

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE  
ESPECIES DEL GÉNERO *Hylocereus*  
(Cactaceae) EN UNA UNIDAD DE CULTIVO  
LOCALIZADA EN MOLCAXAC, PUEBLA,  
MÉXICO**

**MORPHOLOGICAL  
CHARACTERIZATION OF SPECIES OF  
THE GENUS *Hylocereus* (Cactaceae) IN A  
CULTIVATED UNIT LOCATED IN  
MOLCAXAC, PUEBLA, MEXICO**

**Olarte Reyes, Y., M.J. Martínez Hernández, V.R. Torres Pelayo, I. Pastor Camacho,  
B. Solís Martínez**

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE ESPECIES DEL GÉNERO *Hylocereus*  
(Cactaceae) EN UNA UNIDAD DE CULTIVO LOCALIZADA EN MOLCAXAC,  
PUEBLA, MÉXICO

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SPECIES OF THE GENUS *Hylocereus*  
(Cactaceae) IN A CULTIVATED UNIT LOCATED IN MOLCAXAC, PUEBLA, MEXICO



## Caracterización morfológica de especies del género *Hylocereus* (Cactaceae) en una unidad de cultivo localizada en Molcaxac, Puebla, México

### Morphological characterization of species of the genus *Hylocereus* (Cactaceae) in a cultivated unit located in Molcaxac, Puebla, Mexico

Olarte Reyes, Y., M.J.  
Martínez Hernández, V.R.  
Torres Pelayo, I. Pastor  
Camacho, B. Solís Martínez

CARACTERIZACIÓN  
MORFOLÓGICA DE  
ESPECIES DEL GÉNERO  
*Hylocereus* (Cactaceae) EN  
UNA UNIDAD DE CULTIVO  
LOCALIZADA EN  
MOLCAXAC, PUEBLA,  
MÉXICO

MORPHOLOGICAL  
CHARACTERIZATION OF  
SPECIES OF THE GENUS  
*Hylocereus* (Cactaceae) IN A  
CULTIVATED UNIT LOCATED  
IN MOLCAXAC, PUEBLA,  
MEXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 60: 61-78. Julio 2025

DOI:  
10.18387/polibotanica.60.4

Yesica Olarte Reyes / yesicaolre\_@hotmail.com  
<https://orcid.org/0009-0001-6546-4629>

Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana  
Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana  
Circuito Presidentes s/n Col. Centro. CP 91000. Xalapa, Veracruz, México

María de Jesús Martínez Hernández / jesmartinez@uv.mx   
<https://orcid.org/0000-0003-3049-5289>

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana  
Circuito Presidentes s/n Col. Centro. CP 91000. Xalapa, Veracruz, México

Vianey del Rocío Torres Pelayo / vitorres@uv.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-1684-8394>

Facultad de Biología, Universidad Veracruzana  
Circuito Presidentes s/n Col. Centro. CP 91000. Xalapa, Veracruz, México

Itaí Pastor Camacho / itaipastor10@dgetaycm.sems.gob.mx  
<https://orcid.org/0009-0002-1838-1879>

Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 10 de la  
Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar  
Subsecretaría de Educación Media Superior. Petra Jaime Hernández s/n  
Col. Las Juntas, Dos Ríos, Emiliano Zapata, Veracruz, México

Bibiana Solís Martínez / bibiana.solis@dgetaycm.sems.gob.mx  
<https://orcid.org/0009-0006-6085-5168>

Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 305  
Colonia Bugambilias, Puebla, México

**RESUMEN:** Pitahaya perteneciente al género *Hylocereus* spp, es de gran importancia económica debido a las propiedades alimenticias y capacidad antioxidante del fruto. En México se cultiva varias especies de Pitahaya en traspatios y parcelas, sin embargo, durante en el proceso de domesticación, se han perdido algunas características morfológicas que permiten diferenciar a las especies de gran importancia productiva en cultivos no tradicionales. El objetivo principal de este estudio fue caracterizar morfológicamente la raíz, tallo y flor de cuatro especies de pitahayas del género *Hylocereus* cultivadas en una parcela del municipio de Molcaxac, Puebla, mediante descriptores previamente definidos para apoyar a los agricultores seleccionar hacer un mejor uso de las características morfológicas del cultivo de pitahaya y de aquellos con que sean de mayor potencial productivo. Para la caracterización de la especie se clasificaron de acuerdo con la coloración de la pulpa de la fruta de 10 individuos por especie por tres repeticiones, y completamente al azar: pulpa roja (R); pulpa blanca (B); pulpa rosa Oaxaca (ROAX) y pulpa solferina (SP) de 10 plantas de cada cultivar. Posteriormente, se tomaron medidas de descriptores morfológicos, longitud de raíz

primaria y secundaria, raíces adventicias, peso de raíces, longitud de flor, longitud y ancho de ovario, longitud y ancho del tubo receptacular, número y longitud de brácteas en ovario, número y longitud de brácteas de tubo receptacular, número/longitud y ancho de sépalos, número/longitud y ancho de petaloides, número/longitud y ancho de pétalos, número de lóbulos bifidos, hercogamia y número de estambres, asimismo se documentaron fotos. Este estudio permitió reconocer a la pitahaya R como *Hylocereus ocamponis*; a la B como *Hylocereus undatus*; pitahaya pulpa rosa ROAX como *Hylocereus* sp. y pitahaya pulpa púrpura SP como *Hylocereus purpusii*. Se encontró variabilidad entre las raíces primarias con mayor longitud en *H. undatus* (26.2cm) y *H. purpusii* (24.2cm) además de hercogamia (1.7cm) en *H. sp.* *H. undatus* (30.6 cm) y *H. sp.* presentaron mayor longitud de tallos (32.4 cm). La flor de mayor longitud fue la especie *H. undatus* (33.3 cm), y *H. ocamponis*, fue la que presentó únicamente márgenes marcados de coloración verde y rojizo, principalmente en las brácteas, los sépalos, petaloides y tépalos externos. Esta caracterización morfológica permitió la identificación fenotípica de los individuos de *Hylocereus* cultivados en la parcela “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México; con la finalidad de llevar a cabo un mejor manejo de producción y selección de las mimas.

**Palabras clave:** Pitahaya, descriptores morfología, cactáceas.

**ABSTRACT:** Pitahaya of the *Hylocereus* genus is of great economic importance due to its nutritional properties and antioxidant capacity. In Mexico, several species of pitahaya are cultivated in backyards and plots; however, during the domestication process, there continues to be a loss of visual morphological details that allow for the differentiation of species that are of significant productive importance. The main objective was to conduct a preliminary morphoagronomic analysis of the root, stem, and flower of four species of pitahayas from the *Hylocereus* genus cultivated in Molcaxac, Puebla, using defined descriptors. A completely randomized experimental design was employed. The selected individuals were classified according to the pulp coloration of the fruit for species characterization: red pulp (R), white pulp (B), Oaxaca pink pulp (ROAX), and purple pulp (SP). Subsequently, measurements of the defined agromorphological descriptors were taken, length of primary and secondary root, adventitious roots, weight of roots, length of flower, length and width of ovary, length and width of receptacular tube, number and length of bracts in ovary, number and length of bracts of receptacular tube, number/length and width of sepals, number/length and width of petaloids, number/length and width of petals, number of bifid lobes, herkogamy and number of stamens, Photos were also documented. The red pulp pitahaya was recognized as *Hylocereus ocamponis*; the white pulp as *Hylocereus undatus*; the Oaxaca pink pulp as *Hylocereus* sp.; and the purple pulp as *Hylocereus purpusii*. Variability was found among the primary roots, with greater length in *Hylocereus undatus* (26.2 cm) and *Hylocereus purpusii* (24.2 cm), and herkogamy (1.7 cm) was found in *Hylocereus* sp. The species *Hylocereus undatus* (30.6 cm) and *Hylocereus* sp. exhibited greater stem lengths (32.4 cm). The longest flower was from the species *Hylocereus undatus* (33.3 cm), while *Hylocereus ocamponis* presented only very pronounced green and reddish margin coloration, mainly in the bracts, sepals, petaloids, and outer tepals. This agromorphological characterization allowed for easy identification among the phenotypes of pitahaya cultivated in the “Hermanos Solís” plot located in the municipality of Molcaxac, Puebla, Mexico, with the purpose of carrying out better production management and selection of the same.

