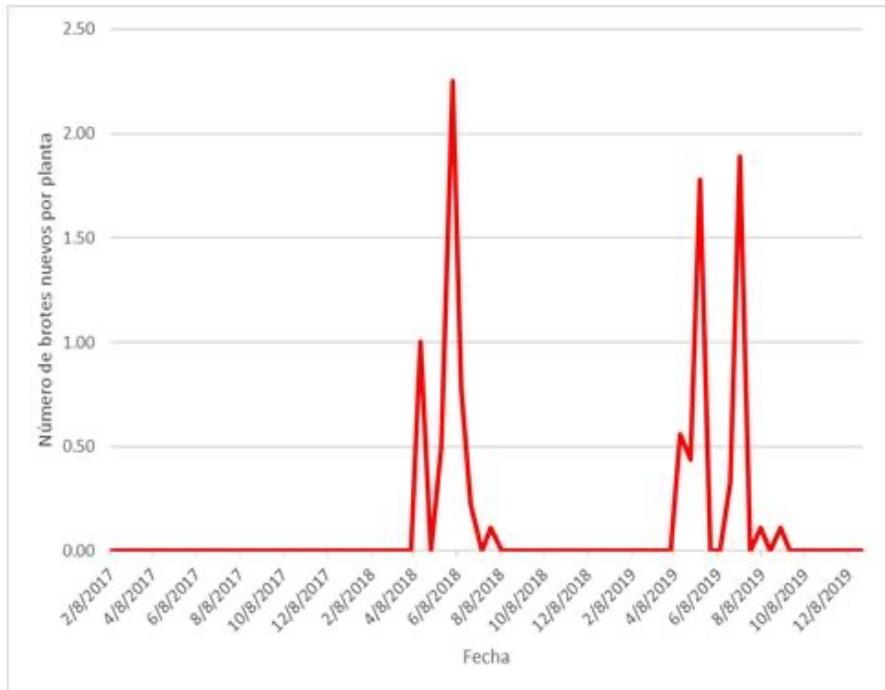
Se presentó una competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, pues al darse la brotación reproductiva, la producción de brotes vegetativos fue baja o nula. A

pesar de que sí se observaron algunas plantas en las que se presentaron brotes vegetativos y reproductivos al mismo tiempo; lo más frecuente fue que, cuando la planta presentó brotes reproductivos, no mostró brotes vegetativos. Este mismo fenómeno fue informado por otros investigadores (Trivellini *et al.*, 2020).

Los brotes reproductivos se produjeron durante la temporada lluviosa, pero solamente en las etapas inicial y media de dicha temporada; nunca hacia el final de ella. En el año 2018 se produjeron este tipo de brotes, entre el 18 de abril y el 25 de julio, pero la temporada lluviosa finalizó a inicios de diciembre.

Figura 5

Evolución de la producción quincenal promedio de brotes reproductivos nuevos por planta de pitahaya cv. Amarilla



Para el año 2019, sucedió lo mismo entre el 16 de abril y el 3 de septiembre, pero la temporada lluviosa se extendió hasta finales de noviembre.

Estos resultados son similares a los informados en otro estudio, donde el inicio de la floración ocurrió luego 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 esta alcanzó cerca de 80% (Marques *et al.*, 2010); lo mismo sucedió en esta investigación, pues la HR fue superior a 80% durante el período de floración.

Es probable que la razón por la que no se presenta floración en la etapa final de la temporada lluviosa, es que la planta utiliza sus fotoasimilados en el llenado de los frutos producidos, a partir de los brotes reproductivos emitidos en las etapas inicial y media de dicha temporada. Por tanto, dicha cantidad no es suficiente para producir flores al final de la misma.

