

---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ATRIBUTOS NUTRACÉUTICOS Y NUTRICIONALES**  
**DEL FRUTO DE *Pachycereus weberi* (COULT.)**  
**BACKEB. DE LA MIXTECA POBLANA**

**TESIS PROFESIONAL**  
**QUE COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**PRESENTA:**

**GINA KELLY MENDEZ CASTILLO**

**BAJO LA DIRECCIÓN DE:**

**DRA. MARÍA DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS**



**APROBADA**



CHAPINGO, TEXCOCO, MÉXICO, FEBRERO DE 2024

---

---

**ATRIBUTOS NUTRACÉUTICOS Y NUTRICIONALES DEL FRUTO DE  
*Pachycereus weberi* (COULT.) BACKEB. DE LA MIXTECA POBLANA**

Tesis realizada por **GINA KELLY MENDEZ CASTILLO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

DIRECTOR:



Dra. María del Rosario García Mateos

ASESOR:



Dra. Ana María Castillo González

ASESOR:



Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada

ASESOR:



Dra. Lyzbeth Hernández Ramos

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE APÉNDICES .....	viii
ABREVIATURAS COMÚNMENTE UTILIZADAS.....	ix
DEDICATORIA .....	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xiv
RESUMEN GENERAL.....	xv
GENERAL ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen y distribución .....	3
2.2 Clasificación taxonómica .....	4
2.3 Morfología.....	4
2.4 Situación de riesgo de <i>Pachycereus weberi</i> en México.....	5
2.5 Usos de <i>Pachycereus weberi</i> .....	6
2.6 Importancia social.....	6
2.7 Importancia nutricional y nutracéutica .....	7
2.8 Metabolismo CAM .....	8
III. JUSTIFICACIÓN.....	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
4.1 Sitios de recolecta del material vegetal .....	9

.....	10
4.2 Características edáficas de los sitios de recolecta .....	10
4.2.1 Análisis fisicoquímico del suelo .....	10
4.2.2 Condiciones ambientales .....	12
4.3 Certificación taxonómica.....	13
4.4 Material vegetal .....	13
4.5 Caracterización física .....	14
4.6 Cuantificación de minerales.....	14
4.7 Análisis fisicoquímico.....	15
4.8 Análisis proximal.....	15
4.9 Cuantificación de nutraceuticos .....	16
4.9.1 Preparación de extracto .....	16
4.9.2 Cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales .....	17
4.9.3 Cuantificación de flavonoides .....	17
4.9.4 Cuantificación de betalaínas totales .....	18
4.9.5 Cuantificación de vitamina C .....	19
4.10 Determinación de actividad antioxidante .....	19
4.10.1 Método ABTS .....	19
4.10.2 Método FRAP .....	20
4.11 Análisis estadístico .....	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
5.1 Certificación taxonómica.....	22
5.2 Características físicas de los frutos .....	22
5.3 Análisis mineral de los frutos .....	24
5.4 Características nutricionales de los frutos .....	26

5.4.1 Propiedades fisicoquímicas y proximales .....	26
5.5 Extracción preliminar de los componentes nutraceuticos .....	28
5.6 Cuantificación de los componentes nutraceuticos de los frutos .....	30
5.7 Variables significativas entre localidades .....	32
5.8 Componentes principales .....	37
5.9 Correlación canónica .....	41
VII. LITERATURA CITADA .....	43
VIII. APÉNDICES .....	56

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica de <i>Pachycereus weberi</i> .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Características físicas y químicas del suelo de las tres localidades de recolecta pertenecientes la Mixteca Poblana.....	11
<b>Cuadro 3.</b> Condiciones climáticas (diurnas, nocturnas y del momento de la cosecha), de las estaciones meteorológicas cercanas a cada localidad de interés para la investigación. ....	12
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de covarianza de las características físicas de los frutos silvestres de <i>Pachycereus weberi</i> provenientes de tres localidades de la Mixteca Poblana.....	22
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de covarianza de la cuantificación de minerales en los frutos silvestres de <i>Pachycereus weberi</i> .....	25
<b>Cuadro 6.</b> Análisis de covarianza de las características fisicoquímicas-proximales de los frutos silvestres de <i>Pachycereus weberi</i> .....	27
<b>Cuadro 7.</b> Determinación del mejor disolvente para la mejor extracción de componentes nutraceuticos y actividad antioxidante en la pulpa de <i>P. weberi</i> .	28
<b>Cuadro 8.</b> Componentes nutraceuticos y actividad antioxidante de los frutos silvestres de <i>P. weberi</i> de tres localidades pertenecientes a la Mixteca Poblana. ....	31
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias de las variables significativas entre localidades y efecto de las covariables.....	32
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de componentes principales de cuatro grupos de variables evaluadas en los frutos de <i>Pachycereus weberi</i> .....	37

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Planta adulta de *Pachycereus weberi* en la localidad de Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Puebla. Fuente: Elaboración propia. .... 3
- Figura 2.** Fruto maduro en el tallo de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia. ... 5
- Figura 3.** A) Madera de tallos adultos. B) Frutos maduros de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia. .... 6
- Figura 4.** Ubicación de las localidades de muestreo del material vegetal ubicadas en los tres municipios del estado de Puebla. Fuente: Elaboración propia. .... 10
- Figura 5.** Espectro de absorción del barrido de una muestra a 484 nm para betaxantinas y 538 nm para betacianinas. .... 18
- Figura 6.** Fruto sin espinas (izquierda) y fruto con espinas (derecha) de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia. .... 23
- Figura 7.** Biplot de análisis de componentes principales (ACP) de las variables físicas. DE: diámetro ecuatorial, LON: longitud, Ir: índice de redondez, GES: grosor de espinas, PES: peso de espinas, PM: peso de mesocarpio, PE: peso de epicarpio, GE: grosor de epicarpio, POM: porcentaje de epicarpio, POE: porcentaje de epicarpio. .... 38
- Figura 8.** Biplot de análisis de componentes principales (ACP) de las variables nutraceuticas. CFS: compuestos fenólicos solubles, FLA: flavonoides, BTM: betalaínas totales en mesocarpio, BTE: betalaínas totales en epicarpio, BCM: betacianinas en mesocarpio, BCE: betacianinas en epicarpio, BXM: betaxantinas en mesocarpio, BXE: betaxantinas en epicarpio, VIT: vitamina C, ABTS: método para determinar la actividad antioxidante, FRAP: método para determinar la actividad antioxidante. .... 40
- Figura 9.** Correlación canónica, se muestra la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales: componentes nutraceuticos y características físicas de los frutos de *Pachycereus weberi*. CFS: compuestos fenólicos solubles, BTM: betalaínas en mesocarpio,

BCM: betacianinas en mesocarpio, BTE: betalaínas totales en epicarpio, BCE: betacianinas epicarpio, ABTS: método para determinar la actividad antioxidante, FRAP: método para determinar la actividad antioxidante, DE: diámetro ecuatorial del fruto, LON: longitud de fruto, Ir: índice de redondez del fruto, PM: peso de mesocarpio, GE: grosor de epicarpio, POM: porcentaje de mesocarpio, PES: peso de espinas..... 41

### LISTA DE APÉNDICES

**Apéndice 1.** Comparación de medias de las características físicas de los frutos de *Pachycereus weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana..... 56

**Apéndice 2.** Comparación de medias de la cuantificación mineral de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana. .... 56

**Apéndice 3.** Comparación de medias de las características nutricionales de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana..... 57

**Apéndice 4.** Comparación de medias de las características nutraceuticas de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana..... 58

**Apéndice 5.** Tríptico informativo de la presente investigación. .... 59

### ABREVIATURAS COMÚNMENTE UTILIZADAS

ABREVIATURAS	SIGNIFICADO	ABREVIATURAS	SIGNIFICADO
<b>AA</b>	Actividad antioxidante	<b>FLA</b>	Flavonoides
<b>ABTS</b>	Método para actividad Antioxidante 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico)	<b>FRAP</b>	Poder antioxidante reductor del hierro
<b>AST</b>	Azúcares solubles totales	<b>GE</b>	Grosor de epicarpio
<b>AT</b>	Acidez titulable	<b>H</b>	Humedad
<b>BCE</b>	Betacianinas en epicarpio	<b>Ir</b>	Índice de redondez del fruto
<b>BCM</b>	Betacianinas en mesocarpio	<b>L</b>	Localidad
<b>BTE</b>	Betalainas totales en epicarpio	<b>LON</b>	Longitud del fruto
<b>BTM</b>	Betalainas totales en mesocarpio	<b>M. O.</b>	Materia orgánica
<b>BXE</b>	Betaxantinas en epicarpio	<b>N. C.</b>	Número de componentes
<b>BXM</b>	Betaxantinas en mesocarpio	<b>PAL</b>	Enzima fenilalanina amonio-liasa
<b>C. E.</b>	Conductividad eléctrica	<b>PE</b>	Peso de epicarpio
<b>C</b>	Componentes	<b>PES</b>	Peso de espinas
<b>CAR</b>	Carbohidratos	<b>PM</b>	Peso de mesocarpio
<b>CEN</b>	Cenizas	<b>POE</b>	Porcentaje de epicarpio
<b>CFS</b>	Compuestos fenólicos solubles	<b>POM</b>	Porcentaje de mesocarpio

<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua	<b>PRO</b>	Proteínas
<b>DE</b>	Diámetro ecuatorial del fruto	<b>PTF</b>	Peso total del fruto
<b>EAA</b>	Equivalentes de ácido ascórbico	<b>RS</b>	Radiación solar
<b>EAG</b>	Equivalentes de ácido gálico	<b>SST</b>	Sólidos solubles totales
<b>EMA</b>	Estación Meteorología Automática	<b>T<sub>μ</sub></b>	Temperatura media del momento de cosecha
<b>EQ</b>	Equivalentes de quercetina	<b>UICN</b>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>ET</b>	Equivalentes de trolox (ácido 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico).	<b>VE</b>	Valor energético
<b>FC</b>	Fibra cruda	<b>% V</b>	Porcentaje de variabilidad

---

## DEDICATORIA

**A mi tío**, Armando Castillo García†, por siempre apoyarme cuando estuvo en vida y motivarme a ser mejor persona, a pesar de tu partida siempre te recuerdo con una sonrisa en mi rostro, porque sé que estas orgulloso de mí.

**A mi abuelito**, Norberto Méndez Iturbide†, por alentarme con tus últimas palabras cuando me despedí de ti, siempre las tengo presente en mi mente cuando un obstáculo se presenta y me atemoriza.

**A mi madre**, María Adela Castillo García, por tu apoyo incondicional en cada uno de los objetivos que tengo en la vida como estudiante y persona, por escucharme cuando más lo necesito y por ser mi mayor ejemplo a seguir, estoy muy orgullosa de ti.

**A mi padre**, Efraín Méndez Amaro, por brindarme los recursos necesarios para cumplir con mis estudios básicos, por tus consejos porque me han llevado por el camino del bien, por creer en mí y por ser mi motivación, me siento muy orgullosa de ser tu hija.