**Key words:** Pitahaya, morphology descriptors, Cactaceae.

## INTRODUCCIÓN

La pitahaya (*Hylocereus* spp.) es comúnmente conocida como “Fruta del Dragón” y considerada como una fruta exótica, es atractiva y cotizada tanto en los mercados europeos como asiáticos (Verona-Ruiz *et al.*, 2020) y en México. El fruto de la pitahaya tiene una alta capacidad antioxidante, debido a que presenta compuestos como betalainas, betaninas y betacianinas; con actividad biológica relacionados al estrés, efectos antiinflamatorio, además son una fuente de colorante natural asociado al contenido de betacianinas y con un gran aporte nutricional (Jiménez-García *et al.*, 2022; Attar *et al.*, 2022; Verona-Ruiz *et al.*, 2020). En México prevalecen dos géneros, “*Stenocereus*” e “*Hylocereus*”; en el caso del género *Stenocereus* comprende de 22 a 24 especies de pitahayas; de las 17 a 20 que se encuentran en México, ocho especies se cultivan en el centro-sur del país (Sánchez-Mejorada, 1984) desde tiempos prehistóricos. Dentro del género *Hylocereus*, se encuentran 31 especies (Castillo Martínez *et al.*, 2005), de las cuales *Hylocereus minutiflorus*, *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus purpusii* e *Hylocereus undatus* se distribuyen en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Veracruz, Guerrero, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Colima y Sinaloa (Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012; Bauer, 2003; Esquivel Rodríguez, 2013; Ruiz-Domínguez *et al.*, 2019); y se registra que la especie *H. undatus* se encuentra en forma silvestre en todos estos estados (Montesinos Cruz *et al.*, 2015).

En el estado de Puebla los cultivos de pitahaya se han establecido en huertos familiares con una heterogeneidad del material genético reducido, por ejemplo, se ha encontrado que los frutos difieren en forma, tamaño, color, y número de brácteas, o bien, se reduce el número de frutos desarrollados respecto al total de flores producidas; un hallazgo similar, se reportó en la Península de Yucatán (Castillo Martínez *et al.*, 2005), donde se encontró un genotipo con fruto de color amarillo claro, cuya floración es abundante, pero con reducida producción de frutos. En otros lugares de México se ha reportado que la diversidad biológica de *Hylocereus* cultivados en traspatios y en las plantaciones recién iniciadas son pocos conocidos. Esta controversia en la identificación de la pitahaya se debe en parte al considerar el color del fruto como el único criterio para definir las especies, una práctica que carece de una base taxonómica teórica firme. Además, diversos estudios con especies de cactus domesticadas han demostrado que la variación en los rasgos de los frutos, incluido el color, están relacionados con este proceso de domesticación (Grimaldo-Juárez *et al.*, 2018); por lo tanto, es importante identificar varios caracteres fenotípicos en las plantas y las similitudes entre sus características.

La caracterización de plantas es una herramienta para determinar, diferenciar taxonómicamente (Serrano-Estrada *et al.*, 2023), y estimar en una especie la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman. Así la caracterización de la diversidad fenotípica de las poblaciones y la identificación de las especies de pitahaya se realiza normalmente con base en características morfológicas como el color de tallos, costillas con bordes, presencia/ausencia de suberificación, ubicación de areolas o tipos de espinas, color de flores y color de frutos (Castillo Martínez *et al.*, 2005); que normalmente son características agronómicas y morfológicas para describir, seleccionar y utilizar los recursos genéticos (Legaria Solano *et al.*, 2005) como una primera aproximación hacia el conocimiento del germoplasma (Cevallos Macías, 2022).

Una caracterización morfológica mediante descriptores estándares permite diferenciar fácil y rápidamente entre fenotipos (Andrés Mejía *et al.*, 2013), dando a conocer las características específicas de cada variedad evaluada. Un caso de ello es el estudio realizado en Bhakti Alam Agrotourism, Pasuruan, (Hamidah *et al.*, 2017), determinaron el número de caracteres distintivos y dominantes de la pitahaya (*Hylocereus*) y la relación entre la clasificación de la pitahaya con base en sus caracteres morfológicos. Observaron 63 caracteres, incluyendo segmentos de tallo/ramas, areolas, flores, frutos y semillas; estos caracteres se analizaron utilizando métodos descriptivos y fenéticos. Con base en el resultado descriptivo, hubo 59 caracteres distintivos que afectaron la clasificación de cinco especies de pitahaya: pitahaya blanca, pitahaya rosa, pitahaya roja, pitahaya rojo violáceo y pitahaya amarilla. Con base en el análisis fenético, se obtuvo un

dendograma que mostró la relación de la clasificación de la pitahaya. La pitahaya rojo violáceo y la pitahaya roja estuvieron estrechamente relacionadas con un 50.7% en valor de similitud. Asimismo, el análisis de componentes principales, se identificaron 34 caracteres que influyeron significativamente en la clasificación de la pitahaya; dos de ellos fueron los más dominantes: la curvatura del tallo y el número de restos de bracteolas, con un valor de componente de 0,955. Otro estudio similar realizado por (Garbanzo-León *et al.*, 2019), fue para relacionar variables no destructivas con variables destructivas para construir una herramienta para el uso de proyecciones de crecimiento en pitahaya en Costa Rica. A través de regresiones lineales mostraron que existe una alta precisión ( $r^2 > 0,85$ ) en algunas variables de crecimiento en los tallos de pitahaya, lo cual podría ser una herramienta eficaz para generar cuantificaciones de crecimiento en el cultivo a partir de un parámetro alométrico. Asimismo, se continúan realizando estudios relacionados con la caracterización morfológica y la producción de frutos provenientes de huertos familiares con la finalidad de iniciar la selección de los más prometedores y su cultivo en las parcelas o traspatios (Castillo Martínez *et al.*, 2005; Carrillo Criollo & Yumbra-Orbes, 2022). No obstante, en ocasiones no es posible captar algunos detalles morfológicos de la selección tradicional de la pitahaya; debido que durante en el proceso de domesticación, se continúa con la frecuente incorporación de nuevos o diferentes variedades de pitahayas en traspatios o en los cultivos (Carrillo-Galván *et al.*, 2020); sin tener claridad que especies se están cultivando, así como su incompatibilidad sexual, periodo de floración, poca o nula producción de frutos. Es común confundirse, y algunas veces no se pueden identificar que especie de pitahaya se está cultivando. Por ello, es importante detallar las características morfológicas de cada especie de pitahaya, el cuál apoyaría a los productores guiarse sobre que especie necesita polinización cruzada y cuales tienen compatibilidad sexual. Por lo tanto, se debe considerar reunir datos mediante descriptores de cada genotipo cultivado, con una ficha descriptiva individual para disponer de una información ordenada acerca de las características que componen al espécimen bajo estudio y que este favorezca la identificación de las plantaciones cultivadas (Franco & Hidalgo, 2003; Vegas Albino *et al.*, 2015; Morillo Coronado, 2016). A pesar de que existen actualmente varios estudios sobre la morfología de la pitahaya, en este caso particular, fue necesario incrementar las investigaciones sobre la caracterización morfológica que sea fácil de medir, registrar o evaluar la forma, estructura o comportamiento de una accesión de las especies que son cultivadas en parcelas, tal es el caso del cultivo conocido como “Hermanos Solís” propiedad del Sr. Osvaldo Ramos Castro, ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, cuyo objetivo principal fue caracterizar morfológicamente la raíz, tallo y flor de cuatro especies de pitahayas del género *Hylocereus* cultivadas en una parcela, usando descriptores previamente reportados y definidos, con la finalidad de apoyar a los agricultores seleccionar y hacer un mejor uso de los cultivos de pitahaya y de aquellos con que sean de mayor potencial productivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El cultivo de pitahaya se encuentra ubicada en la parcela “Hermanos Solís” municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México; en las coordenadas 18°43'38" latitud norte y 97°56'25" longitud oeste (GPS IN SITU), a una altura a nivel de mar de 1696 msnm. (GPS IN SITU), con una temperatura promedio anual de 19.2 °C y precipitación anual de 600 a 700 mm, con clima semicálido, subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010).

