

# Producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus* sp.): Correlación con variables climáticas

## Sprout Production in Pitaya (*Hylocereus* sp.): Correlation with Climate Variables

José Eladio Monge-Pérez<sup>1</sup> \* [orcid.org/0000-0002-5384-507X](https://orcid.org/0000-0002-5384-507X)

Michelle Loría-Coto<sup>2</sup> [orcid.org/0000-0003-0456-2230](https://orcid.org/0000-0003-0456-2230)

<sup>1</sup>Finca Experimental Interdisciplinaria de Modelos Agroecológicos, Universidad de Costa Rica Turrialba, Costa Rica. ORCID

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia Sabanilla, Costa Rica

\*Autor de correspondencia: [jose.mongeperez@ucr.ac.cr](mailto:jose.mongeperez@ucr.ac.cr)

### Resumen

**Objetivo:** evaluar la relación entre la producción de brotes en pitahaya (*Hylocereus* sp.) y las variables climáticas. **Materiales y métodos:** el ensayo se realizó en San Mateo, Alajuela, Costa Rica, de febrero 2017 a diciembre 2019. Las variables evaluadas fueron: número de brotes vegetativos (NBV), número de brotes reproductivos (NBR), precipitación pluvial (PP, en mm), humedad relativa (HR, en %), temperatura promedio ( $T_p$ , en °C), temperatura máxima ( $T_{máx}$ , en °C) y temperatura mínima ( $T_{mín}$ , en °C). Se obtuvieron las correlaciones de Spearman entre todas las variables. **Resultados:** NBV no obtuvo correlaciones significativas con NBR, PP, HR,  $T_p$ ,  $T_{máx}$  y  $T_{mín}$ . NBR presentó correlación positiva significativa con  $T_{mín}$  ( $r_s = 0.54^{**}$ ) y PP ( $r_s = 0.38^*$ ), por lo que a mayor PP y  $T_{mín}$ , mayor será el número de brotes reproductivos. Se obtuvieron correlaciones significativas de NBV y NBR con las variables climáticas obtenidas en meses previos a la brotación. Los picos de producción de brotes vegetativos ocurrieron en julio y septiembre de 2017, en marzo y noviembre de 2018, así como en enero, abril, mayo, septiembre, noviembre

### Abstract

**Objective:** to evaluate the relationship between sprout production in pitaya (*Hylocereus* sp.) and climate variables. **Materials and methods:** the trial was conducted in San Mateo, Alajuela, Costa Rica, from February 2017 to December 2019. Tested variables were: number of vegetative sprouts (NVS), number of reproductive sprouts (NRS), rainfall (R, in mm), relative humidity (RH, in %), average temperature ( $T_a$ , in °C), maximum temperature ( $T_{max}$ , in °C), and minimum temperature ( $T_{min}$ , in °C). Spearman correlations were calculated among all variables. **Results:** NVS did not show significant correlations with NRS, R, RH,  $T_a$ ,  $T_{max}$  and  $T_{min}$ . NRS presented a significant positive correlation with  $T_{min}$  ( $r_s = 0.54^{**}$ ) and R ( $r_s = 0.38^*$ ): the higher the R and the  $T_{min}$ , the greater the number of reproductive sprouts. NVS and NRS also showed significant correlations with climate variables in months prior to sprouting. The production peaks of vegetative sprouts occurred in July and September 2017; in March and November 2018; and in January, April, May, September, November and December 2019; while in the case of

y diciembre de 2019; mientras que los brotes reproductivos se presentaron en abril, junio y julio de 2018 y abril, mayo, julio y septiembre de 2019. *Conclusiones:* El inicio de la floración ocurre a partir del inicio de la temporada de lluvias, y cuando la  $T_{\min}$  aumenta y supera los 20 °C. La producción de los brotes reproductivos ocurrió únicamente en las etapas inicial y media de la temporada lluviosa. En el momento de la producción de brotes reproductivos, la producción de brotes vegetativos fue baja o nula. A mayor producción de brotes vegetativos, mayor será el número de brotes reproductivos emitidos 3-5 meses después. A partir de los 24 meses después de la siembra, se presentaron entre tres y cuatro ciclos de floración por año.

### Palabras clave

Fenología, clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa.

reproductive sprouts, they occurred in April, June and July 2018; and April, May, July and September 2019. *Conclusions:* The beginning of flowering occurs from the beginning of the rainy season, and when the  $T_{\min}$  increases and exceeds 20 °C. The production of reproductive sprouts occurred only in the early and middle stages of the rainy season. At the time of production of reproductive sprouts, the production of vegetative sprouts was low or null. The greater the production of vegetative sprouts, the greater the number of reproductive sprouts issued 3-5 months later. From 24 months after planting, there were between three and four flowering cycles per year.

### Keywords

Phenology, climate, rainfall, temperature, relative humidity.