En el año 2018 se presentaron dos ciclos principales de floración; y en el año 2019, tres ciclos. Esto es similar a lo informado por unos autores, quienes obtuvieron entre 3 a 5 ciclos de floración por año (Kishore, 2016; Marques

et al., 2011; Martínez-Ruiz *et al.*, 2017; Nerd *et al.*, 2002), pero inferior a lo hallado por otros investigadores, que encontraron entre 5 y 9 ciclos por año (Le Bellec *et al.*, 2006; Ángel *et al.*, 2012; Osuna-Enciso *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2015). En una prueba con treinta genotipos de pitahaya realizada en Taiwan, el número de ciclos de floración varió entre 3 y 6 por año, según el genotipo (Ha *et al.*, 2018).

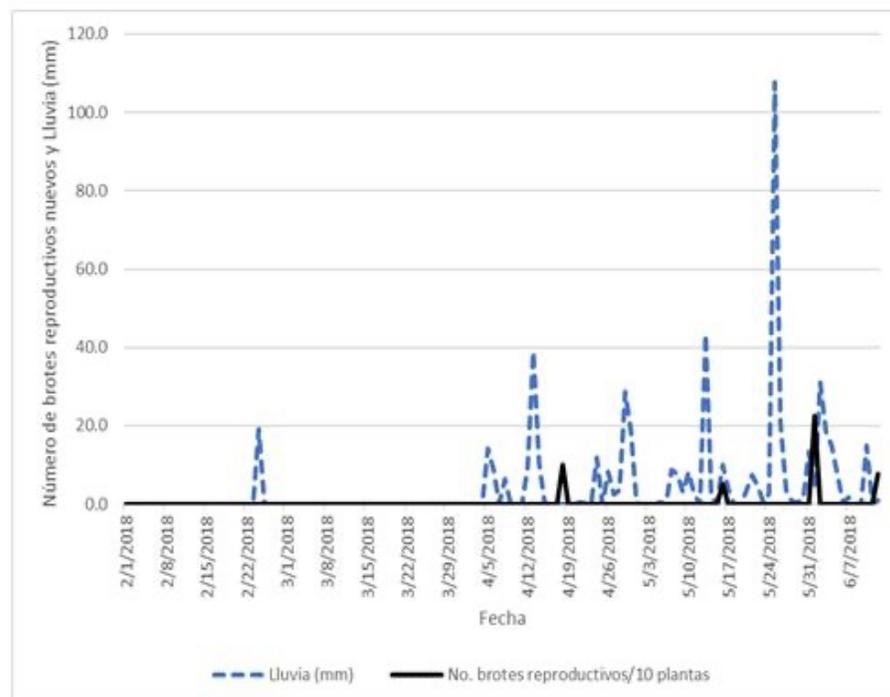
En la figura 6 se aprecia la relación entre la precipitación pluvial y la producción de brotes reproductivos, del 1 de febrero al 12 de junio del año 2018. En ese período, hay cuatro momentos en que se presentó la emisión de brotes reproductivos nuevos: el primero de

ellos (18 de abril) sucedió trece días después del primer aguacero de la temporada lluviosa, que se dio el 5 de abril (14.2 mm). El día 24 de febrero hubo un aguacero importante (19.1 mm), pero aislado. Luego pasaron 39 días secos, hasta el aguacero del 5 de abril. Entre el 5 y el 17 de abril, la precipitación acumulada fue de 88.8 mm. El principal pico de brotación reproductiva en ese período se presentó el día 1 de junio; siete días después de una alta precipitación (107.7 mm, el 25 de mayo).

La pitahaya es una especie isohídrica, por lo que una reducción en el potencial hídrico del suelo debido a la sequía, no se ma-

Figura 6

Relación entre la precipitación pluvial (mm) y la producción de brotes reproductivos nuevos



nifiesta en un gran cambio en el contenido de agua de la planta. Esto se debe al efecto del ácido abscísico (ABA), producido en las raíces y que causa el cierre de las estomas; lo que asegura la conservación del agua en el tallo (Nobel & De la Barrera, 2002b). Si una planta de pitahaya se encuentra en condiciones de sequía y recibe un pequeño evento de lluvia, pero 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 en forma importante (Nobel & De la Barrera, 2002b). Probablemente, esta fue la razón por la cual la lluvia del 24 de febrero de 2018 no provocó la brotación reproductiva, sino que se debió esperar a que la temporada lluviosa se estableciera, para que las plantas pudieran mantener abiertos los estomas y maximizar la fijación neta de carbono.