**A mis hermanos**, Julio Michael y Dennis Efraín Méndez Castillo, por aconsejarme de la mejor manera para que pueda seguir adelante en mis planes, por su amistad, apoyo incondicional y por hacer que vuelva a creer en mí cuando me siento mal.

**A mi abuelita**, Arcadia García Cirio, por ver por mi salud y bienestar, por tu cariño y por ser un ejemplo a seguir por tus sacrificios para que estuviéramos bien.

**A mis primos**, Jamily Castillo Domínguez, Emily Jimena y Pedro Armando Castillo Rojas, porque son mi motivación para seguir adelante en la vida, por ser un ejemplo a seguir, que a pesar de las dificultades que la vida les ha puesto a ustedes son unos niños muy fuertes, los admiro por eso y por todo el cariño que me brindan.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por cuidarme a mí y a mis seres queridos, por darme salud y permitirme seguir en esta vida cumpliendo cada uno de mis sueños y metas.

**Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)**, por financiar mis estudios en el periodo que duro la maestría.

**A la Universidad Autónoma Chapingo**, por las oportunidades que me han otorgado para poder realizar mis estudios.

**Al Departamento de Fitotecnia y al Instituto de Horticultura**, por brindarme los nuevos aprendizajes que obtuve a través de los profesores-investigadores pertenecientes.

**A la Dra. María del Rosario García Mateos**, gracias por aceptarme para poder trabajar con usted como mi directora de tesis, por enseñarme nuevas cosas sobre el área de investigación que me competía aprender, por su apoyo incondicional para que pudiera realizar las actividades necesarias para concluir esta tesis, por tener confianza en mis capacidades y hacerme saber que soy capaz de cumplir lo que me propongo, por los buenos momentos que pasamos durante este tiempo en el laboratorio mientras realizaba mi experimento. Le tengo mucha admiración, aprecio y respeto.

**A la Dra. Ana María Castillo González**, gracias por su apoyo brindado y el tiempo que me compartió para cuando pedí su ayuda durante la realización del experimento. Gran admiración que siento por usted.

**A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada**, gracias por compartir sus conocimientos, por ayudarme para poder aclarar mis dudas sobre los temas que a mí se me complicaban. Aprecio su atención y le reitero mi respeto.

**A la Dra. Lyzbeth Hernández Ramos**, estoy profundamente agradecida por su apoyo para que pudiera realizar mis actividades en el laboratorio y así terminar la parte experimental. Gracias por transmitirme sus conocimientos en el área, por motivarme y aconsejarme para hacer nuevas cosas que me ayudaron para mi crecimiento personal y académico. La aprecio, admiro y respeto.

**Al M. en C. Antonio Cortés Jiménez**, Profesor-Investigador del Departamento de Preparatoria Agrícola de la UACH, gracias por sus enseñanzas, por su comprensión y principalmente por su disposición para que pudiera trabajar con usted.

**A Ventura Gabriela Gómez Flores y Gabriela Espinoza Lozana**, Técnicos Medio Agropecuario Y Silvícola del Departamento de Preparatoria Agrícola de la UACH, agradezco profundamente su ayuda en el herbario.

**Al I.B.Q. Félix Esparza Torres**, Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH, agradezco mucho que me haya permitido trabajar en su laboratorio para que pudiera concluir mis análisis.

**A Martha Doris Pérez Ayala**, Laboratorista del Laboratorio de Análisis de Alimentos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH, gracias por su ayuda y su comprensión que me brindó el tiempo que estuve trabajando en su área.

**A Carlos Gilberto Hernández Castro**, por apoyarme ampliamente en mi proyecto de investigación, por acompañarme a realizar diversas actividades al área principal de muestreo y por siempre estar pendiente de mí cuando más lo necesite hasta el final de mis actividades durante la maestría.

**A mis amigos**, especialmente a: Elizabeth Díaz, Isis Montalvo, Lucero Barboza, Valeria Valdez y Alejandro Mentado por motivarme siempre a seguir adelante, confiar en mí y también por toda su ayuda.

## DATOS BIOGRÁFICOS

Gina Kelly Mendez Castillo nació el 9 de septiembre de 1997, en Atlixco, Puebla. Concluyó sus estudios a nivel media superior en la Preparatoria Regional “Simón Bolívar” perteneciente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

En 2017, recibió el título de Técnico Superior Universitario en Biotecnología Agrícola de la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, con la tesina “Germinación *in vitro* de semillas de *Hippeastrum*”. En el 2019, obtuvo el grado de Ingeniero en Agrobiotecnología con número de cédula profesional 11974077 de la misma universidad, con la tesis “Elaboración de pasaporte de identidad genética con datos morfológicos y moleculares en variedades de nopal (*Opuntia* spp.)”.



## RESUMEN GENERAL

### Atributos nutraceuticos y nutricionales del fruto de *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb. de la Mixteca Poblana

*Pachycereus weberi* es una cactácea columnar endémica de México con distribución en los estados de Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca y Puebla, regiones que producen por temporada abundantes frutos, consumidos por los pobladores. A pesar de la gran diversidad de investigaciones en frutos de otras cactáceas, no existe información sobre los atributos nutraceuticos y nutricionales de los frutos de las plantas silvestres de *P. weberi*. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó una caracterización física, mineral, nutricional y se determinaron algunos componentes nutraceuticos; así como la capacidad antioxidante mediante dos métodos (ABTS y FRAP) de frutos provenientes de poblaciones silvestres de tres localidades (L1: Cerro Gordo, L2: Totoltepec de Guerrero y L3: Xaltianguis) ubicadas en la Mixteca Poblana. El peso promedio de los frutos fue 84.18 g, con 43.86 % de pulpa y 56.14 % de epicarpio con espinas. En los contenidos de minerales se encontraron concentraciones promedio de fósforo, calcio, magnesio, azufre y zinc (240.04, 81.98, 175.32, 206.23 y 1.64 mg 100 g<sup>-1</sup> peso seco (p.s.), respectivamente). El pH de los frutos fue 5.05, con 0.18 % de ácido málico y 13.31 °Brix. El porcentaje de lípidos, proteínas y carbohidratos fue 13.38, 17.57 y 28.37, respectivamente, que aportan en promedio 304.16 kcal 100 g<sup>-1</sup> p.s. Se encontró una concentración promedio de 1038.23 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> p.s. de compuestos fenólicos solubles, 24.34 mg EQ 100 g<sup>-1</sup> p.s. de flavonoides, 93.77 mg EAA 100 g<sup>-1</sup> p.s. de vitamina C, 77.29 mg 100 g<sup>-1</sup> p.s. de betalaínas totales en la pulpa de los frutos. Finalmente, la actividad antioxidante por los métodos ABTS y FRAP fue 14.51 mM ET 100 g<sup>-1</sup> p.s. y 11.53 mM ET 100 g<sup>-1</sup> p.s., respectivamente. Es importante llevar a cabo más estudios para identificar los compuestos químicos presentes en los frutos de *P. weberi* y comprender sus posibles beneficios para la salud. Además, los estudios científicos de estas plantas pueden generar un interés en su consumo, para destacar la importancia de la biodiversidad local y fomentar prácticas agrícolas que promuevan la conservación de estas especies poco conocidas.

**Palabras clave:** Betalaínas totales, cactáceas, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, especies silvestres.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Gina Kelly Mendez Castillo

Director de Tesis: Dra. María del Rosario García Mateos

## GENERAL ABSTRACT

### **Nutraceutical and nutritional attributes of the fruit of *Pachycereus weberi* (Coul.) Backeb. of the Mixteca Poblana**

*Pachycereus weberi* is a columnar cactus endemic to Mexico with distribution in the states of Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca and Puebla, regions that produce abundant fruit seasonally, which are usually consumed by the local inhabitants of these regions. Despite the great diversity of research on other cactus, there is no information about nutraceutical and nutritional attributes of wild *P. weberi* plants. Therefore, in the present investigation a physical, mineral, and nutritional characterization was carried out and some nutraceutical components were determined, as well as the antioxidant capacity, through two methods (ABTS and FRAP), of fruit coming from wild populations in three localities (L1: Cerro Gordo, L2: Totoltepec de Guerrero and L3: Xaltianguis) located in the Mixteca Poblana. The average weight of the fruit was 84.18 g, with 43.86 % pulp and 56.14 % epicarp with thorns. In the most relevant minerals, average concentrations of phosphorus, calcium, magnesium, sulfur and zinc were found (240.04, 81.98, 175.32, 206.23 and 1.64 mg 100 g<sup>-1</sup> dry weight (d.w.), respectively). The pH of the fruit was 5.05, with 0.18 % malic acid and 13.31 °Brix. The percentage of lipids, proteins and carbohydrates was 13.38, 17.57 and 28.37, respectively, which provide an average of 304.16 kcal 100 g<sup>-1</sup> d.w. An average concentration was found 1038.23 mg GAE 100 g<sup>-1</sup> d.w. of soluble phenolic compounds, 24.34 mg QE 100 g<sup>-1</sup> d.w. of flavonoids, 93.77 mg AAE 100 g<sup>-1</sup> d.w. of vitamin C, 77.29 mg 100 g<sup>-1</sup> d.w. of total betalains in the pulp of the fruit. Finally, the antioxidant activity by the ABTS and FRAP methods was 14.51 mM TE 100 g<sup>-1</sup> d.w. and 11.53 mM TE 100 g<sup>-1</sup> d.w., respectively. It is important to carry out scientific studies to identify the chemical compounds present in *P. weberi* fruit and understand their possible health benefits. In addition, scientific studies of these plants can generate interest in their consumption, to highlight the importance of local biodiversity and promote agricultural practices that promote the conservation of this little-known species.

**Keywords:** Total betalains, cactaceae, antioxidant capacity, phenolic compounds, wild species.

Thesis in Horticultural Sciences, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Gina Kelly Mendez Castillo

Advisor: Dra. María del Rosario García Mateos

## I. INTRODUCCIÓN

En México, las regiones áridas y semiáridas abarcan aproximadamente dos terceras partes del país (Ocampo-Fletes et al., 2018), donde es común encontrar plantas pertenecientes a la familia Cactaceae. Se estima que existen alrededor de 1450 a 1870 especies distribuidas en el Continente Americano (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991; Arias & Aquino, 2019). Particularmente, el país tiene registrados 60 géneros y 670 especies, de las cuales 77 % son endémicas (Arias & Aquino, 2019). Dentro de estas plantas, se encuentra la tribu *Pachycereae* con preferencias por su ubicación en suelos calizos, asociadas con diferentes comunidades vegetales, como bosques tropicales, bajos caducifolios, espinosos y matorrales xerófilos (Linzaga-Román et al., 2011).