## Introducción

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es una planta de la familia Cactaceae, nativa de México y Centroamérica, cuyos frutos son apetecidos en el mercado mundial (Ángel *et al.*, 2012). Es una planta hemiepipífita de hábitos trepadores, nativa del bosque tropical, adaptada a períodos secos y húmedos bien definidos (Ángel *et al.*, 2012; Esquivel y Araya, 2012). El aporte nutricional de este frutal incluye fibra dietética, vitaminas A y C, potasio, hierro, calcio, fósforo, zinc, sodio y magnesio; además, presenta propiedades antioxidantes y medicinales, tales como ayuda en la pérdida de peso, mejora en la digestión, reducción del colesterol LDL y prevención del cáncer y de enfermedades cardíacas (Ángel *et al.*, 2012; Kishore, 2016; Hossain *et al.*, 2021). Así también, contiene betacianinas (pigmentos solubles en agua) que le dan el color rojo a la pulpa y la cáscara (Kishore, 2016).

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). La especie *H. undatus* se cultiva ampliamente en muchos países del mundo, y tiene cáscara roja y pulpa blanca, mientras que *H. polyrhizus* (cáscara roja y pulpa rojo-violeta) y *H. costaricensis* (cáscara roja y pulpa roja) se producen en menor escala (Esquivel y Araya, 2012). En Costa Rica y Nicaragua se cultiva con más frecuencia la pitahaya con frutos de cáscara roja y pulpa roja, y las variedades más utilizadas son rosa, cebrá, orejona, san Ignacio, nacional, crespá, lisa y amarilla (INTA, 2002; García y Quirós, 2010; Esquivel y Araya, 2012).

En Nicaragua, la producción de frutos de pitahaya va de mayo a noviembre (Ángel *et al.*, 2012), mientras que en Costa Rica se indica que el período de cosecha va de

mayo a septiembre, y que los meses de junio, julio y agosto son los de mayor producción (García y Quirós, 2010).

En Veracruz, México, se estableció que el período reproductivo inicia a finales de abril o mayo y termina en octubre, y las cosechas más altas se obtienen de julio a septiembre (Ángel *et al.*, 2012). Las yemas florales emergen después de las primeras lluvias, y las plantas pueden tener hasta seis ciclos de floración y desarrollo de frutos durante el año (Ángel *et al.*, 2012; Ha *et al.*, 2018). Los botones florales emergen principalmente de los tallos que se desarrollaron en el período de crecimiento del año anterior (Ángel *et al.*, 2012).

La temperatura, la humedad relativa del aire y la precipitación pueden influir directamente sobre las fases fenológicas de las plantas, pues constituyen elementos externos que accionan mecanismos fisiológicos y provocan que los individuos alteren su metabolismo (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 de las plantas 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 insumos importantes para definir estrategias de manejo de su nutrición, polinización, propagación, así como conservación y fitomejoramiento (Kishore, 2016; Chagas *et al.*, 2019).

La pitahaya es una especie isohídrica. El descenso en el potencial hídrico del suelo, debido a la sequía, provoca un cambio en el contenido de agua de la planta, gracias al efecto del ácido abscísico (ABA) producido en las raíces, causando el cierre estomático que le ayuda a conservar el agua en la planta (Nobel y De la Barrera, 2002b). Esta planta responde inmediatamente a la incidencia de lluvias, dada su capacidad de incrementar la absorción neta de CO<sub>2</sub> luego de un período de estrés hídrico; esta especie exhibe el mecanismo del ácido de las crasuláceas (CAM), por lo que la máxima apertura estomática y la fijación neta de CO<sub>2</sub> ocurre en la noche (Nobel y De la Barrera, 2002b). El mecanismo CAM mejora la eficiencia en el uso del agua en la planta bajo condiciones de estrés, ya que los estomas permanecen cerrados durante el día, lo que brinda tolerancia a la sequía y adaptación a ambientes secos y calientes (Trivellini *et al.*, 2020). Un estrés hídrico moderado reduce la fijación de CO<sub>2</sub> en la pitahaya, mientras que un estrés hídrico severo la detiene; además, la máxima tasa fotosintética ocurrió durante la estación lluviosa (Ortiz-Hernández *et al.*, 2012).

El análisis de correlación de Spearman es una herramienta estadística no paramétrica, utilizada para medir la intensidad de la asociación entre dos variables cuantitativas; esto significa que este método se puede emplear cuando la distribución de los datos no cumple con el supuesto de normalidad (Mondragón, 2014). La correlación de Spearman se usó para estudiar la relación entre la fenología del cultivo de palma aceitera y las variables climáticas (Chagas *et al.*, 2019), mientras que Marques *et al.* (2010) la usaron con este mismo fin en el cultivo de pitahaya.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación entre la producción de brotes en pitahaya y las variables climáticas en San Mateo, Alajuela, Costa Rica.

## Materiales y métodos

El proyecto se desarrolló en Higuito de San Mateo, Alajuela, Costa Rica, en una parcela de pitahaya (*Hylocereus* sp.) que se ubica a  $9^{\circ} 56' 36.880''$  de latitud Norte y  $84^{\circ} 32' 57.148''$  de longitud Oeste, a una altitud de 232 msnm. La variedad utilizada fue orejona, cultivada en forma orgánica. La fecha de siembra de la plantación fue el 1° de junio de 2016, a partir de plantas reproducidas vegetativamente mediante esquejes, y la distancia de siembra fue de 3 x 3 m. Para el soporte 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 (55% de arcilla), con una capacidad de intercambio de cationes efectiva alta (13.49 cmol(+)/L), y la principal limitante fue el bajo contenido de P (4 mg/L).