La pitahaya responde de forma inmediata a la incidencia de lluvias, dada su capacidad de aumentar la absorción neta de CO₂ después de un período de estrés hídrico (Nobel & De la Barrera, 2002b). Esta especie exhibe el mecanismo ácido de las crasuláceas (CAM)⁵, por lo que la máxima apertura estomática y la fijación neta de CO₂ ocurre en la noche (Nobel & De la Barrera, 2002b). El mecanismo CAM mejora la eficiencia en el uso del agua y mantiene la fotosíntesis bajo condiciones de estrés, dado que las estomas permanecen cerradas durante el día, lo que ayuda a man-

tener el agua en la planta y brinda tolerancia a la sequía, y adaptación a ambientes secos y calientes (Trivellini *et al.*, 2020). Unos autores informaron 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).

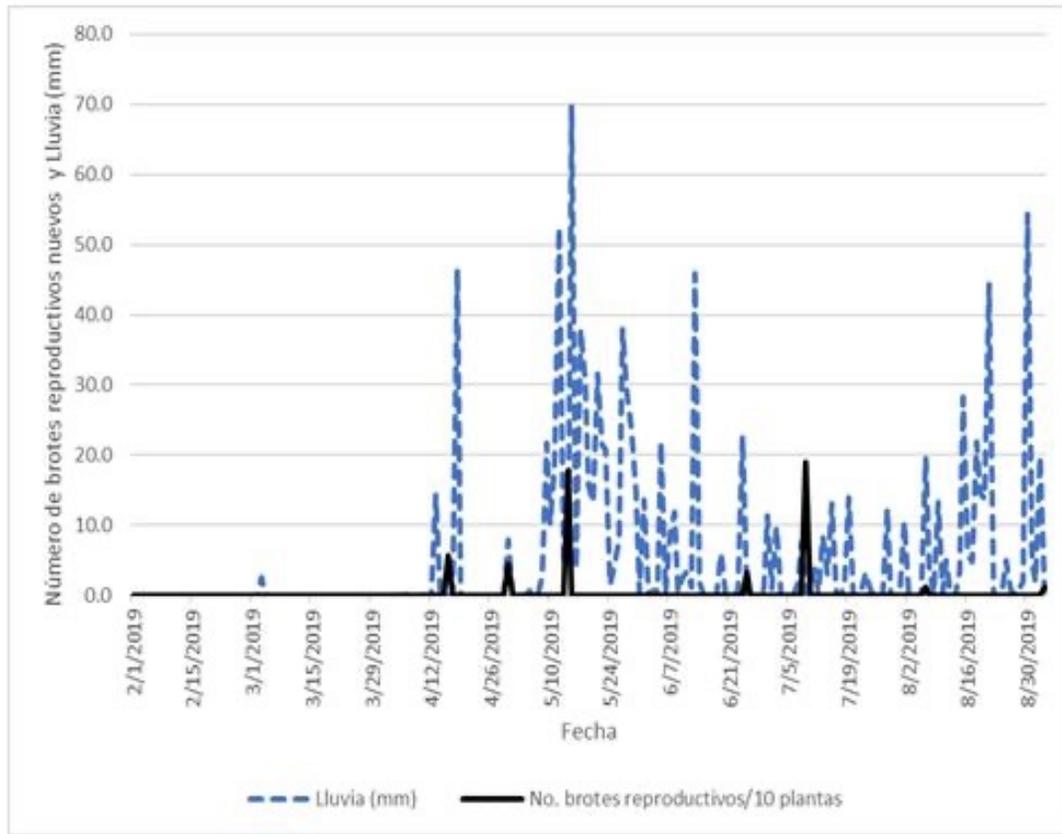
En la figura 7 se presenta la relación entre la precipitación pluvial y la producción de brotes reproductivos, del 1 de febrero al 3 de septiembre del año 2019. El 3 de marzo se produjo una pequeña precipitación (2.6 mm), pero no interrumpió la temporada seca. El siguiente aguacero se produjo el 13 de abril (14.3 mm), y los primeros brotes reproductivos se registraron tres días después (el 16 de abril). Luego se produjo una precipitación importante el 18 de abril (46.6 mm), seguida de otra el 30 de abril (7.9 mm). La temporada lluviosa se estableció a partir del 8 de mayo; y del 8 al 13 de mayo se acumuló una precipitación de 110.9 mm, y el 14 de mayo se registró uno de los máximos picos de brotación reproductiva de este período, con un promedio de 1.78 brotes reproductivos por planta, mientras que el otro pico se presentó el 9 de julio (1.89 NBR).