### Selección y colecta del material vegetativo

Se utilizaron cuatro especies de pitahaya y 10 individuos por cada especie por tres repeticiones, las cuales se clasificaron de acuerdo con la coloración de la pulpa de la fruta: pulpa roja (R), pulpa blanca (B), pulpa rosa Oaxaca (ROAX) y pulpa solferina púrpura (SP) y considerando el mismo tiempo de plantación. Durante la primavera y verano, se colectaron las raíces, tallos y

flores de las cuatro especies y se realizó un archivo fotográfico de cada parte área con una cámara digital marca Canon (EOS 4000D). Asimismo, se realizó una lista de descriptores morfológicos para la caracterización morfológica de la pitahaya de cada especie, para ello se utilizó como referencia el trabajo realizado por Carrillo Criollo & Yumbla-Orbes, (2022) y González Espino & Alvarado Ruíz, (2004), con algunas modificaciones que se describen a continuación con más detalle.

### **Caracterización morfológica**

Tomando en cuenta el método descrito por Carrillo Criollo & Yumbla-Orbes, (2022), se seleccionaron 10 plantas de cada cultivar por tres repeticiones y completamente al azar. La caracterización morfológica de raíz, tallo y flor se realizó mediante los parámetros establecidos tanto por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2010) como por González Espino & Alvarado Ruíz, (2004) con algunas modificaciones, como presencia de raíz primaria y secundaria, raíces adventicias, medición y pesado de raíces, longitud de flor, longitud y ancho de ovario, longitud y ancho del tubo receptacular, número y longitud de brácteas en ovario, número y longitud de brácteas de tubo receptacular, número/longitud y ancho de sépalos, número/longitud y ancho de petaloides, número/longitud y ancho de pétalos, número de lóbulos bífidos, hercogamia y número de estambres.

### **Caracteres morfológicos de raíz, tallo y flor**

En la medición de las raíces, se consideraron diez tallos con raíces de cada especie de pitahaya por triplicado del mismo cultivo, se midió la longitud (centímetro, cm) de raíces primarias, secundarias, y adventicias; posteriormente se obtuvo el peso fresco y seco en gramos (g). Para el tallo, se consideraron los siguientes descriptores de longitud de tallo (cm), ancho del tallo (cm), número y longitud de ramas, altura de la cresta (cm), distancia entre areola (cm), número y longitud de espinas (cm). A las flores colectadas (10 individuos de cada especie) se les midió la longitud de flor (cm); separación y medición de longitud y ancho de los sépalos (tépalos externos), petaloides (tépalos medios) y pétalos. Posteriormente se midió la longitud y ancho interno del ovario (cm) y del tubo receptacular. Asimismo, se cuantificó y se midió la longitud y ancho de brácteas del ovario, así como el número, longitud y ancho de brácteas del tubo receptacular (cm), con la ayuda de un vernier (Pretul VER-6P). En el órgano reproductor se midió la longitud del estilo, se cuantificaron los lóbulos, la hercogamia y el número de estambres.

### **Análisis estadístico**

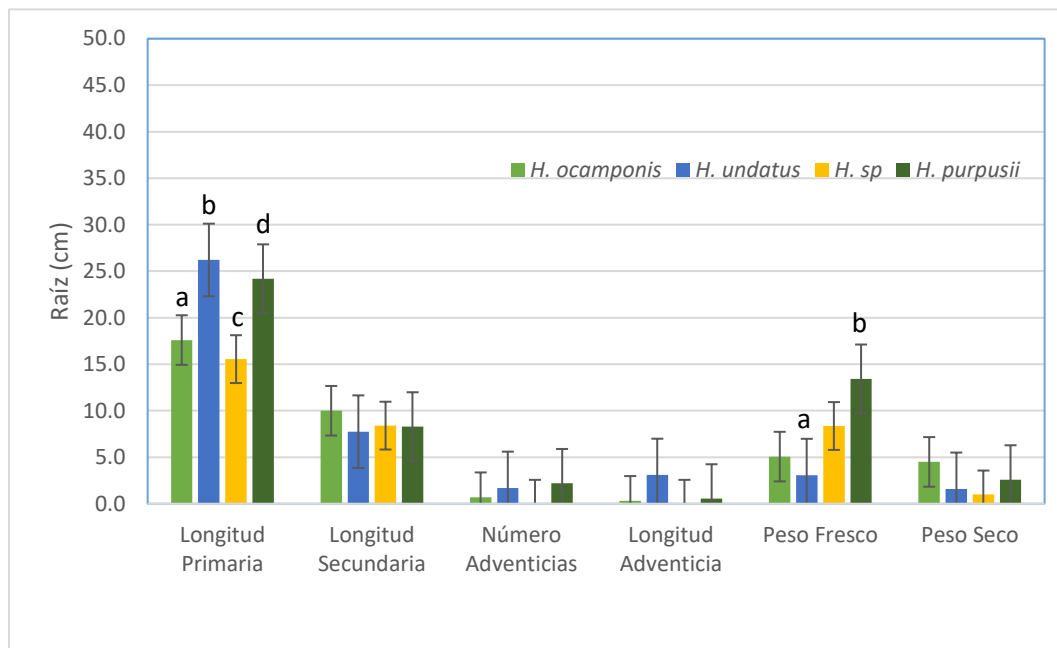
Los datos obtenidos de cada descriptor evaluado en este estudio fueron analizados mediante análisis descriptivo para obtener la media y error estándar; asimismo se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias, y se utilizó una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey  $P \leq 0.05$ ), utilizando el programa STATISTICA®. Posteriormente se graficaron los datos en Excel versión 2018 para representarlos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se encontraron cuatro especies de Pitahaya *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus undatus*, *Hylocereus* sp. y *Hylocereus purpusii* en los cultivos de la parcela “Hermanos Solís” municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, distinguiéndose por su color de pulpa. Hasta ahora, los únicos índices prácticos de cosecha han sido el color de la epidermis y la firmeza del fruto, que generalmente son evaluados subjetivamente por los recolectores de fruta. Por ejemplo, para la especie *H. undatus* se ha demostrado que la epidermis de los frutos se torna completamente rojo cuando han alcanzado la madurez y el desarrollo completamente (Le Bellec & Vaillant, 2011). Con respecto a la raíz, se encontró entre las raíces primarias una mayor longitud en las especies *Hylocereus undatus* y *Hylocereus purpusii* (26.2 y 24.2 cm, respectivamente) con respecto a