Una región en particular que presenta dichas características es la Mixteca Poblana, ubicada en una zona semiárida al sureste del estado de Puebla con vegetación de tipo selva baja caducifolia; donde se puede encontrar a *Pachycereus weberi* (Coul.) Backeb., especie endémica perteneciente a dicha tribu, también localizada en los estados de Guerrero, Hidalgo, Morelos y Oaxaca, donde recibe los nombres comunes de órgano, candelabro, cardón o chico (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991; Anderson, 2001; Arias & Terrazas, 2009). Es una cactácea columnar que puede alcanzar 15 m de altura, por lo que caracteriza al paisaje semiárido de estos lugares (Jiménez-Sierra, 2011). La especie produce en los meses de abril a junio, abundantes frutos comestibles rojos con espinas setosas amarillas, cuando éstos maduran queda expuesta la pulpa de color rojo-violeta con semillas negras (Anderson, 2001). Los frutos suelen ser recolectados de huertas familiares o en su mayoría de plantas silvestres (Luna-Morales & Aguirre, 2001), forman parte de la biodiversidad de zonas rurales. Los habitantes de esas regiones pueden hacer uso racional de estos recursos para tener acceso a alimentos de temporada y preservar sus ecosistemas junto con el conocimiento tradicional de estas plantas (Díaz-José et al., 2018).

Sin embargo, no existe información sobre los componentes nutraceuticos y nutricionales de frutos silvestres de *P. weberi*, por lo que, el principal interés de la presente investigación surge debido a las numerosas investigaciones sobre la calidad nutraceutica de la pulpa y cáscara (epicarpio) de frutos de otras cactáceas de mayor demanda económica y consumo, ya que, se estima que éstos pueden ser aprovechados por sus propiedades nutricionales y nutraceuticas (López et al., 2015; Ramírez-Ramos et al., 2018; Hernández-Ramos et al., 2020).

En los últimos años, los malos hábitos alimentarios y la falta de actividad física regular son factores de riesgo importantes para el desarrollo de diversas enfermedades crónicas a nivel mundial (Swallah et al., 2020). Por ello, en la actualidad, los consumidores han mostrado mayor interés en adoptar dietas más saludables, además de reconocer los beneficios asociados con la ingesta de alimentos que ofrecen no solo nutrientes básicos, sino también compuestos bioactivos beneficiosos para la salud gracias a su actividad biológica, ya que, promueven la prevención de algunas enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, cáncer, diabetes, artritis, osteoporosis, entre otras (Hoti et al., 2022).

Con base en lo antes expuesto, esta investigación tuvo como objetivos principales: determinar las características nutraceuticas y nutricionales de frutos silvestres de *Pachycereus weberi* provenientes de tres localidades de la Mixteca Poblana; así como evaluar el mayor rendimiento en la extracción de algunos componentes nutraceuticos y la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS y FRAP de la pulpa de frutos silvestres de *P. weberi* provenientes de una localidad utilizando tres disolventes con diferente polaridad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen y distribución

Las cactáceas son plantas originarias de América, su centro de diversificación más importante en el mundo es México, con un elevado índice de endemismo (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991). Dentro de esta familia se encuentra *Pachycereus weberi* (Coult.) Backeb., cactácea columnar considerada una de las más grandes del mundo, por lo que Bravo-Hollis (1978) se refiere a ella como una especie “gigantesca” (Jiménez-Sierra et al., 2009); el epíteto específico fue otorgado en honor a Frédéric A. C. Weber (1830-1903), militar y naturalista francés, quien la recolectó en México (Arias & Terrazas, 2009).

Al ser una especie endémica, su distribución geográfica es limitada, se puede encontrar en el Cañón del Zopilote en Guerrero; cerca del municipio de Metztlán en Hidalgo; en Morelos en la región Sierra de Huautla-Cerro Frío; en Oaxaca hay grandes asociaciones de la especie en el Cañón de Tomellín; y en Puebla esta especie es característica de la Mixteca (Bravo-Hollis, 1978; Arias & Terrazas, 2009; Barrios-Giles et al., 2020).



**Figura 1.** Planta adulta de *Pachycereus weberi* en la localidad de Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Puebla. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Clasificación taxonómica

El pequeño género *Pachycereus* (A. Berger) Britton & Rose, consta de cinco especies de plantas arbóreas de tamaño mediano a grande (Arias & Terrazas, 2009). En el Cuadro 1 se muestra la clasificación taxonómica de *P. weberi* de acuerdo con Bravo-Hollis (1978).

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de *Pachycereus weberi*.

Categoría	Taxón
Reino	Plantae
Subreino	Embriophyta
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Cariofilales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Cereoideae
Tribu	Pachycereae
Género	<i>Pachycereus</i>
Especie	<i>weberi</i>
Nombre común	Órgano, candelabro, cardón o chico

Fuente: Bravo-Hollis, (1978)

## 2.3 Morfología

*P. weberi* es una de las cactáceas candelabriformes más grandes, puede alcanzar una altura de 10 a 15 m, presenta un tronco leñoso bien definido de aproximadamente 2 m de alto y 60 cm de diámetro de color grisáceo. Genera numerosas ramas gruesas de 20 cm de diámetro y de color verde glauco con 8 a 10 costillas. Tiene de 6 a 12 espinas radiales con una espina central larga y gruesa y la parte terminal es aplanada de color marrón. Sus flores son grandes de color blanco amarillento, diurnas y nocturnas; estas son polinizadas por murciélagos de nariz larga *Leptonycteris curasoae* (Martínez-Peralta et al., 2010) y florecen de febrero a abril; los frutos son globosos-elipsoides de color rojo con abundantes espinas setosas amarillas que cubren el pericarpio, estos cuando

maduran se abren en forma de estrella y la pulpa rojo púrpura con semillas negras queda expuesta, la fructificación inicia en el mes de abril y termina en junio (Bravo-Hollis, 1978; Arias & Terrazas, 2009; Martínez-Moreno et al., 2014).



**Figura 2.** Fruto maduro en el tallo de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia.

#### **2.4 Situación de riesgo de *Pachycereus weberi* en México**

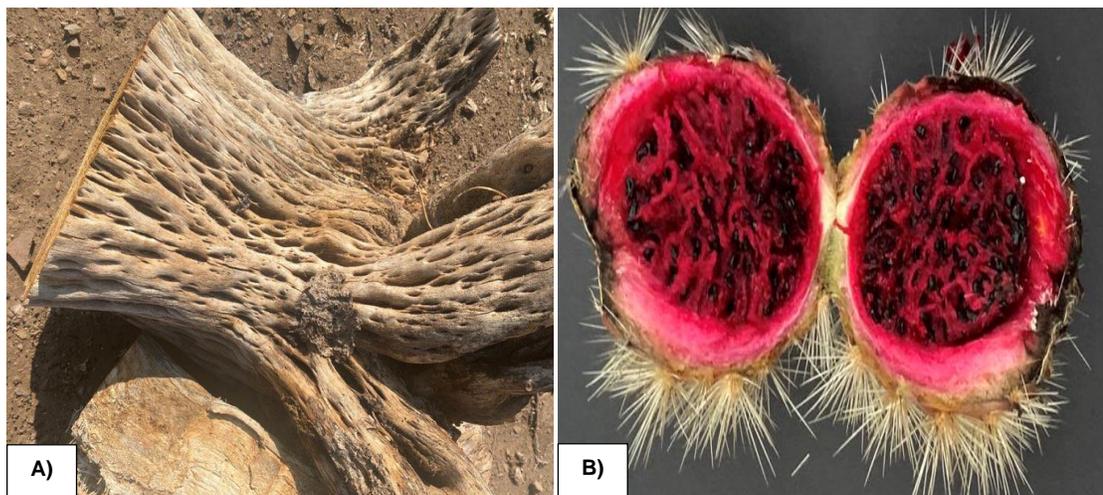
Aquellas poblaciones que se reducen a causa de actividades humanas por la transformación de su hábitat, sobreexplotación, interacciones con especies invasoras, efectos de la contaminación o cualquier situación que se analice y se estime es necesario protegerlas, son consideradas como especies en riesgo de extinción (CONABIO, 2022). Según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 publicada en el Diario Oficial de la Federación y actualizada en 2019, *Pachycereus weberi* no está catalogada como en riesgo de ningún tipo (SEMARNAT, 2010).

Por otra parte, de acuerdo con la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), *P. weberi* está evaluada como “Preocupación Menor”, debido a su amplia distribución a nivel local, aunque se estima que una de las amenazas a las que se podría enfrentar es a la pérdida de su hábitat, ya que está siendo destruida en algunas zonas, por la ganadería y la agricultura a pequeña escala (Hernández et al., 2013). Cierta

acción de preservación que se conoce, es porque la especie se conserva dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (Téllez-Valdés & Dávila, 2003).

### 2.5 Usos de *Pachycereus weberi*

En las localidades donde crece *P. weberi*, la mayoría de estas plantas silvestres, se utilizan para dar sombra, los tallos se suelen emplear como forraje para el ganado, así como la madera para construir techos o algunas artesanías; las flores y frutos sirven como alimento para mamíferos, aves e insectos; además los frutos son consumidos por los pobladores en fresco o en agua preparada, en algunos lugares las semillas son molidas y se añaden en la preparación de mole o como nixtamal para hacer tortillas (Arias & Terrazas, 2009; Barrios-Giles et al., 2020). Hasta la fecha algunas comunidades rurales cosechan los frutos de manera tradicional y como alimento de temporada.



**Figura 3.** A) Madera de tallos adultos. B) Frutos maduros de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia.

### 2.6 Importancia social

Las comunidades rurales suelen hacer uso de ecosistemas naturales y de la biodiversidad para contribuir a su conservación, esto para satisfacer las necesidades básicas de los hogares campesinos (Rendón-Sandoval, 2020). En la región Mixteca Baja de México, los pobladores consumen de manera tradicional frutos, tallos y semillas de algunas cactáceas columnares (Luna-

Morales & Aguirre, 2001). En particular, la principal importancia de las plantas de *P. weberi* recae sobre la costumbre de algunas localidades de recolectar los frutos comestibles cuando se aproxima la temporada. De acuerdo con Pérez-Negrón y Casas (2007), en la comunidad de Santiago Quiotepec, Oaxaca, 88 % de los hogares consumen frutos de esta especie, cosechados de poblaciones silvestres y también se comercializan en los mercados locales. Además de manera indirecta, se cuida a la especie mediante su propagación, sembrando la especie para delimitar grandes extensiones de terrenos como cercas vivas (Barrios-Giles et al., 2020).

## **2.7 Importancia nutricional y nutracéutica**

En la actualidad, el consumo de alimentos que aportan gran cantidad de nutrientes, potencialmente activos y propiedades nutracéuticas, en especial en frutos, es de suma importancia (Nazareno, 2014), debido a que éstos son consumidos como parte de una dieta equilibrada y acompañados de un estilo de vida saludable, buscando la posibilidad de mejorar la salud y prevenir ciertas enfermedades (Wildman & Kelley, 2007).