Cuando la pitahaya se encuentra en condiciones de sequía, la conductividad hidráulica se reduce; pero esta se recupera completamen-

5. Los autores también harán referencia a este término a través de su acrónimo.

Figura 7

Relación entre la precipitación pluvial (mm) y la producción de brotes reproductivos nuevos



te a valores similares de condiciones húmedas, después de tres días de restablecido el abastecimiento de agua, lo que se considera una respuesta rápida de esta especie (Nobel & De la Barrera, 2002b). En otro estudio se informó que la brotación reproductiva en pitahaya se produjo dos meses después de que las plantas recibieron humedad, ya sea proveniente de precipitación o mediante riego (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017).

En la tabla 1 se muestran los resultados de la correlación de Spearman entre los datos de producción de brotes y las variables climáti-

cas. 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 (ver tabla 7).

En el caso de NBR, se presentó una correlación positiva y altamente significativa con $T_{\text{mín}}$ ($r_s = 0.48^{**}$), así como una correlación positiva y significativa con T_p ($r_s = 0.34^*$) y con P ($r_s = 0.33^*$). Es decir, se verificó una relación directamente proporcional entre esas variables, por lo que, a mayor temperatura

Tabla 1

Resultados de la relación de Spearman entre los datos de producción de brotes y las variables climáticas (promedios mensuales) en el cv. Amarilla

	Número de brotes vegetativos	Número de brotes reproductivos	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación pluvial	Humedad relativa
Número de brotes vegetativos	1	-0.07 ns	-0.11°C ns	-0.10°C ns	-0.16°C ns	0.002mmns	-0.08%ns
Número de brotes reproductivos		1	0.34°C *	0.27°C ns	0.48°C **	0.33mm*	0.26%ns
Temperatura promedio			1	0.79°C **	-0.11°C ns	-0.42mm**	-0.70%**
Temperatura máxima				1	-0.59°C **	-0.77mm**	-0.94%**
Temperatura mínima					1	0.84mm**	0.72%**
Precipitación pluvial						1	0.83%**
Humedad relativa							1

Nota: * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$; ns = no significativa.

mínima, temperatura promedio y precipitación se presentó un mayor número de brotes reproductivos nuevos. Esto confirma el patrón de que los brotes reproductivos aparecen solamente en la temporada lluviosa; momento en que también aumentó la T_{\min} .

La correlación entre P y T_{\min} fue positiva y altamente significativa. Por otra parte, se obtuvieron correlaciones significativas entre todas las variables climáticas, excepto entre T_p y T_{\min} .

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 debió a que el lugar donde se llevó a cabo el ensayo (Brasil)

se presentan las cuatro estaciones, por lo que los brotes reproductivos aparecen principalmente en la época de verano ($T_p = 20-25^\circ\text{C}$), y nunca cuando dicha temperatura fue menor a 20°C . En este trabajo, T_p fue la variable que obtuvo la segunda mayor correlación positiva con NBR.