La fertilización de la parcela consistió en la aplicación de 1.5 kg de bocashi/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, y 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 y se obtuvo el promedio de las 10 plantas.

2. Número de brotes reproductivos (NBR) nuevos por planta: se registró el dato para cada planta y se obtuvo el promedio de las 10 plantas.

Para la contabilización de los brotes vegetativos, se incluyeron todos 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, 514 y 515; en ambos casos se utilizó la escala BBCH desarrollada para pitahaya (Kishore, 2016). De esta forma se aseguró que no existiera un doble registro ni 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; este mismo intervalo fue utilizado por otros investigadores para la evaluación de brotes en pitahaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (Jiang *et al.*, 2011). 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 2017-2019: a) precipitación pluvial (PP, en mm), b) humedad relativa (HR, en %), c) temperatura promedio ( $T_p$ , en °C), d) temperatura mínima ( $T_{\min}$ , en °C) y e) temperatura máxima ( $T_{\max}$ , en °C). La información climatológica fue proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica.

Para todas las variables se obtuvo el promedio mensual, a cuyos 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 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 se calcularon las correlaciones de Spearman entre las variables climáticas y las variables NBV y NBR, según los datos obtenidos en cada uno de los doce meses previos a la brotación, con el fin de identificar la relación entre las variables climáticas y la producción de brotes en los meses subsiguientes.

## Resultados

Con respecto a los datos diarios de las variables climáticas (figura 1), la PP osciló entre 0 y 168 mm, con un promedio de 6.16 mm; la HR varió 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  $T_{máx}$  varió entre 24.0 y 39.4 °C, con un promedio de 33.21 °C; y la  $T_{mín}$  osciló entre 15.2 y 26.4 °C, con un promedio de 20.39 °C.

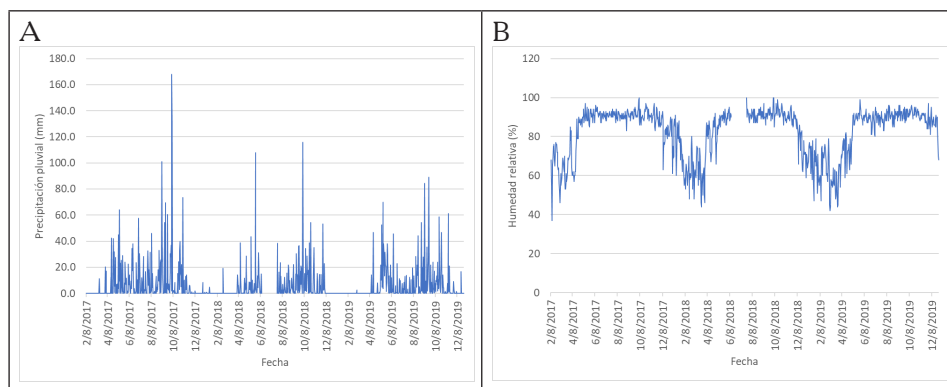
La PP provocó un aumento en la HR y en la  $T_{mín}$ , y una disminución en la  $T_p$  y la  $T_{máx}$ . Durante la temporada lluviosa, la HR se mantuvo siempre por encima de 80%.

En la producción de brotes vegetativos por planta, los puntos máximos ocurrieron en julio (1.2 NBV) y septiembre (0.8 NBV) de 2017; en marzo (1.4 NBV) y noviembre (0.67 NBV) de 2018; y en enero (0.89 NBV), abril (0.89 NBV), mayo (1.11 NBV), septiembre (0.89 NBV), noviembre (1.56 NBV) y diciembre (1.11 NBV) de 2019 (figura 2A).

En los brotes reproductivos por planta, los puntos máximos de producción se presentaron en abril (0.6 NBR), junio (2.1 NBR) y julio (0.7 NBR) de 2018; y abril (0.67 NBR), mayo (4.0 NBR), julio (2.56 NBR) y septiembre (0.78 NBR) de 2019 (figura 2B).

Figura 1

Precipitación pluvial (mm), B) humedad relativa (%) y C) temperaturas máxima, promedio y mínima (°C) en San Mateo, Alajuela, Costa Rica, del 8 de febrero 2017 al 26 de diciembre 2019



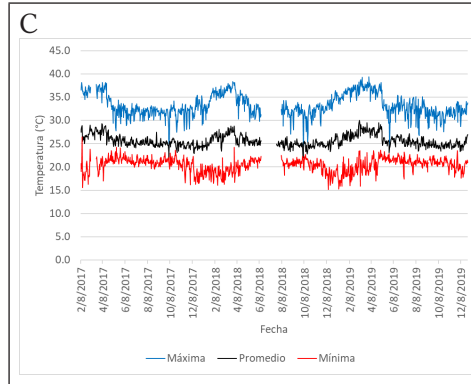
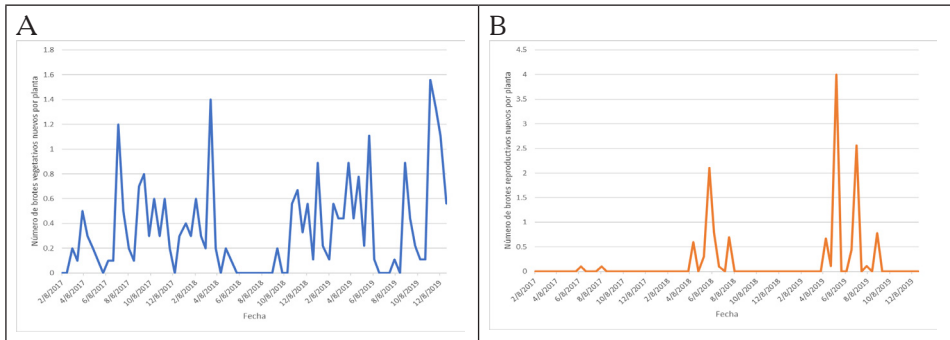