*Hylocereus* sp y *Hylocereus aecomponis*. Mientras que la especie *H. undatus* presentó mayor longitud de raíces adventicias (3.1 cm). No obstante, se observó que la especie *Hylocereus undatus* y *Hylocereus purpursii* tiene un mayor número de raíces adventicias aparente (1.7 y 2.2, respectivamente). Con respecto a la longitud de raíces secundarias fueron similares entre las cuatro especies de pitahaya (Figura 1) y la especie *Hylocereus* sp. no presentaron raíces adventicias. Con respecto al peso fresco y seco es variable entre las especies, y se observó un mayor peso fresco en *H. purpursii* del 13.4g (Figura 1). Es importante resaltar que las raíces son un componente fundamental para los cultivos, por ejemplo, la morfología de una raíz está determinada por el volumen de suelo disponible para la absorción de agua y nutrientes, y proporcionan el anclaje, dicha actividad está regulada por los genes e influenciado por múltiples factores ambientales (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Sin embargo, por ser un órgano subterráneo, ha sido la menos que las estructuras aéreas. En este estudio en particular, las características morfológicas de las raíces fueron fácilmente observables y expresables en las cuatro especies de Pitahaya, y permitió como primer paso determinar si existe o no variabilidad entre las raíces como un dato taxonómico básico e importante para la caracterización morfológica de los recursos fitogenéticos (Verona-Ruiz *et al.*, 2020), como se han reportado en otros estudios (Hernández-Villarreal A. E., 2013; Morillo *et al.*, 2021); donde se describen las características botánicas de la Pitahaya como una planta epífita o hemiepífita (Andrés Mejía *et al.*, 2013) con raíces primarias y secundarias bien diferenciadas (Meráz Alvarado *et al.*, 2003). Sin embargo, no se puede generalizar que las raíces sea una base para determinar la especie, debido que el tipo de suelo influye en el crecimiento y reorganización de este, o bien, por las condiciones ambientales (temperatura, elementos nutrientes, estrés hídrico y salino, entre otros), como ha sido reportado en otras investigaciones (Balliu *et al.*, 2021; Balliu & Sallaku, 2021; Pedersen *et al.*, 2021), donde han confirmado que las altas temperaturas afectan no sólo la tasa de crecimiento de las puntas de las raíces individuales, sino también la arquitectura total del sistema radicular, especialmente la formación y orientación de las raíces laterales (Balliu & Sallaku, 2021).

Una de las funciones principales de las raíces primarias es absorber los nutrientes y alimentar a la planta, estas se desarrollan entre una profundidad de 5 a 10 cm. Mientras que las raíces secundarias o adventicias nacen en la parte aérea de la planta; su función es de sostén, por lo que se adhieren a las superficies de árboles, piedras o muros (González Espino & Alvarado Ruíz, 2004; Vargas *et al.*, 2020). Esta arquitectura del sistema radicular determina la formación, el alargamiento y el ángulo de crecimiento de las raíces, en si apoya a la caracterización de la planta pitahaya para determinar el conjunto de características morfológicas y diferenciarlas taxonómicamente como un estudio preliminar fenotípico (López-Santiago *et al.*, 2008; Sudarjat Leovika *et al.*, 2018), el cual es importante en la agricultura para implementar prácticas agronómicas efectivas y sostenibles que maximicen la salud y el crecimiento de los cultivos de pitahaya. No obstante, en ocasiones no es posible captar todos los detalles morfológicos de la selección tradicional de la especie bajo estudio; debido que, durante el proceso de domesticación y cultivo, se continúa con la frecuente incorporación de nuevos y diversas especies de plantas de Pitahaya, y aunado a las condiciones ambientales y tipo de suelo; las características físicas y químicas de la solución nutritiva, la disponibilidad de agua y los organismos microbianos que habitan en la rizosfera, pueden afectar el crecimiento de las raíces, el volumen y profundidad de la zona de las raíces, en sí, en todo el sistema radicular de crecimiento, rendimiento y calidad del producto de las plantas en los sistemas de cultivo (Balliu & Sallaku, 2021).

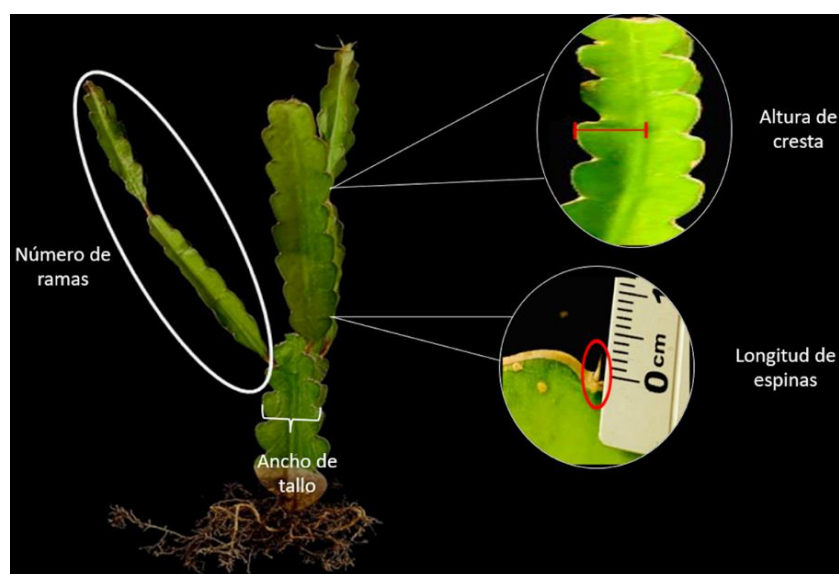


**Figura 1.** Características morfológicas de raíz entre las cuatro especies de pitahaya, representados en centímetros (cm). Las medias con diferente letra en una columna por grupo de descriptores son diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

**Figure 1.** Root morphological characteristics among the four pitahaya species, represented in centimeters (cm). Means with different letters in a column per descriptor group are different (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

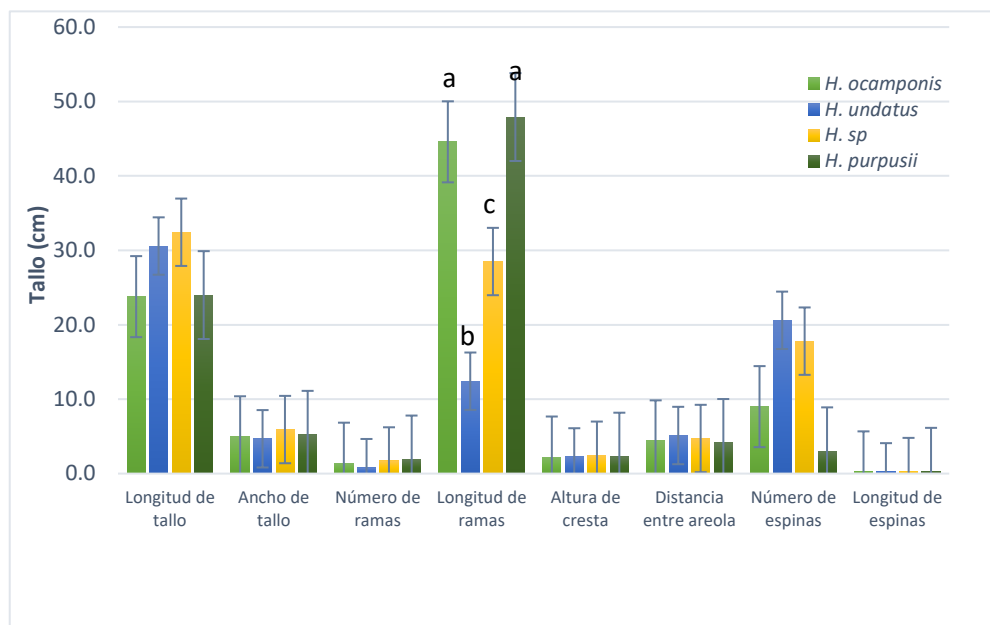
Con relación a las características morfológicas de los tallos (Figura 2), presentaron color verde claro, con hendiduras, lóbulos y areola de tres a cuatro espinas muy característicos de las pitahayas; no obstante, la especie *H. undatus* y *Hylocereus sp* presentó mayor longitud de tallos (30.6 y 32.4 cm, respectivamente) y número de espinas, 20.6 y 17.8, respectivamente (Figura 3). Mientras que las especies *H. ocamponis* y *purpusii* presentaron una mayor longitud de ramas (44.6 y 47.9 cm, respectivamente), y la de menor longitud fue la especie *H. undatus* (12.4 cm). Comparando las otras características morfológicas, como es el ancho de tallo, número de ramas, altura de la cresta, distancia entre areola y longitud de espinas, no hay variación entre los descriptores estudiados de los cuatro especies de estudio (Figura 3). Con estos hallazgos, se observó que las características morfológicas relevantes son longitud del tallo y ramas, así como el número de espinas en los cuatro especies de pitahayas de este estudio. Generalmente, las diferencias en el germoplasma de pitahaya se pueden demostrar fácilmente con algunas características fenotípicas distintivas, como el tamaño del fruto, el color del fruto y el número de espinas en la areola que se formaron en los segmentos de las ramas/tallos (Goenaga et al., 2020). Estudios similares, registraron que los descriptores de tallos son importantes para diferenciar especies (Andrés Mejía et al., 2013; González Espino & Alvarado Ruíz, 2004). Para el género *Hylocereus*, se encontraron que los tallos están profundamente acostillados (tres costillas) y son epifitos (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1978; Meráz-Alvarado et al., 2003); y presentan costillas o aristas gruesas; estas características de los tallos son importantes en las formas de propagación vegetativa para conservar y seleccionar las características deseables de cada especie en cuestión, y para que se produzcan raíces en condiciones ambientales favorables y tener un adecuado balance hormonal. Además, los tallos o cladodios de la Pitahaya poseen hábitos trepadores; son del tipo xerofítico, suculentos, verdes, fotosintéticos y de epidermis gruesa, se caracterizan por presentar costillas o aristas gruesas que los recorren longitudinalmente (Rosales-