Con respecto a la relación entre temperatura y floración, unos investigadores encontraron que si el rango de temperatura se encuentra entre $34-38^\circ\text{C}$, se reduce en forma importante la floración en pitahaya (Nerd *et al.*, 2002). En el presente ensayo, durante los meses secos, la T_{\max} alcanzó valores superiores a 35°C , aunque la T_p nunca superó los 30°C . Asimismo, se ha establecido que, por debajo de 15°C , la

pitahaya reduce su actividad fisiológica (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017).

En un ensayo 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.

Además 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 P. 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, T_{\min} y T_p .

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). En el presente ensayo, la T_p siempre fue superior a los 20°C a lo largo de todo el período del estudio.

En otro ensayo, la floración coincidió con la prevalencia de días largos, precipitación, alta humedad (mayor a 80%) y un rango de temperatura moderada (28°C) (Kishore, 2016); lo cual coincide con los resultados obtenidos.

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 doce meses previos a la brotación vegetativa (MPBV). La variable NBV presentó una correlación significativa positiva con NBR entre 5 y 7 MPBV; esto significa que un aumento en el NBR influye positivamente sobre el NBV que se obtendrá 5-7 meses después (ver tabla 2).

Además, NBV presentó una correlación negativa significativa con T_p a 2 MPBV, pero una correlación positiva significativa con esa variable entre 7 y 10 MPBV. También se halló una correlación negativa significativa entre NBV y T_{\max} a 2 y 4 MPBV, así como una correlación positiva significativa entre esas variables entre 9 y 11 MPBV. Por lo tanto, un aumento en T_p y T_{\max} influye de forma negativa sobre el NBV que se producirá dos meses después, pero de forma positiva sobre el NBV que se producirá 9-10 meses después.

Por otra parte, se encontró una correlación positiva significativa entre NBV y T_{\min} entre 4 y 7 MPBV, y una correlación negativa significativa entre esas variables a 11 MPBV.

Tabla 2

Matriz de correlación de Spearman entre el número de brotes vegetativos y las otras variables

Variable principal	Momento de evaluación de la otra variable	Otras variables					
		Número de brotes reproductivos	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación pluvial	Humedad relativa
Número de rotes vegetativos	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	2	ns	-0.36°C *	-0.35°C *	ns	ns	ns
	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	4	ns	ns	-0.40°C *	0.48°C **	036mm*	0.38%*
	5	0.40*	ns	ns	0.61°C **	0.42mm*	ns
	6	0.44*	ns	ns	0.48°C **	ns	ns
	7	0.38*	0.48°C **	ns	0.42°C **	ns	ns
	8	ns	0.67°C **	ns	ns	ns	ns
	9	ns	0.60°C **	0.50°C **	ns	ns	-0.43%*
	10	ns	0.51°C **	0.58°C **	ns	ns	-0.53%**
	11	ns	ns	0.44°C *	-0.42°C *	-0.44mm*	-0.41%*
	12	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Nota: * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$; ns = no significativa. Datos obtenidos en cada uno de los doce meses previos a la brotación vegetativa.

Esto significa que un aumento en la $T_{mín}$ influirá en forma positiva sobre el NBV que se obtendrá 4-7 meses después, pero en forma negativa sobre el NBV que se producirá once meses después.

También se encontró una correlación positiva significativa entre NBV y P entre 4 y 5 MPBV, pero una correlación negativa significativa entre esas variables a 11 MPBV. Además, se halló una correlación positiva significativa entre NBV y HR a 4 MPBV, así como una correlación negativa significativa entre esas variables entre 9 y 11 MPBV. Por lo tanto, un aumento en P (y consecuentemente un aumento en HR) influye en forma positiva sobre el NBV que se producirá cuatro meses des-

pués, pero en forma negativa sobre el NBV que se producirá once meses después.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la correlación de Spearman entre los datos de producción de brotes reproductivos (NBR) con respecto a las otras variables, según los datos obtenidos en cada uno de los doce meses previos a la brotación reproductiva (MPBR). La variable NBR presentó una correlación positiva significativa con NBV a 5 MPBR, lo que significa que un aumento en el NBV influye positivamente sobre el NBR que se obtendrá cinco meses después.