Figura 2

A) Producción quincenal de brotes vegetativos (NBV) y B) reproductivos (NBR), por planta en pitahaya, del 8 de febrero 2017 al 26 de diciembre 2019



La relación entre la PP y la producción de brotes reproductivos para los años 2018 y 2019, revela que la emisión de estos brotes se produce justamente después del inicio de la temporada de lluvias (figura 3).

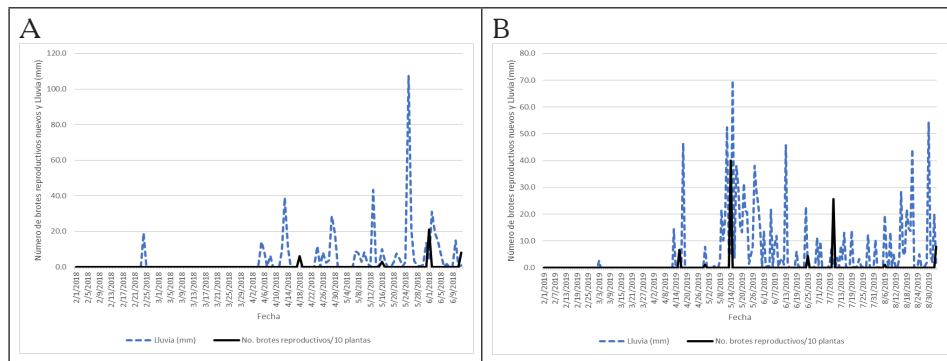
En 2018 hubo cuatro momentos de emisión de brotes reproductivos, el primero de ellos sucedió el 18 de abril, esto es 13 días después del primer aguacero de la temporada lluviosa, que ocurrió el 5 de abril (14.2 mm). El 24 de febrero hubo otro aguacero importante (19.1 mm), pero aislado; y luego pasaron 39 días sin lluvia, hasta el siguiente aguacero del 5 de abril. Entre el 5 y el 17 de abril la precipitación acumulada fue de 88.8 mm, repartidos en nueve días con lluvia y cuatro días secos. El principal pico de brotación reproductiva en ese período se presentó el día 1° de junio, siete días después de una alta PP (107.7 mm, el 25 de mayo). En este año se presentó la brotación reproductiva hasta el 25 de julio; sin embargo, no se contó con datos de PP desde el 13 de junio al 25 de julio por problemas del IMN, por lo que no se pudo incluir esa información.

En 2019, el 3 de marzo se produjo una pequeña PP (2.6 mm) que 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 PP 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 PP de 110.9 mm, que coincidió con el máximo pico de brotación reproductiva de este período, con un promedio de 4.0 brotes por planta registrado el 14 de mayo.

Figura 3

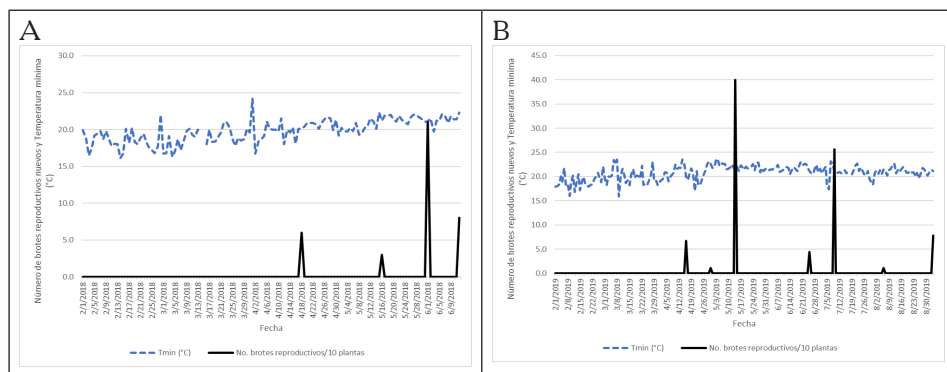
Precipitación pluvial (mm) y producción de brotes reproductivos: A) 1° febrero a 12 junio 2018 y B) 1° febrero a 3 septiembre 2019



La relación entre  $T_{\min}$  y NBR, en 2018 y 2019, mostró que los brotes reproductivos se producen conforme la  $T_{\min}$  aumenta y supera los 20 °C (figura 4).

Figura 4

Temperatura mínima (°C) y producción de brotes reproductivos: A) 1° febrero a 12 junio 2018 y B) 1° febrero a 3 septiembre 2019



En las correlaciones de Spearman entre los datos de variables climáticas y producción de NBV (cuadro 1), no se obtuvo correlación significativa con NBR, PP, HR,  $T_p$ ,  $T_{\min}$



y  $T_{m\acute{a}x}$ , lo que confirma la falta de un patrón definido o característico entre el NBV con alguna variable climática.