Específicamente, los nutracéuticos son sustancias naturales bioactivas presentes en los alimentos que proporcionan un efecto favorable a la salud, por lo general, son aislados y/o purificados mediante métodos no desnaturalizantes; este término fue propuesto en 1989 a partir de las palabras “nutrición” y “farmacéutico”, por el Dr. Stephen DeFelice, presidente de la Fundación para la Innovación en Medicina (Cruzado & Cedrón, 2012; Hoti et al., 2022). Sin embargo, el limitado conocimiento de dichos atributos en algunos frutos de cactáceas principalmente de especies poco conocidas, posiblemente por ser endémicas o en peligro de extinción, explica su baja demanda económica, provocado por el desconocimiento de sus propiedades por la mayoría de los consumidores. No existe información sobre el contenido de componentes nutracéuticos y nutricionales de frutos de poblaciones silvestres de *P. weberi*, salvo lo recientemente publicado por Sandate-Flores et al. (2020) en extractos y jugos clarificados de frutos sin semillas de dicha especie, provenientes de un

campo de cultivo en Ahuatlán, Puebla, México, quienes reportaron la presencia de algunos ácidos fenólicos (gálico, p-cumárico y cafeico), así como su actividad antioxidante y altos contenidos de Ca (69.99 mg 100 g<sup>-1</sup>), K (517.75 mg 100 g<sup>-1</sup>), Mg (102.26 mg 100 g<sup>-1</sup>) y P (57.78 mg 100 g<sup>-1</sup>), como los más relevantes de otros minerales presentes; además el extracto de jugo clarificado presentó actividad biológica al inhibir *in vitro* el crecimiento de una línea cancerígena (CaCo-2), por lo que, estos frutos podrían representar un excelente recurso natural con constituyentes biológicamente activos y potencial nutracéutico y nutricional.

## **2.8 Metabolismo CAM**

*Pachycereus weberi* se encuentra adaptada a las zonas áridas y semiáridas, presenta el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) proceso fisiológico de algunas plantas como las cactáceas, el cual permite que estas puedan sobrevivir a las condiciones del ambiente donde se desarrollan (Martínez-Moreno et al., 2014).

Dentro de las características generales de estas especies, presentan tejidos fotosintéticos suculentos y la incorporación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico lo realizan durante la noche para generar un compuesto de cuatro átomos de carbono (ácido málico), el cual se almacena en las vacuolas de las células del clorenquima. Este tipo de plantas durante el día cierran los estomas para minimizar la transpiración y llevar a cabo la descarboxilación del ácido málico, permitiendo la entrada de CO<sub>2</sub> al ciclo de Calvin. Esto se puede llevar a cabo gracias a dos enzimas PEP y RuDP-carboxilasas en las mismas células fotosintéticas, pero en diferentes momentos llevan a cabo sus funciones; en la noche actúa la enzima la PEP-carboxilasa, mientras que en el día es la RuDP-carboxilasa o mejor conocida como RubisCO. Este proceso provoca mayor gasto de energía para la síntesis de azúcares, además de la lenta incorporación del CO<sub>2</sub> atmosférico, pero optimiza la pérdida de agua a través de la baja transpiración (González-Mendrano, 2012; Martínez-Moreno et al., 2014), lo que garantiza la supervivencia de estas especies bajo condiciones extremas.

### III. JUSTIFICACIÓN

El estudio nutracéutico y nutricional de algunas especies endémicas del país, suele ser escaso, por lo tanto, existen pocos estudios sobre dicho conocimiento de algunos frutos de cactáceas subutilizados, como sucede con los frutos de *Pachycereus weberi*.

En consecuencia, es recomendable ampliar las investigaciones sobre especies subutilizadas para potenciar sus atributos nutracéuticos y nutricionales, así las comunidades locales donde crecen estas plantas, puedan integrarlas en sus prácticas agrícolas y dietas, y generar conciencia tanto a nivel local como global. La información como resultado de futuras investigaciones contribuirá a promover su preservación y revalorización de esta especie, gracias a sus beneficios.

### IV. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1 Sitios de recolecta del material vegetal

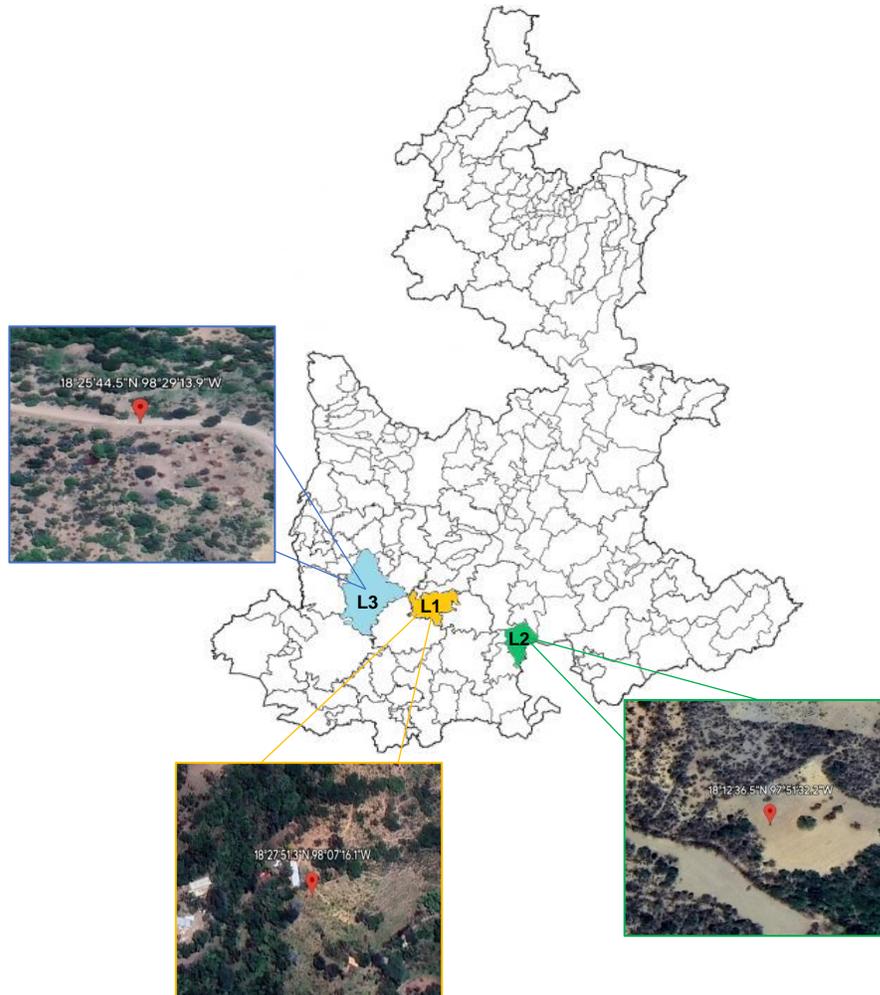
Las muestras vegetales se recolectaron en tres localidades ubicadas en diferentes municipios pertenecientes a la Región Mixteca Poblana.

**Localidad 1:** Cerro Gordo (L1) situada en el Municipio de Cuayuca de Andrade en el estado de Puebla, México (18° 27' 51.3" N, 98° 07' 16.1" W, altitud de 1447 m), presenta un clima cálido subhúmedo con lluvia de verano, el ecosistema que predomina es de tipo selva baja caducifolia asociada a vegetación secundaria arbustiva (INEGI, 2021).

**Localidad 2:** Totoltepec de Guerrero (L2), cabecera del mismo municipio, en el estado de Puebla (18° 12' 36.5" N 97° 51' 32.2" W, altitud de 1348 m). La localidad se caracteriza por un clima semicálido subhúmedo con lluvia de verano (INEGI, 2021).

**Localidad 3:** Xaltianguis (L3) ubicada en el Municipio de Izúcar de Matamoros, estado de Puebla (18° 25' 44.5" N, 98° 29' 13.9" W, altitud de 1123 m). La

localidad se caracteriza por un clima cálido subhúmedo con lluvia de verano, la vegetación presente es de tipo selva baja caducifolia (INEGI, 2021).



**Figura 4.** Ubicación de las localidades de muestreo del material vegetal ubicadas en los tres municipios del estado de Puebla. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Características edáficas de los sitios de recolecta

### 4.2.1 Análisis fisicoquímico del suelo

Se analizaron algunas características edafológicas de muestras compuestas de suelo de las tres localidades donde se recolectaron los frutos (Cuadro 2), estas se tomaron al azar, a una profundidad de 0 a 30 cm, los resultados se

interpretaron de acuerdo con los valores de referencia de Castellanos et al. (2000).

**Cuadro 2.** Características físicas y químicas del suelo de las tres localidades de recolecta pertenecientes la Mixteca Poblana.

Variable	Localidad 1		Localidad 2		Localidad 3	
	mg kg <sup>-1</sup>	Interpretación*	mg kg <sup>-1</sup>	Interpretación	mg kg <sup>-1</sup>	Interpretación
pH*	7.28	Neutro	8.02	Mod. alcalino	7.88	Mod. alcalino
C. E.*	0.47	Bajo (suelo libre de sales)	0.28	Bajo (suelo libre de sales)	1.59	Medio (suelo muy bajo en sales)
M. O.*	1.48	Medio	1.08	Mod. bajo	3.63	Muy alto
N-NO <sub>3</sub>	51.30	Muy alto	35	Alto	33.30	Alto
P	18.41	Medio	11.30	Mod. bajo	106.90	Muy alto
K	402	Mod. alto	586	Mod. alto	2720	Muy alto
Ca	1355	Medio	3378	Muy alto	6382	Muy alto
Mg	358	Mod. alto	569	Alto	1600	Muy alto
Fe	8.02	Mod. bajo	3.64	Bajo	8.32	Mod. bajo
Cu	1.70	Mod. alto	0.56	Mod. bajo	0.50	Bajo
Zn	1	Mod. bajo	1.24	Mod. bajo	3.05	Mod. alto
Mn	24.30	Alto	6.20	Mod. bajo	12.43	Mod. alto
B	1.44	Medio	1.26	Medio	4.97	Muy alto

\*Interpretación de acuerdo con los valores de referencia de Castellanos et al. (2000). pH: valor reportado en escala de 1 al 14, C. E.: valor reportado en dS m<sup>-1</sup>, M. O.: valor reportado en %, Mod.: moderadamente.

**L1:** El suelo presentó una textura franco arenoso, que por sus características pertenece a un suelo de textura gruesa con 64 % de arena, 25.3 % de limo, 10.7 % de arcilla y una densidad aparente de 1.31 g cm<sup>-3</sup>.

**L2:** La muestra presentó una textura franco arenoso, que por sus características pertenece a un suelo de textura gruesa con 60 % de arena, 31.3 % de limo, 8.7 % de arcilla y una densidad aparente de 1.37 g cm<sup>-3</sup>.

**L3:** El suelo presentó una textura franco arenoso, debido a sus características pertenece a un suelo de textura gruesa con 68 % de arena, 25.3 % de limo, 6.7 % de arcilla y una densidad aparente de 1.14 g cm<sup>-3</sup>.

#### 4.2.2 Condiciones ambientales

Se tomaron los datos de las condiciones ambientales de tres Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's) pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), para describir las condiciones diurnas y nocturnas del mes de mayo y del día de cosecha de los frutos (Cuadro 3), elegidas por la cercanía entre los municipios donde se recolectó el material vegetal.