Bustamante *et al.*, 2009); permitiendo que se desarrollen bien en zonas de bajas precipitaciones (Vallester-Cruzata *et al.*, 2021). Otro dato interesante en el campo de la gastronomía, los tallos de la Pitahaya *H. undatus* son utilizados por su característica consistencia suave y su contenido nutricional en proteínas, fibra e importantes contenidos de zinc y potasio (Montesinos Cruz *et al.*, 2015). Aunado a ello, la caracterización morfológica de los tallos permitió seleccionar y medir los descriptores morfológicos más adecuados para conocer taxonómicamente a las plantas de pitahayas, que estas sean confiables y discriminativos para evaluaciones futuras dentro de la Parcela y, así seleccionar las plantas que den mejor rendimiento de cosecha. No obstante, se debe considerar las hibridaciones intra e interespecífica que puedan darse durante las plantaciones de pitahayas, debido que esto ha creado cierta confusión taxonómica, incluso a nivel mundial (Silvia *et al.*, 2017). Por lo tanto, es importante considerar este punto y comentarles a los agricultores de la parcela de los “Hermanos Solís” municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, para un mejor manejo y selección de las especies que ofrezcan mejores posibilidades comerciales.



**Figura 2.** Muestra las partes morfológicas y los tipos de descriptores considerados en el tallo de pitahaya expresados en centímetros (cm).

**Figure 2.** Show the morphological parts and types of descriptors considered in the pitahaya stem expressed in centimeters (cm).



**Figura 3.** Características morfológicas del tallo entre las cuatro especies de pitahaya, representados en centímetros (cm). Las medias con diferente letra en una columna por grupo de descriptores son diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

**Figure 3.** Morphological characteristics of the stem among the four species of pitahaya, represented in centimeters (cm). Means with different letters in a column per descriptor group are different (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

En el caso de las flores, se identificaron caracteres descriptivos florales relevantes en las cuatro especies de pitahaya evaluadas, las cuales fueron longitud de flor (Figura 4), longitud y ancho del ovario, longitud y ancho del tubo receptacular, número-longitud y ancho de brácteas de ovario, número y longitud de brácteas del tubo receptacular, número-longitud y ancho de sépalos, número-longitud y ancho de petaloides, número-longitud y ancho de pétalos, número de lóbulos bifidos, distancia de hercogamia y número de estambres (Tabla 1, Figura 4). La flor más grande fue la especie *H. undatus* (33.3 cm) y *H. sp* (31.2 cm). Morillo-Coronado *et al.*, (2021), mencionaron que un descriptor es una variable o atributo que se observa en un conjunto de individuos de una población de plantas, como es el caso de la Pitahaya. Por ejemplo, la coloración de tépalos de las flores y tamaño (Figura 5 e-h); estas características podrán ser usadas visualmente en las evaluaciones preliminares y preferentemente con consenso de cultivos particulares (Quevedo Guerrero *et al.*, 2020).



**Figura 4.** Representa las partes de la flor externa (lado izquierdo) y un corte longitudinal con caracteres descriptivos florales de pitahaya (lado derecho), así como las brácteas de ovario, brácteas de tubo receptacular, sépalos, petaloides, pétalos, ovario, estambres y lóbulos.

**Figure 4.** Represents the parts of the external flower (left side) and a longitudinal section with descriptive floral characters of pitahaya (right side), as well as the ovary bracts, receptacle tube bracts, sepals, petaloids, petals, ovary, stamens and lobes.

Por otro lado, se encontró en la especie *H. ocamponis* un mayor número de brácteas ovárica el cual fue de 28.0 y de brácteas del tubo receptacular de 18.4. En cuanto al número de sépalos (tépalos externos) fue de 18.6, petaloides (tépalos medios) de 25.9 y pétalos de 27.6; observándose un mayor número de estambres de 926.1, en relación con las otras tres especies de pitahaya. Mientras que la *H. undatus*, las únicas variaciones en relación con las otras tres especies de pitahaya fueron el ancho interno del ovario el cual fue de 2.2 cm, longitud del tubo de 10.0 cm, y longitud de brácteas del tubo receptacular que fue de 10.3cm. En la especie *Hylocereus* sp., tuvo una mayor longitud de sépalos de 15.7 cm y petaloides de y 17.2 cm (Tabla 1). Castillo Martínez *et al.*, (2005), en años anteriores concluyeron que la variedad de genotipos de pitahaya se diferenció principalmente por las características de sus estructuras reproductivas y quienes eran autocompatibles, así como quienes podrían tener un mayor potencial económico para la región sur de Quintana Roo, México. Generalmente, las flores de la pitahaya son grandes y tienen simetría ligeramente bilateral debido a la curvatura o inclinación del tubo receptacular (Andrés Mejía *et al.*, 2013; Cituk Chan *et al.*, 2024). Estudios similares han reportado que las características del cladodio, florales y del fruto de la especie de pitahaya *H. megalanthus*, como las nervaduras marginales del cladodio, la cera, el color del sépalo, el color del anillo en la base de los órganos reproductivos en la flor, la forma del fruto, la posición hacia la cáscara, la pulpa el color, el color de la cáscara y el tamaño de la semilla son rasgos taxonómicos visibles para distinguir entre la especie *H. undatus* y *H. costaricensis* (Morillo-Coronado *et al.*, 2021).