En el caso de NBR se presentó una correlación positiva y altamente significativa con  $T_{m\acute{i}n}$  ( $r_s = 0.54^{**}$ ), así como una correlación positiva y significativa con PP ( $r_s = 0.38^*$ ).

Por otra parte, se obtuvieron correlaciones significativas entre las variables climáticas, excepto entre  $T_p$  y  $T_{m\acute{i}n}$ . Las correlaciones positivas más altas se obtuvieron entre  $T_{m\acute{i}n}$  y PP, entre PP y HR, y entre  $T_p$  y  $T_{m\acute{a}x}$ ; mientras que las correlaciones negativas más altas se obtuvieron entre  $T_{m\acute{a}x}$  y HR, y entre  $T_{m\acute{a}x}$  y PP.

### Cuadro 1

Correlación de Spearman entre los datos de producción de brotes y las variables climáticas en cultivo de pitahaya

	NBV	NBR	$T_p$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	PP	HR
NBV	1	-0.13 ns	0.08 ns	0.04 ns	-0.17 ns	-0.02 ns	-0.23 ns
NBR		1	0.27 ns	0.14 ns	0.54**	0.38*	0.32 ns
$T_p$			1	0.79**	-0.11 ns	-0.42**	-0.70**
$T_{m\acute{a}x}$				1	-0.59**	-0.77**	-0.94**
$T_{m\acute{i}n}$					1	0.84**	0.72**
PP						1	0.83**
HR							1

NBV: número de brotes vegetativos; NBR: número de brotes reproductivos;  $T_p$ : temperatura promedio (°C);  $T_{m\acute{a}x}$ : temperatura máxima (°C);  $T_{m\acute{i}n}$ : temperatura mínima (°C); PP: precipitación pluvial (mm); HR: humedad relativa (%). \*:  $p \leq 0.05$ ; \*\*:  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativa.

En las correlaciones obtenidas en los meses previos a la brotación vegetativa, la variable NBV presentó una correlación significativa positiva con NBR a los 6, 7 y 9 meses previos a brotación vegetativa (MPBV); esto significa que un aumento en el NBR influye positivamente sobre el NBV que se obtendrá 6, 7 y 9 meses después (cuadro 2).

El NBV presentó una correlación negativa significativa con  $T_p$  entre 2 y 4 MPBV, pero una correlación positiva significativa con esa variable entre 8 y 10 MPBV. También se encontró una correlación negativa significativa entre NBV y  $T_{m\acute{a}x}$  entre 3 y 4 MPBV, así como una correlación positiva significativa entre esas variables entre 8 y 12 MPBV. Por lo tanto, un aumento en  $T_p$  y  $T_{m\acute{a}x}$  influye en forma negativa sobre el NBV que se producirá 3-4 meses después, pero de forma positiva sobre el NBV que se producirá entre 8 y 10 meses después.

Por otra parte, se encontró una correlación positiva significativa entre NBV y  $T_{m\acute{i}n}$  entre 4 y 7 MPBV, y una correlación negativa significativa entre esas variables entre 11 y 12 MPBV. Esto significa que un aumento en la  $T_{m\acute{i}n}$  influirá en forma positiva sobre el NBV que se obtendrá 4-7 meses después, pero en forma negativa sobre el NBV que se producirá 11-12 meses después.



También se observó correlación positiva significativa entre NBV y PP entre 4 y 6 MPBV, pero una correlación negativa significativa entre esas variables entre 9 y 12 MPBV. Además, hubo correlación positiva significativa entre NBV y HR entre 4 y 5 MPBV, así como una correlación negativa significativa entre esas variables entre 10 y 12 MPBV. Por lo tanto, un aumento en PP (y consecuentemente un aumento en HR) influye en forma positiva sobre el NBV que se producirá 4-6 meses después, pero en forma negativa sobre el NBV que se producirá entre 9-12 meses después.

### Cuadro 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 doce meses previos a la brotación vegetativa en pitahaya

Variable principal	Momento de evaluación de la otra variable (en MPBV)	Otras variables					
		NBR	T <sub>p</sub>	T <sub>máx</sub>	T <sub>mín</sub>	PP	HR
NBV	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	2	ns	-0.34*	ns	ns	ns	ns
	3	ns	-0.40*	-0.40*	ns	ns	ns
	4	ns	-0.40*	-0.49**	0.35*	0.41*	0.46**
	5	ns	ns	ns	0.50**	0.41*	0.44*
	6	0.42*	ns	ns	0.51**	0.40*	ns
	7	0.56**	ns	ns	0.43*	ns	ns
	8	ns	0.47**	0.38*	ns	ns	ns
	9	0.47*	0.43*	0.55**	ns	-0.39*	ns
	10	ns	0.49**	0.63**	ns	-0.49**	-0.46*
	11	ns	ns	0.51**	-0.47*	-0.40*	-0.49*
	12	ns	ns	0.45*	-0.63**	-0.43*	-0.52**

MPBV: meses previos a la brotación vegetativa; NBV: número de brotes vegetativos; NBR: número de brotes reproductivos; T<sub>p</sub>: temperatura promedio (°C); T<sub>máx</sub>: temperatura máxima (°C); T<sub>mín</sub>: temperatura mínima (°C); PP: precipitación pluvial (mm); HR: humedad relativa (%). \*: p≤0.05; \*\*: p≤0.01; ns: no significativa.