**Cuadro 3.** Condiciones climáticas (diurnas, nocturnas y del momento de la cosecha), de las estaciones meteorológicas cercanas a cada localidad de interés para la investigación.

Variables	EMA 1			EMA 2			EMA 3		
	Día	Noche	Cosecha	Día	Noche	Cosecha	Día	Noche	Cosecha
T <sub>μ</sub> (°C)	22.1	15.83	23.42	25.26	18.02	30.98	29.53	24.44	25.78
T <sub>min</sub> (°C)	10	10.1	22.7	11.5	11.7	30.6	15.4	15.3	23.7
T <sub>máx</sub> (°C)	30.6	23.9	23.9	34.5	25.9	31.2	39	30.7	27.4
RS (W/m <sup>2</sup> )	494.22	0.01	960.2	465.09	0.01	405	867.87	0.01	867.8
HR (%)	42.71	67.87	32	41.79	68.86	25.71	30.3	41.99	32.86

EMA: Estación Meteorológica Automatizada, T<sub>μ</sub>: temperatura media, T<sub>min</sub>: temperatura mínima, T<sub>máx</sub>: temperatura máxima, RS: radiación solar y HR: humedad relativa.

La base de datos de la EMA 1, de la Universidad Tecnológica de Tecamachalco, se consideró para la **Localidad 1**, de donde se promediaron las condiciones del momento de cosecha en un intervalo de 60 min (10:30 a 11:30 a.m.) del 09 de mayo de 2023. Para la **Localidad 2** se empleó la información de EMA 2, ubicada en Tehuacán Puebla; el momento de cosecha de los frutos fue de 2:40 a 3:40 p.m. del día 09 de mayo de 2023. Para la **Localidad 3** se utilizaron los datos de las condiciones climáticas de la EMA 3 de la Sierra de Huautla (Municipio de Tepalcingo, Morelos), reportadas de 8:00 a 9:00 a.m. del día 13 de mayo de 2023.

### **4.3 Certificación taxonómica**

Se realizó la recolecta de tallos, flores y frutos en los meses de abril de 2022 y mayo de 2023 para herborizar muestras representativas de cactáceas silvestres pertenecientes al género *Pachycereus*, ubicadas en las localidades antes mencionadas.

De las muestras recolectadas se tomó una porción apical de tallo de 15 cm de longitud y una porción media de la planta, mediante un corte transversal de 3 cm de espesor. Posteriormente, se eliminó la mayor parte del parénquima del ápice y parte media del tallo raspando con una navaja, pero sin llegar a la epidermis. Las flores se cortaron a la mitad siguiendo el plano de simetría y cuidando que una parte contuviera el estilo y estigma. El fruto también se cortó a la mitad y se despulpó, las semillas se guardaron en bolsas de papel. A todos los tejidos se les colocó sal para agilizar la pérdida de agua, para luego preparar las muestras en prensas botánicas y se colocaron en una secadora de ejemplares de herbario con focos eléctricos, durante 10 d hasta que las muestras quedaron completamente secas (López-Ríos & Rosas-López, 2002).

Para la certificación taxonómica, el curador del herbario el Maestro en Ciencias Antonio Cortés Jiménez empleó las claves taxonómicas de Bravo-Hollis, (1978); los ejemplares quedaron registrados y resguardados en el Herbario “Jorge Espinosa Salas” del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

### **4.4 Material vegetal**

Al existir poca información sobre los índices de cosecha de los frutos de *P. weberi*, se consideró la fase de madurez de consumo de acuerdo a Anderson (2001) quien señala que ésta se alcanza cuando el epicarpio se abre en cuatro partes y la pulpa queda expuesta, por lo tanto, se recolectaron (mayo del 2023) frutos abiertos (madurez de consumo) para evaluar la mayoría de las variables (características físicas: peso total del fruto (PTF), peso del mesocarpio y epicarpio (PM, PE) y porcentaje de mesocarpio y epicarpio (POM y POE), grosor de

epicarpio (GE), todas las variables del análisis mineral, nutricionales, componentes nutraceuticos y la capacidad antioxidante) y frutos cerrados (madurez de preconsumo) para la evaluación únicamente de algunas variables físicas (diámetro ecuatorial (DE), longitud (LON), índice de redondez (Ir), grosor (GES) y peso de espinas (PES). A los frutos abiertos se les eliminó la cáscara, dejando únicamente la pulpa con las semillas, finalmente, se almacenaron en un congelador horizontal (FFC0923DW, FRIGIDAIRE, USA) a -20 °C hasta su análisis.

#### **4.5 Caracterización física**

Se emplearon 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos cerrados (madurez de preconsumo) como unidad experimental. Se les eliminaron las espinas para medir el diámetro ecuatorial, longitud y el índice de redondez (relación longitud y diámetro ecuatorial), dichos resultados se utilizaron para determinar las formas de los frutos; donde los valores de uno se consideraron como frutos redondos, menores a uno como ovalados y mayores a uno como alargados (Martínez-Bolaños et al., 2008, López-Herrera et al., 2018). Las espinas se pesaron y se midió el grosor con un vernier digital (HER-411, Steren, MEX). En 15 frutos por localidad (cinco cactáceas columnares como repetición con tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental) se determinó el peso total del fruto (con espinas), peso del epicarpio (cáscara) y peso del mesocarpio (pulpa) con semillas en una balanza electrónica (Scout™ Pro SP2001, Ohaus®, USA), se determinó el porcentaje de epicarpio y mesocarpio, además con un vernier se midió el grosor del epicarpio.

#### **4.6 Cuantificación de minerales**

Se empleó la pulpa con las semillas de 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental, para posteriormente deshidratarla en una cámara de secado por convección (ED023UL-120V, Binder World, USA) a 60 °C

por 20 h. Se molió la pulpa seca en un procesador de alimentos (NB-101S, Nutribullet®, USA) y las muestras se almacenaron en bolsas de papel hasta su análisis.

Los elementos esenciales cuantificados fueron P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999). Se determinó la concentración de estos elementos en un Espectrofotómetro de Emisión Atómica de Plasma por Inducción Acoplada (ICP-AES) (Liberty II, Varian Inc., USA). La concentración de N se determinó por el método micro Kjeldahl. Todos los valores fueron reportados en peso seco (p.s.). Para la comparación de datos con investigaciones similares, se realizó una conversión de peso seco a peso fresco.

#### **4.7 Análisis fisicoquímico**

Se empleó la pulpa con las semillas de 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental. Se midió el pH con un potenciómetro (HI 2211, Hanna Instruments, USA) de una solución de la muestra molida y filtrada de 5 g de pulpa con semillas y 50 mL de agua destilada. De cada solución por muestra se tomó una alícuota de 10 mL para determinar la acidez titulable (AT) con una solución de NaOH 0.01 N, previamente valorada con biftalato de potasio. El contenido de azúcares solubles totales (AST) se determinó por el método de antrona propuesto por Witham et al. (1971) y los valores se expresaron en peso seco. Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron con un refractómetro (N1, ATAGO, JAPAN) (0-32 %) y los resultados se expresaron en grados Brix.

#### **4.8 Análisis proximal**

El análisis se realizó en la pulpa seca de 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental, empleando los métodos descritos por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), el porcentaje de humedad (925.09) se obtuvo por secado hasta peso constante a

60 °C; las cenizas (923.03) se sometieron en una mufla a 600 °C hasta peso constante; los lípidos (920.39C) se determinaron utilizando un extractor tipo Soxhlet; para el porcentaje de proteínas (984.13) se aplicó el método de Kjeldahl donde se utilizó el factor de conversión (6.25) de nitrógeno a proteínas en todas las muestras; la fibra cruda (962.09) se determinó después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y posteriormente se calcinó el residuo; el porcentaje de carbohidratos (CAR) se calculó por diferencia con la fórmula: % CAR = 100 - (H + CEN + LI + PRO + FC), donde H: humedad, CEN: cenizas, LI: lípidos, PRO: proteínas y FC: fibra cruda (Audu & Aremu, 2011). El valor energético se calculó mediante los factores promedio de Atwater de acuerdo a la AOAC (2005), que representan la energía metabolizable de lípidos (9 kcal g<sup>-1</sup>), proteínas (4 kcal g<sup>-1</sup>) y carbohidratos (4 kcal g<sup>-1</sup>). El resultado se expresó en kcal aportados en 100 g de pulpa seca del fruto. Todos los valores fueron reportados en peso seco (p.s.). Para la comparación de datos con investigaciones similares, se realizó una conversión de peso seco a peso fresco.

#### **4.9 Cuantificación de nutraceuticos**

Se realizó la cuantificación previa de los componentes nutraceuticos con una muestra compuesta de 30 frutos en madurez de consumo (abiertos) provenientes únicamente de la Localidad 3 recolectados en el mes de mayo del 2022, utilizando tres disolventes diferentes (metanol, etanol y acetona en una proporción de 80 % v/v cada uno) para seleccionar el disolvente de mayor rendimiento de extracción de los metabolitos secundarios, con la finalidad de considerarlo como óptimo para el análisis final. Todos los valores fueron reportados en peso fresco (p.f.).

##### **4.9.1 Preparación de extracto**

Se empleó la pulpa con las semillas de 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental. Para la cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales (CFS), flavonoides (FLA) y la actividad antioxidante

(AA) por el método ABTS y FRAP, se preparó el extracto acetónico con base en los resultados de la extracción previa, de acuerdo con el método propuesto por Hernández-Ramos et al. (2020) con modificaciones. Se maceró 1 g de pulpa con semillas en 10 mL de acetona a 80 % (v/v), la mezcla se sonicó por 10 min. El sobrenadante se guardó y el residuo se sometió a otras dos extracciones. Los sobrenadantes se juntaron, filtraron y aforaron a 25 mL con acetona a 80 % (v/v). Mientras que para la cuantificación de betalaínas totales (BT) se realizó el mismo procedimiento de extracción en el mesocarpio (pulpa con semillas) y en el epicarpio (cáscara) de los frutos y como disolvente se eligió al metanol a 80 % (v/v) por su mayor rendimiento en la extracción previa.

#### **4.9.2 Cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales**

Se utilizó el método descrito por Singleton y Rossi (1965) con modificaciones. Se preparó una mezcla con 0.1 mL del extracto (acetona 80 % v/v), 0.1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1 N), 4.5 mL de agua destilada y 0.3 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 2 % (p/v). La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente y en oscuridad durante 2 h. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA) a 760 nm. El contenido de compuestos fenólicos solubles totales se determinó a partir de una curva estándar de ácido gálico ( $y = 0.0012x - 0.0162$ ;  $R^2 = 0.980$ ). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso seco (mg EAG 100 g<sup>-1</sup> p.s.).