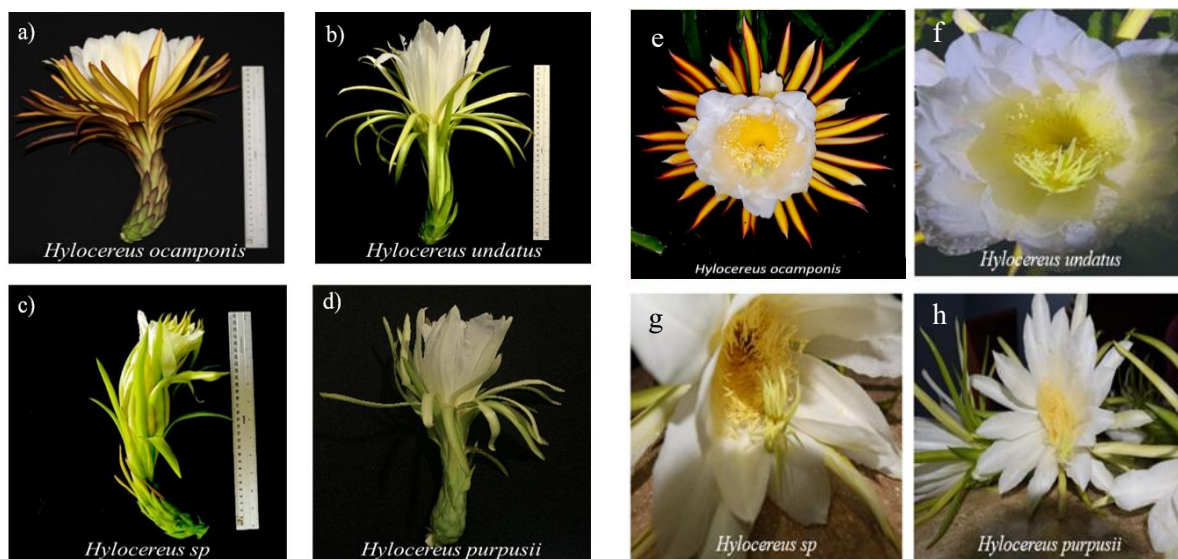
**Tabla 1.** Descriptores florales relevantes para las cuatro especies de pitahaya. Los números en negrita reflejan el promedio de las principales variaciones en cada especie. La media en cada columna que son diferentes (Tukey  $P \leq 0.05$ )\*.

**Table 1.** Relevant floral descriptors for the four pitahaya species. The numbers in bold reflect the average of the main variations in each species. Means in each column that are different (Tukey  $P \leq 0.05$ )\*.

Descriptores florales	<i>H. ocamponis</i>	<i>H. undatus</i>	<i>H. sp</i>	<i>H. purpusii</i>
Longitud de la flor (cm)	28.6	<b>33.3*</b>	<b>31.2</b>	26.5
Longitud interna del ovario (cm)	4.4	3.3	3.5	2.7
Ancho interno del ovario (cm)	1.8	<b>2.2*</b>	1.8	1.8
Longitud del tubo (cm)	9.9	<b>10.0*</b>	7.3	8.6
Ancho del tubo (cm)	0.7	1.0	0.9	1.1
Número de brácteas ovario	<b>28.0*</b>	16.1	13.1	13.4
Longitud de brácteas ovario	2.5	3.5	3.4	3.9
Ancho de brácteas chicas	1.1	1.7	2.0	1.8
Número de brácteas del tubo receptacular	<b>18.4*</b>	13.4	12.2	10.4
Longitud de brácteas del tubo receptacular (cm)	6.0	<b>10.3*</b>	8.8	8.5
Número de sépalos (tépalos externos)	<b>18.6*</b>	13.5	12.8	14.3
Longitud de sépalos (cm)	6.0	10.3	<b>15.7*</b>	9.5
Ancho de sépalos (cm)	1.3	1.6	1.4	1.5
Número de petaloides (tépalos medios)	<b>25.9*</b>	10.7	11.8	12.3
Longitud de petaloides (cm)	12.2	16.1	<b>17.2*</b>	12.3
Ancho de petaloides (cm)	1.3	1.4	1.1	1.3
Numero de pétalos	<b>27.6*</b>	19.7	22.0	19.4
Longitud de pétalos (cm)	10.3	13.6	13.7	10.4
Ancho de pétalos (cm)	2.2	3.1	2.9	1.8
Lóbulos bifidos	0.0	0.9	0.1	3.3
Distancia hercogamia (cm)	0.5	1.3	1.7	0.8
Número de estambres	<b>926.1*</b>	764.2	729.7	661.1

Otra característica morfológica relevante que se observó fue en la especie *H. ocamponis*, presento márgenes muy marcados de coloración verde y rojizo en las brácteas, los sépalos, petaloides y tépalos externos (Figura 5 a y e). Por otro lado, en las cuatro especies registradas en este estudio, está presente la hercogamia, y se le atribuye como especies autoincompatibles (Castillo Martínez *et al.*, 2005; Lichtenzveig *et al.*, 2000; Morillo-Coronado *et al.*, 2021), que obliga la polinización cruzada para su fecundación (de Nettancourt, 1977). La flor de la especie *Hylocereus sp* tiene una distancia de hercogamia 1.7 cm, mientras que la flor de *H. ocamponis* tiene una distancia de 0.5 cm. Se describe que la hercogamia se refiere a la separación espacial de anteras y estigmas de la misma flor, lo que impide o reduce la autopolinización y la autogamia. Esta característica morfológica es una forma única de polimorfismo morfológico en las flores de algunas especies de plantas, que impide la autofecundación de cada flor (Jiménez-Durán & Cruz-García, 2011). El origen del polen también puede influir en el tiempo transcurrido entre la polinización y la cosecha del fruto (conocido como fenómeno de metaxenia, que anteriormente solo se observaba en *H. polyrhizus* (Le Bellec & Vaillant, 2011). Un caso particular es en la especie *H. undatus*, los

episodios de floración son cíclicos y se extienden durante un periodo de cinco a seis días, la polinización de las flores ocurre durante la noche por murciélagos nectarívoros como *Leptonycteris curasoae* y *Choeronycteris mexicana* o por una especie de mariposa perteneciente a la familia Sphingidae, del género *Maduca*. Durante el día, las abejas (*Apis mellifera*) polinizan las flores, esto al parecer no es un mayor problema relacionado con el rendimiento de los frutos en los principales países productores de América Latina y Asia (Le Bellec & Vaillant, 2011).



**Figura 5.** En la letra a-d se observa de manera lateral la flor de la pitahaya. Las letras e-h se observa de manera frontal la flor de las cuatro especies de pitahaya encontradas en los cultivares de Molcaxac, Puebla, Méx.

**Figure 5.** Letters a-d show the pitahaya flower from the side. Letters e-h show the flowers of the four pitahaya species found in cultivars from Molcaxac, Puebla, Mexico, from the front.

La caracterización morfológica de pitahaya en los cultivos de la parcela “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, permitió diferenciar y determinar la naturaleza de cada especie de pitahaya (Gómez-Hinostrosa *et al.*, 2014). Así como identificar características deseables basados en criterios morfológicos relevantes y estimar el grado de variación dentro de una población de pitahaya para un mejor manejo de producción en las siguientes siembras, como se ha reportado en otros cultivos (Betancur G. *et al.*, 2020; Sudarjat Leovika *et al.*, 2018; Tel-Zur *et al.*, 2011).

Asimismo, permitió sistematizar el trabajo de toma de datos en campo, evaluación y poder difundir la información entre productores (Lachenaud *et al.*, 1999). Debido que, en ocasiones, la amplia variación morfológica que pueden ser observadas en las estructuras vegetativas, podría llevar a la confusión para identificar cada especie, con falta de consenso (Gómez-Hinostrosa *et al.*, 2014). Además, estudios sobre especies de cactus domesticadas (Aparecida de Andrade *et al.*, 2008) han demostrado variaciones en las características morfológicas de la fruta, flores (Ramírez Ortiz, 2017; Silva *et al.*, 2011); y raíces (Verona-Ruiz *et al.*, 2020), están relacionadas con el proceso de domesticación, resultando en una falta de base de datos taxonómicos (Jalgaonkar *et al.*, 2022).