En las correlaciones obtenidas en los meses previos a la brotación reproductiva, la variable NBR presentó una correlación positiva significativa con NBV entre 3 y 5 meses previos a brotación reproductiva (MPBR), lo que significa que un aumento en el NBV influye positivamente sobre el NBR que se obtendrá entre 3 y 5 meses después (cuadro 3).

También se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y T<sub>p</sub> entre 1 y 4 MPBR, pero una correlación negativa significativa entre esas variables a los 9 MPBR. Asimismo, ocurrió una correlación positiva significativa entre NBR y T<sub>máx</sub> entre 1 y 5 MPBR. Por lo tanto, un aumento en T<sub>p</sub> y T<sub>máx</sub> influye en forma positiva sobre el NBR

que se producirá entre 1 y 4 meses después, mientras que un aumento en  $T_p$  influye en forma negativa sobre el NBR que se obtendrá 9 meses después.

Se encontró una correlación positiva significativa entre NBR y  $T_{min}$  a 1 MPBR, y entre 9 y 12 MPBR, así como una correlación negativa significativa entre esas variables entre 4 y 5 MPBR. Esto significa que un aumento en  $T_{min}$  provocará un aumento en el NBR que se obtendrá un mes después, y entre 9 y 12 meses después, pero una disminución en el NBR entre 4 y 5 meses después.

La correlación fue positivamente significativa entre NBR y PP entre 8 y 12 MPBR; mientras que fue negativamente significativa entre esas variables a 4 y 5 MPBR. Por lo tanto, un aumento en PP provocará un aumento en NBR entre 8 y 12 meses después, pero también una disminución en NBR entre 4 y 5 meses después; este dato confirma el fenómeno de que no se produjeron brotes reproductivos al final de la temporada lluviosa.

Se obtuvo una correlación negativa significativa entre NBR y HR entre 3 y 5 MPBR, pero una correlación positiva significativa entre esas variables entre 8 y 12 MPBR. Esto significa que un aumento en HR influye negativamente sobre el NBR que se producirá entre 3 y 5 meses después, pero positivamente sobre el NBR que se producirá de 8 a 12 meses después.

### Cuadro 3

Matriz de correlación de Spearman entre el número de brotes reproductivos (NBR) y las otras variables, según los datos obtenidos en cada uno de los doce meses previos a la brotación reproductiva en pitahaya

Variable principal	Momento de evaluación de la otra variable (en MPBR)	Otras variables					
		NBV	$T_p$	$T_{max}$	$T_{min}$	PP	HR
NBR	1	ns	0.54**	0.38*	0.41*	ns	ns
	2	ns	0.67**	0.57**	ns	ns	ns
	3	0.36*	0.69**	0.69**	ns	ns	-0.42*
	4	0.53**	0.48**	0.71**	-0.37*	-0.36*	-0.50**
	5	0.43*	ns	0.48**	-0.52**	-0.42*	-0.38*
	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	7	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	8	ns	ns	ns	ns	0.44*	0.48**
	9	ns	-0.43*	ns	0.41*	0.63**	0.68**
	10	ns	ns	ns	0.58**	0.60**	0.72**
	11	ns	ns	ns	0.66**	0.59**	0.67**
	12	ns	ns	ns	0.56**	0.46*	0.43*

MPBR: meses previos a la brotación reproductiva; 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); PP: precipitación pluvial (mm); HR: humedad relativa (%). \*:  $p \leq 0.05$ ; \*\*:  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativa.

## Discusión

La fijación neta de CO<sub>2</sub> en pitahaya es máxima cuando la temperatura diurna y nocturna es de 30 y 20 °C, respectivamente (Nobel y De la Barrera, 2002a); las condiciones de T<sub>p</sub> que se presentaron durante este ensayo se ubicaron en el rango de temperaturas antes señaladas, y lo mismo ocurrió con la T<sub>mín</sub> promedio, pero la T<sub>máx</sub> promedio fue superior a dicho rango.

No se observó un patrón definido en la producción de NBV a lo largo de estos tres años (figura 2A). 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. Sin embargo, para *H. undatus* se informó que la emisión de brotes vegetativos ocurrió únicamente en dos épocas del año, una entre marzo y julio, y otra en octubre-noviembre, en dos años de evaluación (Trivellini *et al.*, 2020); mientras que, en el caso de la pitahaya amarilla *S. megalanthus* se encontró que la producción de brotes vegetativos ocurrió solamente en dos épocas en el año, una de diciembre a abril y la otra en julio-agosto (Jiang *et al.*, 2011).

Los resultados son similares a los obtenidos por otros investigadores, quienes hallaron que el inicio de floración ocurrió después del inicio de la estación lluviosa, y por esa razón el pico de floración coincidió con la ocurrencia de HR alta, 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 80% durante el período de floración (figura 1B). Los resultados obtenidos también son similares a los presentados por otros investigadores, quienes indicaron que las primeras yemas florales se obtienen a los 15-17 meses luego de la siembra de los esquejes (Patwary *et al.*, 2013; Hossain *et al.*, 2021); en el presente ensayo esto sucedió a los 12-14 meses luego de la siembra (figura 2B).