#### **4.9.3 Cuantificación de flavonoides**

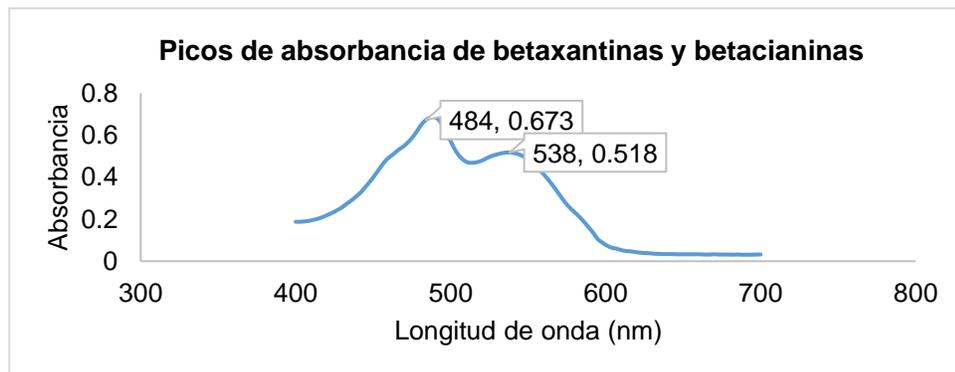
Se realizó la cuantificación de flavonoides de acuerdo con la metodología propuesta por Chang et al. (2002). Se agregaron 0.5 mL del extracto previamente preparado (acetona 80 % v/v), 1.5 mL de etanol a 95 % (v/v), 0.1 mL de AlCl<sub>3</sub> a 10 % (p/v), 0.1 mL de CH<sub>3</sub>COOK (1 M) y 2.8 mL de agua destilada; la mezcla se incubó durante 30 minutos. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA) a 415 nm. La concentración de flavonoides se determinó a partir de una curva estándar de quercetina ( $y = 0.0152$

$x - 0.0036$ ;  $R^2 = 0.996$ ). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de quercetina por 100 g de peso seco (mg EQ 100 g<sup>-1</sup> p.s.).

#### 4.9.4 Cuantificación de betalaínas totales

Se cuantificaron las betalaínas totales de acuerdo con la metodología propuesta por Stintzing et al. (2003). Se tomaron 4 mL del extracto metanólico (80 % v/v) y se leyó a 483 nm y 538 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA). La concentración se determinó mediante la siguiente fórmula:  $B \text{ [mg g}^{-1}] = (A \times FD \times PM \times V) / (\epsilon \times L \times P)$ , donde: B = concentración de betaxantinas o betacianinas, A = absorbancia a 483 nm (betaxantinas) o 538 nm (betacianinas), FD = factor de dilución, PM = peso molecular (550 g mol<sup>-1</sup> para betanina y 308 g mol<sup>-1</sup> para indicaxantina), V = volumen final del extracto (mL),  $\epsilon$  = coeficiente de extinción molar (60 000 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> para betanina y 48 000 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> para indicaxantina), L = longitud de la celda (1 cm), P = peso de la muestra (g). Los resultados en el mesocarpio se expresaron como contenido de betalaínas totales por cada 100 mg de peso seco (mg 100 g<sup>-1</sup> p.s.); en el caso del epicarpio se expresó en peso fresco (mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.).

Además, en una muestra se analizó la presencia de betaxantinas y betacianinas a través de un barrido de absorbancia en un espectrofotómetro para corroborar que estos frutos contienen ambos tipos de pigmentos.



**Figura 5.** Espectro de absorción del barrido de una muestra a 484 nm para betaxantinas y 538 nm para betacianinas.

#### **4.9.5 Cuantificación de vitamina C**

Para determinar la concentración de vitamina C (VIT) se empleó la pulpa con las semillas de 15 frutos por localidad, donde se tomaron como repetición cinco cactáceas columnares y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental, de acuerdo con el método propuesto por Burdurlu et al. (2006) con modificaciones. Se maceró y filtró 1 g de pulpa con semillas en 10 mL de ácido oxálico 0.4 % (p/v). Posteriormente, en un matraz de aforo se agregaron 2 mL del extracto previamente preparado, 2 mL de buffer de acetatos (pH = 4.1, ácido acético glacial 5 % (v/v): acetato de sodio a 5 % (p/v)), 3 mL de 2,6-dicloroindofenol y 15 mL de xileno. La mezcla se transfirió a un embudo de separación y se eliminó la fase acuosa. Se eliminó la humedad del extracto con la adición de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro. Se leyó la absorbancia a 500 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA). La concentración de vitamina C se determinó a partir de una curva estándar de ácido ascórbico en un intervalo de 0 - 80 mg mL<sup>-1</sup> ( $y = -0.0036 x + 0.3344$ ;  $R^2 = 0.990$ ). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de peso seco (mg AA 100 g<sup>-1</sup> p.s.).

#### **4.10 Determinación de actividad antioxidante**

##### **4.10.1 Método ABTS**

Se utilizó el método descrito por Wu et al. (2006). Se prepararon dos soluciones, la primera del reactivo ABTS (2,2-Azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico), Sigma-Aldrich) 7 mM en agua destilada y la segunda de persulfato de potasio 2.45 mM, se combinaron en una proporción de 1:1, se dejó reposar la mezcla durante 16 h en la oscuridad para permitir la generación del radical libre ABTS<sup>•+</sup>; posteriormente, se diluyó con etanol anhidro a una absorbancia de 0.70 ( $\pm 0.05$ ), la cual se leyó con un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA) a una longitud de onda de 734 nm. Para determinar la capacidad antioxidante, se mezclaron 30  $\mu$ L del extracto acetónico (80 % v/v) y 3 mL de la solución del radical ABTS<sup>•+</sup> y se incubó en oscuridad por 30 min. Se leyeron las

muestras a la misma absorbancia que el radical libre. El porcentaje de inhibición del radical se calculó mediante la siguiente fórmula:  $\text{Inhibición (\%)} = ((A_i - A_f) / A_i) \times 100$ , donde  $A_i$  es la absorbancia inicial del radical libre a 734 nm y  $A_f$  es la absorbancia final de la reacción con la muestra. Se cuantificó la capacidad antioxidante a partir de una curva estándar de trolox (ácido 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico, Sigma-Aldrich) ( $y = 32.369 x + 3.1669$ ;  $R^2 = 0.985$ ). Los resultados se expresaron en mM de equivalentes de trolox por 100 g de peso seco (mM ET 100 g<sup>-1</sup> p.s.).

#### **4.10.2 Método FRAP**

Se empleó el método descrito por Benzie y Strain (1996) con modificaciones. El reactivo FRAP se preparó con 2.5 mL de buffer de acetato 300 mM (pH = 3.5), 0.25 mL de solución 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridil-estriazina, Sigma-Aldrich) en HCl 40 mM y 0.25 mL de FeCl<sub>3</sub> 20 mM. Posteriormente, se mezclaron 100 µL del extracto acetónico (80 % v/v), 3 mL de reactivo FRAP y 300 µL de agua destilada, se incubó la mezcla en oscuridad en baño María a 37 °C por 30 min. Se leyó la absorbancia de la mezcla en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA), a una longitud de onda de 593 nm. La actividad antioxidante se cuantificó a partir de una curva estándar de trolox (ácido 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico, Sigma-Aldrich) ( $y = 1.0375 x - 0.0232$ ;  $R^2 = 0.989$ ). Los resultados se expresaron en mM de equivalentes de trolox por 100 g de peso seco (mM ET 100 g<sup>-1</sup> p.s.).

#### **4.11 Análisis estadístico**

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con tres tratamientos (localidades), cinco repeticiones que correspondieron a una cactácea columnar de *P. weberi* por localidad, donde se recolectaron tres frutos cerrados (madurez de preconsumo) y tres frutos abiertos (madurez de consumo) como unidad experimental. Se realizó un análisis de covarianza bajo un diseño experimental completamente al azar de todas las variables evaluadas y se consideraron como covariables la temperatura media ( $T_\mu$ ) y la radiación solar (RS) del momento de

cosecha de los frutos, así como el peso total de los frutos (PFT). Los datos de las variables evaluadas se reportaron como la media general  $\pm$  error estándar de 15 repeticiones. El modelo aplicado de ANCOVA corresponde a:  $Y = \mu + T_i + \beta (x_{ij} - \bar{x} \dots) + e$ . Dónde:  $T_i$ : el efecto producido por el tratamiento  $i$ -ésimo,  $\beta$ : el coeficiente de regresión lineal,  $x_{ij}$ : el valor de la covariable correspondiente a la observación  $y_{ij}$ ,  $\bar{x} \dots$ : la media de la covariable,  $e$ : error. Bajo los siguientes supuestos: la relación entre X y Y debe ser lineal, homogeneidad de las pendientes e independencia entre la covariable (X) y el tratamiento (Lara-Porras, 2001; Pérez-Rodríguez et al., 2014).

Posteriormente, se analizaron las variables que presentaron diferencias significativas entre las localidades y se realizó una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) usando el software SAS versión 9.0, los datos de las variables evaluadas se reportaron como la media  $\pm$  error estándar de cinco repeticiones que corresponden a cada localidad. Con los grupos de variables evaluadas en los frutos (físicas, minerales, nutricionales y nutracéuticas) se realizó un análisis de componentes principales (Díaz-Monroy, 2007; Cordella, 2012) mediante el software estadístico Minitab® 19, de donde se seleccionaron las variables con mayor peso en la descripción de la variabilidad para conducir a un análisis de correlación canónica (Díaz-Monroy, 2007; Badii y Castillo, 2007; Ponce-Renova, 2020) usando el software SAS versión 9.0. Con ello, se determinó la asociación entre grupos de variables.

Para la evaluación preliminar de los nutracéuticos se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con tres disolventes diferentes (metanol, etanol y acetona 80 % v/v) como tratamientos, con cuatro repeticiones por duplicado, los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) utilizando el software SAS versión 9.0, los datos se reportaron como la media  $\pm$  error estándar.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Certificación taxonómica

Se logró certificar taxonómicamente las muestras de cactáceas silvestres como *Pachycereus weberi* de acuerdo con las claves taxonómicas de Bravo-Hollis, (1978). Se registraron y resguardaron con los números de folio: **36232** (Localidad 1), **36233** (Localidad 2) y **36082** (Localidad 3) en el Herbario “Jorge Salas Espinosa” del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, registrado en el Index Herbariorum del New York Botanical Garden, y registrado en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

### 5.2 Características físicas de los frutos

De acuerdo con el análisis de covarianza se encontró que no hubo efecto significativo en el origen de los frutos silvestres de *Pachycereus weberi* sobre sus características físicas, excepto en el índice de redondez, grosor de espinas y peso del epicarpio (Cuadro 4). Además, el peso total del fruto contribuyó a la variabilidad de las muestras en el diámetro ecuatorial, el peso y el porcentaje de mesocarpio (pulpa) y de epicarpio (cáscara).

**Cuadro 4.** Análisis de covarianza de las características físicas de los frutos silvestres de *Pachycereus weberi* provenientes de tres localidades de la Mixteca Poblana.