En este estudio, se consideró descriptores claros cualitativos, con una expresión continua en términos positivos acorde a los atributos morfológicos que poseen las variedades de pitahaya (Quevedo Guerrero *et al.*, 2020). Asimismo, con los hallazgos obtenidos en este estudio, se da a conocer la variabilidad global de una previa siembra de pitahaya de la parcela, la cual permitirá en un futuro, homogeneizar las accesiones de acuerdo con sus morfotipos de primer momento y establecer la caracterización morfológica de cuatro especies de pitahayas, que a su vez los descriptores morfológicos puedan ser utilizados en la caracterización fenotípica visual de las especies *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus undatus*, *Hylocereus sp* y *Hylocereus purpusii*, para los futuros programas de mejoramiento productivo de los cultivos de pitahaya en la parcela “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México. Esta caracterización se pudo discriminar fácilmente entre fenotipos de pitahaya similar a otras investigaciones previas con fines de conservación y mejoramiento genético de las especies; por ejemplo, un estudio evaluó las caracterizaciones morfológicas, bioquímicas y moleculares de cuatro genotipos de fruta del dragón (*Hylocereus spp.*) cultivados en Andaman y en la isla de Nicobar y reveló la presencia de una cantidad considerable de variaciones genéticas que podrían usarse como caracteres clave para distinguir tres especies diferentes. Por lo que la heterogeneidad morfológica y genética en muchas características del fruto, como la dulzura, el tamaño, la forma, el color y el número de brácteas, resultante de la hibridación intra e interespecífica, dificulta aumentar los estándares de calidad para el mercado de exportación, planteando serios problemas al determinar el rendimiento en el manejo y la vida útil de las pitahayas (Abirami *et al.*, 2021). A pesar de que existe muchas contradicciones con respecto a la clasificación botánica de *Hylocereus* que dificultan la caracterización, así como el rendimiento y calidad de fruto en los cultivares de pitahaya (Goenaga *et al.*, 2020); los descriptores morfológicos para este estudio permitió diferenciar y determinar principalmente la longitud primaria de la raíz y raíces adventicias, longitud del tallo y rama; así como la longitud de la flor y la distancia de hercogamia entre las especies de pitahaya y bajo las mismas condiciones ambientales dentro de la parcela, el cual sería una herramienta útil de crecimiento y reactivación agrícola en los cultivos de pitahaya de la parcela “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México.

## CONCLUSIÓN

En la parcela de “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, se encontraron cuatro especies de plantas de pitahaya. Las raíces tuvieron una marcada variación en la longitud de la raíz primaria entre las cuatro especies evaluadas, *Hylocereus ocamponis*, *Hylocereus undatus*, *Hylocereus sp* y *Hylocereus purpusii*. Asimismo, se encontró variación en la longitud de la rama entre las cuatro especies. Por otro lado, en la flor, se encontró la presencia de márgenes muy marcados de coloración verde y rojizo en las brácteas, los sépalos, petaloides y tépalos externos en la morfología de la flor, únicamente en la especie *Hylocereus ocamponis*. Los descriptores usados para este estudio permitieron caracterizar a las plantas de pitahayas cultivadas en una parcela, el cual fue fácil de medir, registrar, evaluar y hacer referencia a la forma y estructura del cultivo de pitahaya. Por lo tanto, se sugiere utilizar descriptores discriminatorios como una guía preliminar de los cultivares de pitahayas en la parcela de “Hermanos Solís” ubicada en el municipio de Molcaxac, estado de Puebla, México, para contribuir en la selección de las especies y que sean de mayor interés productivo.

## LITERATURA CITADA

Abirami, K., Swain, S., Baskaran, V., Venkatesan, K., Sakthivel, K., & 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(1), 2894. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81682-x>
- Andrés Mejía, H., Muriel Ruiz, S. B., Montoya, C. A., & Reyes Sequeda, C. (2013). *In situ* Morphological Characterization of *Hylocereus* spp. (Fam.: Cactaceae) Genotypes from Antioquia and Córdoba (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 66(1), 6845–6854. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179928411002>
- Aparecida de Andrade, R. , Vilar de Morais Oliveira, I. , Habib Silva, M. T. , & Martins, A. B. G. (2008). Germinação de pitaya em diferentes substratos. *Revista Caatinga*, 21(1), 71–75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117576010>
- Balliu, A., & Sallaku, G. (2021). The environment temperature affects post-germination growth and root system architecture of pea (*Pisum sativum* L) plants. *Scientia Horticulturae*, 278, 109858. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109858>
- Balliu, A., Zheng, Y., Sallaku, G., Fernández, J. A., Gruda, N. S., & Tuzel, Y. (2021). Environmental and Cultivation Factors Affect the Morphology, Architecture and Performance of Root Systems in Soilless Grown Plants. *Horticulturae*, 7(8), 243. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080243>
- Bauer, R. (2003). A synopsis of the tribe Hylocereeae F.Buxb. *Cactaceae Systematics Initiatives*, 17, 6–63.
- Betancur G., J. A., Muriel R., S. B., & Gonzalez J., E. P. (2020). Morphological characterization of the red dragon fruit - *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt – under growing conditions in the municipality of San Jerónimo (Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9019–9027. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77735>
- Bravo, H., & Sánchez, H. (1978). *Las cactáceas de México*. (Vol. 1). Universidad Autónoma de México.
- Carrillo Criollo, J. F., & Yumbra-Orbes, M. (2022). Caracterización morfológica y análisis de crecimiento de tres cultivares de *Helianthus annuus* L. para flor de corte. *Siembra*, 9(1), e3323. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3323>
- Carrillo-Galván, G., Bye, R., Eguiarte, L. E., Cristians, S., Pérez-López, P., Vergara-Silva, F., & Luna-Cavazos, M. (2020). Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: Agastache (Lamiaceae)—an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00368-2>
- Castillo Martínez, M., Muñoz, L., & Guzmán, M. (2005). *Colegio de Postgraduados*.
- Castillo Martínez, R., Livera Muñoz, M., & Márquez Guzmán, G. J. (2005). Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*, 39(2), 183–194. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239206>
- Cevallos Macías, K. L. (2022). *Caracterización morfológica en el cultivo de pitahaya (Hylocereus spp) en el Ecuador* [Tesis, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11373>
- Citik Chan, D., Balam Traconis, L., Pool Pech, J. A., Espadas Hernández, J. M., Pinzón López, L., & Andueza-Noh, R. H. (2024). Un vistazo al interior de la pitahaya rosa y blanca (*Selenicereus* spp.). *Centro de Investigación Científica de Yucatán*, 111–115.
- de Nettancourt, D. (1977). *Incompatibility in Angiosperms* (Vol. 3). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-12051-4>
- Esquivel Rodríguez, P. (2013). Los frutos de las Cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 215. <https://doi.org/10.15517/am.v15i2.11916>
- Franco, T. L. , & Hidalgo, Rigoberto. (2003). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Garbanzo-León, G., Chavarría-Pérez, G., & Vega-Villalobos, E. V. (2019). Correlaciones alométricas en *Hylocereus costaricensis* y *H. monacanthus* (pitahaya): una herramienta para cuantificar el crecimiento. *Agronomía Mesoamericana*, 425–436. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33574>