En otro trabajo se encontró que a los 15-17 meses de la siembra, el número de flores producidas por planta fue entre seis y ocho, según el genotipo (Patwary *et al.*, 2013); en el presente ensayo se obtuvo una menor cantidad de flores por planta a lo largo del período de estudio: 0.10 en 2017; 1.80 en 2018 y 4.21 en 2019 (figura 2B).

Una posible explicación de que no se presente floración en la etapa final de la temporada lluviosa es que la planta utiliza en forma prioritaria sus fotoasimilados en el llenado de los frutos, formados a partir de los brotes reproductivos emitidos en las etapas inicial y media de dicha temporada; este mismo fenómeno se informó para pitahaya amarilla, *S. megalanthus* (Jiang *et al.*, 2011).

En 2017 la producción de brotes reproductivos fue mínima, debido a que la plantación tenía apenas un año de edad. En los tres años evaluados, los brotes reproductivos se formaron durante la temporada de lluvias en las etapas inicial y media, y no se observaron hacia el final de ella; en 2017 los brotes reproductivos se registraron los días 14 de junio y 9 de agosto, en esta temporada las lluvias se extendieron hasta mediados de noviembre; en 2018 la producción de brotes reproductivos ocurrió entre el 18 de abril y el 25 de julio, y la temporada lluviosa finalizó a inicios de diciembre; mientras que, en 2019 la

etapa reproductiva fue entre el 16 de abril y el 3 de septiembre, y la temporada lluviosa se extendió hasta finales de noviembre.

En 2018 se presentaron tres ciclos de floración, y en 2019 cuatro ciclos (figura 2B). Similar a lo señalado en otros estudios, que reportan entre 3-5 ciclos de floración por año en *Hylocereus* spp. (Nerd *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 2011; Kishore, 2016; Martínez-Ruiz *et al.*, 2017), y también para pitahaya amarilla *S. megalanthus* (Rabelo *et al.*, 2020), pero inferior a lo documentado por otros investigadores, que encontraron entre 5 y 9 ciclos por año (Ángel *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015; Osuna-Enciso *et al.*, 2016). En una prueba con 30 genotipos de pitahaya realizada en Taiwán, el número de ciclos de floración varió entre tres y seis por año, según el genotipo (Ha *et al.*, 2018).

Al comparar los datos de NBV y NBR de los meses de abril, junio y julio de 2018, y mayo, junio y julio de 2019 (figuras 2A y 2B), se evidenció una competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, pues al darse la brotación reproductiva esta fue baja o nula. Lo más frecuente fue que cuando la planta presentó brotes reproductivos, no mostró brotes vegetativos; este mismo fenómeno es informado para *H. undatus* (Trivellini *et al.*, 2020) y pitahaya amarilla *S. megalanthus* (Jiang *et al.*, 2011).

Se observó que, conforme aumenta la edad de la plantación, crece en forma importante la cantidad de brotes reproductivos por planta; en el año 2017 el NBR fue muy bajo, pero en el segundo y tercer año la producción de brotes reproductivos fue cada vez mayor; este es el comportamiento normal de una plantación de pitahaya en los primeros años de producción (Marques *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2015).

Respecto a la relación entre PP y NBR, cuando la pitahaya se encuentra en condiciones de sequía, la conductividad hidráulica se reduce, pero se recupera completamente 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 y De la Barrera, 2002b). Por su parte, Martínez-Ruiz *et al.* (2017) encontraron 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.

En el caso de NBR, la correlación positiva obtenida con  $T_{\min}$  y con PP significa que, a mayor  $T_{\min}$  y mayor PP se presentó 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  $T_{\min}$ , probablemente debido a que el cielo nublado hace que el calor se mantenga en el ambiente durante la noche, y no le permita disiparse hacia las partes altas de la atmósfera; la correlación entre PP y  $T_{\min}$  fue positiva y altamente significativa. Por el contrario, otros autores documentan, en un estudio realizado en Brasil, 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). Posiblemente, esto se debió a que en el lugar de estudio se presentan las cuatro estaciones, y los brotes reproductivos aparecen principalmente en la época de verano ( $T_p = 20-25$  °C), y no cuando dicha temperatura es menor a 20 °C.

Con la relación entre temperatura y floración, Nerd *et al.* (2002) encontraron que un rango de entre 34-38 °C reduce en forma importante la floración en pitahaya. En

el presente ensayo, durante los meses secos, la  $T_{\text{máx}}$  alcanzó valores superiores a 35 °C, aunque la  $T_p$  nunca superó los 30 °C. Asimismo, se estableció 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 después de que se registraran los valores máximos de temperatura (Martínez-Ruiz *et al.*, 2017); esto mismo sucedió en el presente ensayo.

Además de la  $T_p$ , la HR y PP son las variables climáticas que más interfieren en la floración (Marques *et al.*, 2010); en el presente ensayo la PP se relacionó con la floración. Se encontró que la emisión de brotes reproductivos coincide con el inicio de la estación lluviosa y con altas temperaturas: mayor a 20 °C (Silva *et al.*, 2015); mientras que Osuna-Enciso *et al.* (2016) encontraron que el inicio de la floración coincidió con el inicio de las lluvias y el incremento de la temperatura y la HR, resultados que coinciden con los obtenidos en el presente ensayo en lo concerniente a PP.