Variables	Localidades	Covariables		
		T $\mu$	RS	PTF
<sup>z</sup> Diámetro ecuatorial (cm)	4.67 $\pm$ 0.12	0.618	0.760	0.032*
<sup>z</sup> Longitud (cm)	5.65 $\pm$ 0.17	0.416	0.163	0.105
<sup>z</sup> Índice de redondez	1.21 $\pm$ 0.04**	0.408	0.733	0.804
<sup>z</sup> Peso de espinas (g)	2.57 $\pm$ 0.35	0.778	0.690	0.555
<sup>z</sup> Grosor de espinas (mm)	0.16 $\pm$ 0.01**	0.392	0.936	0.547
<sup>y</sup> Grosor de epicarpio (mm)	7.23 $\pm$ 0.28	0.475	0.949	0.241
<sup>y</sup> Peso de mesocarpio (g)	37.30 $\pm$ 3.02	0.698	0.338	0.0001*

YPeso de epicarpio (g)	46.88 ± 2.94**	0.698	0.336	0.0001*
YMesocarpio (%)	43.86 ± 1.24	0.861	0.304	0.046*
YEpicarpio (%)	56.14 ± 1.24	0.861	0.304	0.046*

Los datos se expresan como la media general ± error estándar de 15 repeticiones. Z: variables evaluadas en frutos cerrados (madurez de preconsumo), Y: variables evaluadas en frutos abiertos (madurez de consumo), Tμ: temperatura media, RS: radiación solar, PTF: peso total de fruto. \*\*: Existen diferencias significativas entre las localidades; \*: Existe efecto de la covariable sobre la variable respuesta.

Los resultados de diámetro ecuatorial y longitud del fruto de la presente investigación fueron numéricamente similares a lo señalado por Barrios-Giles et al. (2020), quienes reportaron medias de 4.67 y 5.80 cm para las variables antes mencionadas, respectivamente; con una relación del índice de redondez promedio de 1.24 en frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades pertenecientes a la Cañada del Zopilote, en el estado de Guerrero. El peso y grosor de las espinas fueron consideradas variables importantes debido a que estos frutos presentan espinas setosas (Figura 7), es decir, que no se desprenden del pericarpio, independientemente del grado de madurez (Arias & Terrazas, 2009).



**Figura 6.** Fruto sin espinas (izquierda) y fruto con espinas (derecha) de *P. weberi*. Fuente: Elaboración propia.

El grosor promedio del epicarpio fue de 7.23 mm (Cuadro 4), no evaluado en los frutos de la misma especie, por lo que se consideró la comparación con frutos de

otras cactáceas como los cultivares de *Opuntia* sp., los valores promedios del grosor de epicarpio de tunas, xoconostles y xocotunas (4.60, 11.69 y 7.33 mm, respectivamente) (Monroy-Gutiérrez et al., 2017), el último valor fue numéricamente similar a lo encontrado en la presente investigación en los frutos de *P. weberi*; sin embargo, estas diferencias podrían deberse principalmente a la variabilidad genética por pertenecer a diferente género, así como a las condiciones climáticas y del suelo en donde se cultivaron.

La parte no comestible de estos frutos está ligeramente por arriba de 50 % de su totalidad (Cuadro 4), característica contraria a lo que ocurre en frutos de otras cactáceas columnares como es el caso de la pitaya. De acuerdo con Balderas et al. (2016) en los frutos de pitayas (*Stenocereus pruinosus*) el porcentaje de epicarpio (cáscara) es del 31.3 %, es decir, cerca de 70 % es pulpa. Sin embargo, Rosales-Bustamante et al. (2009) mencionaron que estas características favorables en el caso particular de las pitayas se deben en gran parte al proceso de domesticación, gracias a la selección y cultivo de los antiguos mixtecos, que en la actualidad continúa con la frecuente incorporación de nuevos cultivares desde las huertas antiguas abandonadas hacia las huertas familiares. Por lo tanto, es importante contribuir con investigaciones con objetivos similares para dar a conocer los beneficios que aportan los frutos de *P. weberi* y así comenzar a seleccionar aquellos materiales genéticos con mejores características e introducirlos a huertos familiares como ocurrió con la domesticación de *Opuntia* spp. y que comprendió la generación de las primeras huertas comerciales (Pimienta-Barrios, 1990).

### **5.3 Análisis mineral de los frutos**

No se encontró efecto significativo de las localidades en relación con la concentración de minerales en la pulpa de los frutos silvestres de *P. weberi*, excepto en el contenido de zinc (Zn), de acuerdo al análisis de covarianza. También se observó que la radiación solar influyó en la variabilidad del porcentaje de algunos elementos, como es el caso de nitrógeno (N) y el contenido de cobre

(Cu) (Cuadro 5). Velasco et al. (2001) señalaron que contenidos superiores en algunos elementos como N son típicos de plantas cultivadas expuestas a altas radiaciones solares, con una respuesta metabólica tendiente a reforzar el aparato fotosintético. Por otra parte, el papel específico del Cu al formar parte de los procesos metabólicos y enzimáticos críticos relacionados con la fotosíntesis y la respuesta al estrés oxidativo, permite que las plantas utilicen eficientemente la energía solar y se defiendan contra los posibles efectos dañinos de la radiación (Assunção et al., 2022).

Aunado a esto, la temperatura media ( $T\mu$ ) contribuyó a la variabilidad de las muestras en lo que respecta a la concentración del Zn. La temperatura puede afectar la solubilidad del Zn, de manera particular, temperaturas más altas pueden aumentar la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en el suelo, lo que podría influir en la liberación de este microelemento (Mengel & Kirby, 2000). Sin embargo, la relación específica entre la temperatura y la solubilidad del Zn, puede estar influenciada por fenómenos adicionales como la adsorción de este microelemento por carbonatos, ya que, son parcialmente responsables de la baja disponibilidad que ocurre principalmente en suelos calcáreos (Castellanos et al., 2000), donde ejemplares de *P. weberi* prefieren crecer (Linzaga-Román et al., 2011).

**Cuadro 5.** Análisis de covarianza de la cuantificación de minerales en los frutos silvestres de *Pachycereus weberi*.

Variables (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Localidades	Covariables		
		$T\mu$	RS	PTF
N (%)	3.05 ± 0.24	0.683	0.043*	0.526
P	240.04 ± 12.06	0.234	0.429	0.569
K	167.24 ± 10.77	0.242	0.937	0.856
Ca	81.98 ± 4.24	0.807	0.420	0.515
Mg	175.32 ± 5.31	0.068	0.246	0.494
S	206.23 ± 4.75	0.151	0.285	0.664
Fe	4.48 ± 1.24	0.743	0.912	0.749

Zn	1.64 ± 0.09**	0.017*	0.940	0.109
Mn	1.99 ± 0.16	0.403	0.163	0.220
Cu	0.68 ± 0.06	0.104	0.004*	0.241
B	1.52 ± 0.06	0.218	0.356	0.697
Mo	0.42 ± 0.09	0.893	0.614	0.916

Los datos se expresan como la media general ± error estándar de 15 repeticiones. T<sub>μ</sub>: temperatura media, RS: radiación solar, PTF: peso total de fruto. \*\*: Existen diferencias significativas entre las localidades; \*: Existe efecto de la covariable sobre la variable respuesta. Valores reportados en peso seco.

Los minerales son nutrientes inorgánicos esenciales no solamente en los vegetales, sino además desempeñan un papel vital en el funcionamiento adecuado del cuerpo humano, que se obtienen a través de los alimentos (Wild, 2020). En general, se observó que los frutos silvestres de *P. weberi* presentaron mayores concentraciones de fósforo, calcio, magnesio, azufre y manganeso (61.12, 21.04, 44.78, 52.66 y 0.51 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f., respectivamente), respecto a lo reportado en los frutos de otros cactus, como pitahayas de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) y roja (*H. ocamponis*), Hernández-Ramos et al. (2020) encontraron concentraciones menores de fósforo (19.43 y 14.66 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.), calcio (8.33 y 6.66 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.), magnesio (33.31 y 23.99 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.), azufre (13.88 y 14.66 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.) y manganeso (0.08 y 0.05 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.), respectivamente. Estas diferencias podrían deberse principalmente a factores como la variación genética entre géneros, el manejo agronómico y condiciones edafoclimáticas en las que se cultivaron, así como la estación de cosecha (Torres-Bojórquez et al., 2017).

## 5.4 Características nutricionales de los frutos

### 5.4.1 Propiedades fisicoquímicas y proximales

De acuerdo con el análisis de covarianza, se encontraron únicamente efectos significativos sobre los niveles de pH y los porcentajes de cenizas, proteínas y carbohidratos en relación con las localidades (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Análisis de covarianza de las características fisicoquímicas-proximales de los frutos silvestres de *Pachycereus weberi*.

Variables	Localidades	Covariables		
		T $\mu$	RS	PTF
pH	5.05 $\pm$ 0.12**	0.067	0.013*	0.562
AT (% ácido málico)	0.18 $\pm$ 0.02	0.070	0.008*	0.338
<sup>z</sup> AST (g 100 g <sup>-1</sup> )	38.93 $\pm$ 1.52	0.154	0.604	0.618
SST (°Brix)	13.31 $\pm$ 0.67	0.935	0.309	0.759
Humedad (%)	74.46 $\pm$ 0.58	0.523	0.484	0.375
<sup>z</sup> Cenizas (%)	2.11 $\pm$ 0.11**	0.870	0.936	0.312
<sup>z</sup> Lípidos (%)	13.38 $\pm$ 0.20	0.096	0.074	0.483
<sup>z</sup> Proteínas (%)	17.57 $\pm$ 0.91**	0.781	0.795	0.783
<sup>z</sup> Fibra cruda (%)	13.03 $\pm$ 0.44	0.537	0.756	0.520
<sup>z</sup> Carbohidratos (%)	28.37 $\pm$ 0.96**	0.848	0.649	0.442
<sup>z</sup> Valor energético (kcal 100 g <sup>-1</sup> )	304.16 $\pm$ 3.02	0.180	0.832	0.440

Los datos se expresan como la media general  $\pm$  error estándar de 15 repeticiones. AT: acidez titulable, AST: azúcares solubles totales, SST: sólidos solubles totales, T $\mu$ : temperatura media, RS: radiación solar, PTF: peso total de fruto. \*\*: Existen diferencias significativas entre las localidades; \*: Existe efecto de la covariable sobre la variable respuesta. <sup>z</sup>Valores reportados en peso seco.

Además, la radiación solar fue un factor clave que contribuyó a la variabilidad del pH y el porcentaje de acidez titulable de los frutos, esto podría deberse a la presencia de los ácidos orgánicos, en particular al ácido málico. Las cactáceas realizan el metabolismo ácido crasuláceo” (CAM), gracias a la diferencia en el proceso de fijación del CO<sub>2</sub> en comparación con otros vegetales de metabolismo diferente (Quiroz-González et al., 2018). En estas plantas la fijación del CO<sub>2</sub> se realiza durante la noche por la apertura de los estomas para sintetizar el ácido málico, y en las primeras horas del día cuando la temperatura y la radiación solar son menores se lleva a cabo una descarboxilación de este ácido por lo que se incrementan sus concentraciones (Quiroz-González et al., 2018; Mandujano-Piña et al., 2020); es importante mencionar que por cada molécula de CO<sub>2</sub> fijada por

una planta CAM se produce una molécula de ácido málico (Martínez-Moreno & Reyes-Matamoros, 2017).