También se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y T_p entre 1 y

Tabla 3

Matriz de correlación de Spearman entre el número de brotes reproductivos y las otras variables

Variable principal	Momento de evaluación de la otra variable	Otras variables					
		Número de brotes reproductivos	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación pluvial	Humedad relativa
Número de brotes vegetativos	1	ns	0.57°C**	0.48°C**	ns	ns	ns
	2	ns	0.66°C**	0.62°C**	ns	ns	ns
	3	ns	0.63°C**	0.69°C**	ns	ns	ns
	4	ns	0.38°C*	0.63°C**	ns		-0.36%*
	5	0.37*	ns	0.38°C*	-0.37°C*		ns
	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	7	ns	ns	ns	ns	ns	0.38%*
	8	ns	ns	-0.38°C*	ns	0.51mm**	0.53%**
	9	ns	-0.41°C*	-0.39°C*	0.45°C*	0.65mm**	0.69%**
	10	ns	ns	ns	0.62°C**	0.61mm**	-0.74%**
	11	ns	ns	ns	0.67°C**	0.58mm**	-0.65%**
	12	ns	ns	ns	0.57°C**	0.43mm*	ns

Nota: *= $p \leq 0.05$; **= $p \leq 0.01$; ns= no significativa. Datos obtenidos en cada uno de los doce meses previos a la brotación reproductiva.

4 MPBR, pero una correlación negativa significativa entre esas variables a los 9 MPBR. Asimismo, se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y $T_{m\acute{a}x}$ entre 1 y 5 MPBR, pero también una correlación negativa significativa entre esas variables entre 8 y 9 MPBR. Por lo tanto, un aumento en T_p y $T_{m\acute{a}x}$ influye en forma positiva sobre el NBR que se producirá 1-4 meses después, pero en forma negativa sobre el NBR que se obtendrá nueve meses después.

Se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y la $T_{m\acute{i}n}$ entre 9 y 12 MPBR, así como una correlación negativa significativa entre esas variables a 5 MPBR. Esto significa que un aumento en $T_{m\acute{i}n}$ provocará un

aumento en el NBR que se obtendrá 9-12 meses después, pero una disminución en el NBR a los cinco meses después.

Se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y P entre 8 y 12 MPBR; por lo tanto, un aumento en P provocará un aumento en NBR entre 8-12 meses después. Se obtuvo una correlación negativa significativa entre NBR y HR a 4 MPBR, pero una correlación positiva significativa entre esas variables entre 7 y 11 MPBR. Esto significa que un aumento en HR influye negativamente sobre el NBR que se producirá cuatro meses después, pero positivamente sobre el NBR que se producirá 7-11 meses después.

4. Conclusiones

En cuanto a número de brotes vegetativos (NBV) no se obtuvieron correlaciones significativas con ninguna de las otras variables, pero el número de brotes reproductivos (NBR) presentó una correlación positiva significativa con las variables T_{\min} ($r_s = 0.48^{**}$), T_p ($r_s = 0.34^*$) y P ($r_s = 0.33^*$); por lo que, a mayor precipitación, temperatura promedio y temperatura mínima, mayor será el número de brotes reproductivos.

Se obtuvieron otras correlaciones significativas de NBV y NBR con las variables climáticas obtenidas en meses previos a la brotación. En el caso de NBV se obtuvo una correlación positiva con:

NBR entre 5 y 7 meses previos a la brotación vegetativa (MPBV); T_p entre 7 y 10 MPBV; T_{\max} entre 9 y 11 MPBV; T_{\min} entre 4 y 7 MPBV; P entre 4 y 5 MPBV; y HR a 4 MPBV; mientras que se encontró una correlación negativa con: T_p a 2 MPBV; T_{\max} a 2 y 4 MPBV; T_{\min} a 11 MPBV; P a 11 MPBV; y HR entre 9 y 11 MPBV. En el caso de NBR se obtu-

vo una correlación positiva con: NBV a cinco meses previos a la brotación reproductiva (MPBR); T_p entre 1 y 4 MPBR; T_{\max} entre 1 y 5 MPBR; T_{\min} entre 9 y 12 MPBR; P entre 8 y 12 MPBR; y HR entre 7 y 11 MPBR; mientras que se encontró una correlación negativa con: T_p a 9 MPBR; T_{\max} entre 8 y 9 MPBR; T_{\min} a 5 MPBR; y HR a 4 MPBR.

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 las etapas inicial y media de la temporada lluviosa. Generalmente, en el momento de la producción de brotes reproductivos, la producción de brotes vegetativos fue baja o nula.

Los autores agradecen la colaboración de Carlos Blanco y Patricia Oreamuno 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.

5. Referencias

Ángel, A. L.; Estrada, C. A.; Rebolledo, A. y Zetina, R. (2012). *Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación*. Veracruz, México: Campo Experimental Cotaxtla, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Cálix, H.; Castillo, R. y Caamal, H. J. (2014). Caracterización de la producción de pitahaya (*Hylocereus spp.*) en la zona maya de Quintana Roo, México. *Agroecología*, 9(1/2), 123-132. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300701/216121>
- Chagas, K. P.; Carvalho, B. L.; Guerra, C. A.; Silva, R. A. y Vieira, F. A. (2019). Fenologia do den-dezeiro e correlações com variáveis climáticas. *Ciência Florestal*, 29(4), 1701-1711. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/22640/22640>
- García, M. E. y Quirós, O. (2010). Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 23(2), 14-24. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/62/61
- Ha, T. D.; Oanh, L. T. 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. doi 10.9734/AJAAR/2018/43616
- Huachi, L.; Yugsi, E.; Paredes, M. F.; Coronel, D.; Verdugo, K. y Coba, P. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*Cereus sp.*) en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 50-58. doi: 10.17163/lgr.n22.2015.05
- INTA. (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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.047>
- Le Bellec, F.; Vaillant, F. y Imbert, E. (2006). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a new fruit crop, a market with a future. *Fruits*, 61(4), 237-250. https://agritrop.cirad.fr/534265/1/document_534265.pdf
- Marques, V. B.; Moreira, R. A.; Ramos, J. D.; Araújo, N. A. y Silva, F. O. (2011). Fenologia reprodutiva de pitaia vermelha no município de Lavras, MG. *Ciência Rural*, 41(6), 984-987. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000071>
- Marques, V. B.; Ramos, J. D.; Araújo, N. A. y Moreira, R. A. (2010). Correlação dos fatores ambientais e o período reprodutivo da pitaia (*Hylocereus undatus*) em Lavras-MG. *XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura*, (pp. 1-5). Natal, RN, Brasil.

- 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. & Rose). *Agro Productividad*, 10(9), 3-8. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/182/144>
- Mizrahi, Y. (2014). Vine-cacti pitayas - the new crops of the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 124-138. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-452/13>
- Mondragón, M. A. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento Científico*, 8(1), 98-104. <https://revmovimientocientifico.iberoco.edu.co/article/view/mct.08111/645>
- 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(especial), 67-76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00093-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00093-6)
- 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. <https://faculty.eeb.ucla.edu/Nobel/people/Erick/papers/art2.pdf>
- 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. <https://faculty.eeb.ucla.edu/Nobel/people/Erick/papers/art3.PDF>
- 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. doi: 10.1560/IJPS.60.3.359
- 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. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n1/1405-3195-agro-50-01-61.pdf>

Silva, A. C.; Cavallari, L. L.; Sabião, R. R. y Martins, A. B. (2015). Fenologia reproductiva de pitaya vermelha em Jaboticabal, SP. *Ciência Rural*, 45(4), 585-590. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120403>

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. doi:10.3390/agronomy10081065