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  $T_p$  fuera superior a 20 °C (Marques *et al.*, 2010); sin embargo, en el presente ensayo la  $T_p$  siempre fue superior a dichos grados a lo largo de todo el período del estudio, lo que puede explicar por qué no hubo correlación entre  $T_p$  y NBR.

En otro ensayo se documenta que la floración coincidió con la prevalencia de días largos, precipitación, alta humedad relativa (mayor a 80 %) y un rango de temperatura moderada (28 °C) (Kishore, 2016).

La variable NBV presentó una correlación positiva con NBR a 6, 7 y 9 MPBV; sin embargo, Nobel y De la Barrera (2002b) señalan que la relación entre crecimiento vegetativo y reproductivo en pitahaya no se conoce. Por otra parte, la variable NBR presentó una correlación positiva significativa con NBV entre 3 y 5 MPBR, por lo que, a mayor producción de brotes vegetativos, mayor será el número de brotes reproductivos emitidos 3-5 meses después; esto se explica como consecuencia de la mayor cantidad de tejido vegetal de la planta que se genera a partir de esos brotes vegetativos, y en el cual se producirá la morfogénesis de los brotes reproductivos. Además, estas correlaciones sugieren un ciclo en que, luego de la producción de brotes vegetativos, se requieren 3-5 meses para la emisión de brotes reproductivos y 6-9 meses después se vuelven a producir los brotes vegetativos. En consonancia con estos resultados, para pitahaya amarilla (*S. megalanthus*) se informó que, en los brotes vegetativos nuevos, la floración inició seis meses después de la emergencia de dichos brotes (Jiang *et al.*, 2011). Por lo tanto, los resultados del presente trabajo pueden considerarse aportes significativos al conocimiento sobre la fenología en pitahaya.

Dado que los factores climáticos actúan en forma simultánea, esto dificulta 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 ejemplificó en el presente trabajo, al intentar interpretar la influencia de las variables climáticas que se presentan en un momento dado, sobre la producción de brotes vegetativos y reproductivos en los meses subsiguientes en el cultivo de pitahaya.

## Conclusiones

El inicio de la floración ocurre a partir del inicio de la temporada de lluvias, y cuando la  $T_{\min}$  aumenta y supera los 20 °C.

La producción de los brotes reproductivos ocurrió únicamente en las etapas inicial y media de la temporada lluviosa.

En el momento de la producción de brotes reproductivos, la producción de brotes vegetativos fue baja o nula.

A mayor producción de brotes vegetativos, mayor será el número de brotes reproductivos emitidos 3-5 meses después. A partir de los 24 meses después de la siembra, se presentaron entre tres y cuatro ciclos de floración por año.

## Agradecimientos

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.

## Literatura citada

- Ángel, A.L.; Estrada, C.A.; Rebolledo, A. y Zetina, R. (2012). *Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación*. Campo Experimental Cotaxtla, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México. 183p.
- Chagas, K.P.; Carvalho, B.L.; Guerra, C.A.; Silva, R.A. y Vieira, F.A. (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.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.
- 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.
- Hossain, M.F.; Numan, S.M. y Akhtar, S. (2021). Cultivation, nutritional value and health benefits of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): a review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 8(3): 259-269.
- INTA. (2002). *Cultivo de la pitahaya* (Vol. Guía tecnológica 6). Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 38p.
- Jiang, Y.; Lin, T.; Lee, C.; Yen, C. y Yang, W. (2011). Phenology, canopy composition, and fruit quality of yellow pitaya in tropical Taiwan. *HortScience*. 46(11): 1497-1502.
- Kishore, K. (2016). Phenological growth stages of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) according to the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*. 213: 294-302.
- Marques, V.B.; Moreira, R.A.; Ramos, J.D.; Araújo, N.A. y Silva, F.O. (2011). Fenología reproductiva de pitaia vermelha no município de Lavras, MG. *Ciência Rural*. 41(6): 984-987.
- 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.
- Mondragón, M.A. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento Científico*. 8(1): 98-104.
- Nerd, A.; Sirit, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> uptake for a hemiepiphytic cactus during short-term drought. *Environmental and Experimental Botany*. 48: 129-137.
- Ortiz-Hernández, Y.D.; Livera-Muñoz, M.; Carrillo-Salazar, J.A.; Valencia-Botin, 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.
- Patwary, M.M.; Rahman, M.H.; Barua, H.; Sarkar, S. y Alam, M.S. (2013). Study on the growth and development of two dragon fruit (*Hylocereus undatus*) genotypes. *The Agriculturists*. 11(2): 52-57.
- Rabelo, J.M.; Cruz, M.C.; Alves, D.A.; Lima, J.E.; Reis, L.A. y Santos, N.C. (2020). Reproductive phenology of yellow pitaya in a high-altitude tropical region in Brazil. *Acta Scientiarum*. 42(e43335): 1-5.
- 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.
- 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.

Recepción: 09 de diciembre de 2021

Arbitraje: 02 de febrero de 2022

Dictamen: 26 de junio 2022

Aceptado: 18 de julio 2022