- Goenaga, R., Marrero, A., & Pérez, D. (2020). Yield and Fruit Quality Traits of Dragon Fruit Cultivars Grown in Puerto Rico. *HortTechnology*, 30(6), 803–808. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04699-20>
- Gómez-Hinostrosa, C., Hernández, H. M., Terrazas, T., & Correa-Cano, M. E. (2014). Studies on Mexican Cactaceae. V. Taxonomic notes on *Selenicereus tricae*. *Brittonia*, 66(1), 51–59. <http://www.jstor.org/stable/24692673>
- González Espino, S. E., & Alvarado Ruíz, J. C. (2004). *Utilización de caracteres cualitativos y cuantitativos determinantes en la variación fenotípica de pitahaya (Hylocereus undatus Britt y Rosse), que permiten proponer una guía de descriptores* [Tesis de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional Agraria (UNA)]. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1872>
- Grimaldo-Juárez, O., Suárez-Hernández, Á. M., Ceceña-Durán, C., & González-Mendoza, D. (2018). Diversidad morfológica de semilla y fruto de diez colectas mexicanas de *Lagenaria siceraria*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 63. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.28205>
- Hamidah, Tsawab, H., & Rosmanida. (2017). *Analysis of Hylocereus spp. diversity based on phenetic method*. 020012. <https://doi.org/10.1063/1.4985403>
- Hernández Villarreal A. E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 113–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.15741/revbio.02.03.05>
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Molcaxac, Puebla. In INEGI (Ed.), *Marco Geoestadístico 2010, versión 4.3., clave geoestadística 21098*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefndmkaj/[https://www.inegi.org.mx/contenidos/ap/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21098.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/ap/mexicocifras/datos_geograficos/21/21098.pdf)
- Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2022). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): A Review. *Food Reviews International*, 38(4), 733–759. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>
- Jiménez-Durán, K., & Cruz-García, F. (2011). Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal sexual incompatibility, a genetic mechanism that prevents self-fertilization and contributes to plant diversity. In *Artículo de Revisión Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 34, Issue 1).
- Lachenaud, P., Bonnot, F., & Oliver, G. (1999). Use of floral descriptors to study variability in wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in French Guiana. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46(5), 491–500. <https://doi.org/10.1023/A:1008763321959>
- Le Bellec, F., & Vaillant, F. (2011). Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 247–273e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.247>
- Legaria Solano Juan Porfirio, María Elisa Alvarado Cano, & Ricardo Gaspar Hernández. (2005). Diversidad Genética en Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 179–185. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefndmkaj/<https://www.redalyc.org/pdf/610/61028301.pdf>
- Lichtenzweig, J., Abbo, S., Nerd, A., Tel-Zur, N., & Mizrahi, Y. (2000). Cytology and mating systems in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*. *American Journal of Botany*, 87(7), 1058–1065. <https://doi.org/10.2307/2657005>
- López-Santiago, J., Nieto-Ángel, R., Barrientos-Priego, A. F., Rodríguez-Pérez, E., Colinas-Leon, M. T., Borys, M. W., & González-Andrés, F. (2008). Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 14(2), 97–111. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2008000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000200002&lng=es&tlng=es).
- Meráz Alvarado Ma. del Refugio, Manuel Ángel Gómez Cruz, & Rita Schwentesius Rindermann. (2003). Pitahaya de México - Producción y comercialización en el contexto internacional. In C. A. Flores Valez (Ed.), *Pitayas y pitahayas. Producción, poscosecha*,

- industrialización y comercialización*. (Primera edición, pp. 1–175). CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo.
- Montesinos Cruz, J. A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M. de los Á., Ruíz Herrera, Giovanni., & Guevara-Hernández, Francisco. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 67–76. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000500007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500007&lng=es&tlng=es).
- Morillo Coronado, A. C. (2016). Morphological Characterization of *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran in the Province of Lengupá / Morphological Characterization of *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran in the Province of Lengupá. *Ciencia En Desarrollo*, 7(2), 23–34. <https://doi.org/10.19053/01217488.v7.n2.2016.4072>
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarres Hernández, E. H., & Forero-Mancipe, L. (2021). Phenotypic Diversity of Morphological Characteristics of Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) Germplasm in Colombia. *Plants*, 10(11), 2255. <https://doi.org/10.3390/plants10112255>
- Ortiz-Hernández, Y. D., & Carrillo-Salazar, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220–237. <https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/334/151>
- Pedersen, O., Sauter, M., Colmer, T. D., & Nakazono, M. (2021). Regulation of root adaptive anatomical and morphological traits during low soil oxygen. *New Phytologist*, 229(1), 42–49. <https://doi.org/10.1111/nph.16375>
- Quevedo Guerrero, J. N., Ramírez Villalobos, M., Zhiminaicela Cabrera, J., Noles León, M. J., Quezada Hidalgo, C., & Aguilar Flores, S. (2020). Diversidad morfoagronómica: caracterización de 650 árboles de *Theobroma cacao* L. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(6), 14–21.
- Ramírez Ortiz, M. E. (2017). *Propiedades funcionales de hoy* (M.E. Ramírez Ortiz, Ed.). Omnia Science. <https://doi.org/10.3926/oms.361>
- Rosales-Bustamante, E. P., Luna-Morales, C. del C., & Cruz-León, A. (2009). Clasificación y selección tradicional de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.) en Tianguistengo, Oaxaca y variación morfológica de cultivares. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(1), 75–82.
- Sánchez-Mejorada R., H. (1984). Origen, taxonomía y distribución de las pitayas en México. En *Aprovechamiento del pitayo*. ITAO Oaxaca, UAM. México, 621.
- Silva, A. D. C. C. DA, Sabião, R. R., Chiamolera, F. M., Segantini, D. M., & Martins, A. B. G. (2017). Morphological traits as tool to verify genetic variability of interspecific dragon fruit hybrids. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(1). <https://doi.org/10.1590/0100-29452017168>
- Silva, A. de C. correia da, Martins, A. B. G., & Cavallari, L. de L. (2011). Qualidade de frutos de pitaya em função da época de polinização, da fonte de pólen e da coloração da cobertura. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(4), 1162–1168. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400014>
- Sudarjat Leovika, A., Suminar, E., Isnaniawar, V., Abdilah Ha, M., Albi Fauzi, A., & Mubarak, S. (2018). Morphological Characterization and Adaptation of Four Dragon Fruit Genotypes in Pangandaran Regency of Indonesia. *Asian Journal of Plant Sciences*, 18(1), 21–25. <https://doi.org/10.3923/ajps.2019.21.25>
- Tel-Zur, N., Mizrahi, Y., Cisneros, A., Mouyal, J., Schneider, B., & Doyle, J. J. (2011). Phenotypic and genomic characterization of vine cactus collection (Cactaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(7), 1075–1085. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9643-8>
- UPOV: Internacional para la protección de las obtenciones vegetales. (2010, December 10). *S TG/DRAGON (proj.5) Proyecto pitahaya*. Chrome-Extension://Efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/Https://Www.Upov.Int/Edocs/Mdocs/Upov/Es/Tc/47/Tg\_dragon\_proj\_5.Pdf. chrome-

**Recibido:**  
12/octubre/2024

**Aceptado:**  
6/junio/2025

- extension://efaidnbmnnnibpcajpegglefindmkaj/https://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/es/tc/47/tg\_dragon\_proj\_5.pdf
- Vallester-Cruzata, R., Caridad M. Noriega-Carrera, David Zamora-Blanco, Hugo Marcelino Oliva-Díaz., Miguel Falcón-Figueroa, Yoandy Rodríguez-Castro, Martha R. Hernández-Zaldívar, Lázaro Ramos-Gourrie, & Alex Pérez-Borges. (2021). la pitahaya o fruta dragón: The pitahaya or dragon fruit. *El fruticultor, CitriFrut.*, 38(1), 57–64.
- Vargas, Y., Pico, J., Díaz, A., Sotomayor, D., Burbano, A., Caicedo, C., Paredes, N., Congo, C., Tinoco, L., Bastidas, S., Chuquimarca, J., Macas, J., & Viera, W. (2020). *Manual del Cultivo de Pitahaya para la Amazonía Ecuatoriana*. (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias., Ed.; Primera edición, Vol. 117). [https://www.researchgate.net/publication/343224125\\_Manual\\_del\\_Cultivo\\_de\\_Pitahaya\\_para\\_la\\_Amazonia\\_Ecuatoriana#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/343224125_Manual_del_Cultivo_de_Pitahaya_para_la_Amazonia_Ecuatoriana#fullTextFileContent)
- Vegas Albino, D. P., Bracamonte Guevara, O., & Valladolid Cavero, A. (2015). Caracterización morfológica de seis variedades parentales de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y trece cruas obtenidas de un plan de hibridación. *Revista Peruana de Biología*, 22(2), 175–192. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i2.11352>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>