### 5.5 Extracción preliminar de los componentes nutraceuticos

La cuantificación preliminar de los nutraceuticos se muestra en el Cuadro 7. La mayor concentración de compuestos fenolicos solubles se logró mediante la extracción con acetona (80 %) en comparación con los resultados obtenidos con etanol (80 %) y metanol (80 %). Respecto a la mayor extracción de los flavonoides, los mejores disolventes fueron acetona (80 %) y etanol (80 %), en comparación con la extracción con metanol (80 %), estas diferencias podrían deberse: a) la capacidad del disolvente por su polaridad para la extracción; b) al tipo de interacción de estos metabolitos con la matriz de alimento; c) a la naturaleza química de los compuestos fenolicos presentes; y d) al tamaño de la partícula (Soto-García & Rosales-Castro, 2016).

La óptima extracción de las betalainas totales (betacianinas + betaxantinas) se logró con metanol (80 %), lo que permitió obtener mejor concentración de estos metabolitos con respecto a lo obtenido con los disolventes restantes (Cuadro 7). Estas diferencias se deben principalmente a las polaridades de los disolventes empleados que permitieron su diferente solubilidad (García-Lucas et al., 2016), puesto que, estos pigmentos son moléculas más polares que los compuestos fenolicos.

**Cuadro 7.** Determinación del mejor disolvente para la mejor extracción de componentes nutraceuticos y actividad antioxidante en la pulpa de *P. weberi*.

Variables	Disolventes		
	Acetona (80 %)	Etanol (80 %)	Metanol (80 %)
Compuestos fenolicos solubles (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	352.62 ± 13.70 a	285.28 ± 5.42 b	267.67 ± 15.64 b
Flavonoides	16.45 ± 1.07a	14.05 ± 0.62 ab	13.27 ± 0.60 b

(mg EQ 100 g <sup>-1</sup> )			
Betalainas totales	8.54 ± 1.30 b	13.05 ± 0.36 b	19.25 ± 1.57 a
(mg 100 g <sup>-1</sup> )			
Betacianinas	3.89 ± 0.65 c	6.74 ± 0.19 b	10.08 ± 0.85 a
(mg 100 g <sup>-1</sup> )			
Betaxantinas	4.65 ± 0.65 b	6.31 ± 0.18 b	9.17 ± 0.72 a
(mg 100 g <sup>-1</sup> )			
AA por ABTS	3.82 ± 0.41 a	3.96 ± 0.54 a	2.97 ± 0.16 a
(mM ET 100 g <sup>-1</sup> )			
AA por FRAP	4.97 ± 0.30 a	3.92 ± 0.08 b	3.99 ± 0.24 b
(mM ET 100 g <sup>-1</sup> )			

Los datos se expresan como la media ± error estándar de cuatro repeticiones por duplicado, con valores reportados en peso fresco. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). AA: actividad antioxidante, EAG: equivalentes de ácido gálico, EQ: equivalentes de quercetina, ET: equivalentes de trolox (ácido 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico).

Entre los tres disolventes empleados para determinar la actividad antioxidante por el método de ABTS, no se encontraron diferencias significativas. En contraste, se observaron diferencias significativas en la determinación de la actividad antioxidante por el método FRAP, el extracto que mostró mayor capacidad antioxidante fue de acetona (80 %), en comparación con los extractos obtenidos con los disolventes restantes (Cuadro 7).

Es importante evaluar dicha actividad por diferentes métodos, puesto que, el potencial de una sustancia o compuesto para inhibir la oxidación de un sustrato puede depender de varios factores, como la naturaleza química del compuesto, la estructura del sustrato, las condiciones de reacción, la presencia de otros compuestos, entre otros (Soto-García & Rosales-Castro, 2016). El principio del método ABTS se basa en la generación *in situ* del radical ABTS mediante una reacción química (dióxido de manganeso, persulfato potásico) o a través de una reacción enzimática (peroxidasa, mioglobina); los antioxidantes neutralizan al radical mediante la transferencia de electrones u átomos de hidrógeno y mide la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica (Kuskoski et al.,

2005), mientras que el método FRAP mide la capacidad de los antioxidantes para reducir el complejo férrico incoloro (hierro-tripiridyl-triazina ( $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ)) al complejo ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ) de color intensamente azul en medio ácido (pH 3.6) (Benzie & Strain 1996), es decir, el agente reductor es una sustancia que transfiere electrones y el agente oxidante acepta dichos electrones (Gülçin, 2012).

## 5.6 Cuantificación de los componentes nutraceuticos de los frutos

De acuerdo con el análisis de covarianza se encontró que no hubo efecto significativo de las localidades sobre las características nutraceuticas, excepto en el contenido de betaxantinas en el epicarpio y la actividad antioxidante de la pulpa de los frutos por ambos métodos evaluados (ABTS y FRAP) (Cuadro 8). Sin embargo, ninguna de las covariables evaluadas en la presente investigación contribuyó a la variabilidad de las muestras.

Los nutraceuticos son productos que derivan del metabolismo secundario de las plantas y que brindan beneficios a la salud, ayudan a prevenir o tratar algunas enfermedades como la obesidad, los trastornos cardiovasculares, cáncer, osteoporosis, artritis, diabetes, colesterol, entre otras (Das et al., 2012; Tiwari et al., 2013). Dentro de los nutraceuticos se encuentran los compuestos fenolicos, estos proporcionan beneficios a la salud a través de los alimentos por sus beneficios en la disminucion o prevencion de enfermedades cronicas (Cereceres-Aragon et al., 2019). En los frutos de *P. weberi* se observó que la concentración de los compuestos fenolicos (263.80 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> p.f.) fue mayor con respecto a lo reportado en otras cactáceas como xoconostle y pitahaya. López et al. (2015) encontraron concentraciones de 224.32 y 231.37 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> p.f. en genotipos de xoconostles silvestres: *Opuntia matudae* (Rojo Sainero) y *O. sainaltense* (Chaveñito), respectivamente; y a las concentraciones reportadas en pitahayas cultivadas de pulpa blanca y roja (126.03 y 132.47 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> p.f., respectivamente) por Hernández-Ramos et al. (2020). Las diferencias numericas entre los frutos de *P. weberi*, xoconostles y pitahayas se podrían explicar

principalmente a que las plantas silvestres de algunas especies pueden ser potentes reservorios de metabolitos secundarios en comparación a las cultivadas debido a la influencia de las condiciones ambientales y a las características genéticas (Mocan et al., 2017).

**Cuadro 8.** Componentes nutracéuticos y actividad antioxidante de los frutos silvestres de *P. weberi* de tres localidades pertenecientes a la Mixteca Poblana.

Variables	Localidades	Covariables		
		T $\mu$	RS	PTF
<sup>z</sup> Compuestos fenólicos solubles (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	1038.23 $\pm$ 62.82	0.241	0.257	0.544
<sup>z</sup> Flavonoides (mg EQ 100 g <sup>-1</sup> )	24.34 $\pm$ 0.71	0.535	0.136	0.427
Betalaínas Totales <sup>z</sup> Mesocarpio (mg 100 g <sup>-1</sup> )	77.29 $\pm$ 5.15	0.841	0.309	0.617
	<sup>y</sup> Epicarpio 6.27 $\pm$ 0.58	0.329	0.814	0.959
Betacianinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )	<sup>z</sup> Mesocarpio 38.69 $\pm$ 2.34	0.987	0.112	0.396
	<sup>y</sup> Epicarpio 2.88 $\pm$ 0.28	0.383	0.931	0.891
Betaxantinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )	<sup>z</sup> Mesocarpio 38.60 $\pm$ 3.20	0.730	0.631	0.843
	<sup>y</sup> Epicarpio 3.39 $\pm$ 0.31**	0.322	0.602	0.822
<sup>z</sup> vitamina C (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	93.77 $\pm$ 5.17	0.292	0.768	0.685
<sup>z</sup> AA por ABTS (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	14.51 $\pm$ 1.11**	0.307	0.874	0.738
<sup>z</sup> AA por FRAP (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	11.53 $\pm$ 0.54**	0.998	0.877	0.518

Los datos se expresan como la media general  $\pm$  error estándar de 15 repeticiones. AA: actividad antioxidante, EAG: equivalentes de ácido gálico, EQ: equivalentes de quercetina, EAA: equivalentes de ácido ascórbico, ET: equivalentes de trolox, T $\mu$ : temperatura media, RS: radiación solar, PTF: peso total de fruto. \*\*: Existen diferencias significativas entre las localidades; \*: Existe efecto de la covariable sobre la variable respuesta. <sup>z</sup>Valores reportados en peso seco. <sup>y</sup>Valores reportados en peso fresco.

Recientemente, los flavonoides han adquirido gran interés e importancia para su estudio debido a las evidencias epidemiológicas sobre sus efectos correlacionados con la reducción de la incidencia y mortalidad por varias enfermedades degenerativas (Pacheco et al., 2021). De manera general, la concentración de flavonoides en los frutos de *P. weberi* fue menor en comparación con los compuestos fenólicos solubles, al respecto, Ramírez-Ramos et al. (2018) señalaron que en los frutos de cactáceas, las

concentraciones de flavonoides son más bajas que las de compuestos fenólicos, debido a la presencia de los primeros como parte de proantocianidinas (taninos condensados) (López et al., 2015).

La concentración promedio de vitamina C (23.93 EAA 100 g<sup>-1</sup> p.f.) observada en los frutos de la presente investigación fue mayor con respecto a lo reportado en frutos de otros cactus como el genotipo de xoconostle “Cuaresmeño blanco” (13.46 EAA 100 g<sup>-1</sup> p.f.) publicado por López et al. (2015); así como a lo reportado por Hernández-Ramos et al. (2020) en pitahayas de pulpa blanca (8.50 EAA 100 g<sup>-1</sup> p.f.) y roja (10.13 EAA 100 g<sup>-1</sup> p.f.). De acuerdo con López et al. (2015) estas diferencias numéricas pueden deberse a varios factores como la ubicación geográfica, condiciones climáticas, prácticas culturales, etapa de madurez, manejo poscosecha, método de análisis y a la variabilidad genética al pertenecer a géneros diferentes. De acuerdo con Troncoso-Gómez et al. (2021) la vitamina C o ácido ascórbico es una vitamina hidrosoluble que se adquiere a través de los alimentos, importante antioxidante por ser capaz de neutralizar las especies reactivas de oxígeno (ERO), que afectan la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos de las células (Troncoso-Gómez et al., 2021).

### 5.7 Variables significativas entre localidades

En el Cuadro 9 se muestran las variables evaluadas que presentaron diferencias significativas entre localidades y su efecto con las covariables.

**Cuadro 9.** Comparación de medias de las variables significativas entre localidades y efecto de las covariables.

Variables	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3	Cov
lr	1.31 ± 0.07 a	1.21 ± 0.04 ab	1.13 ± 0.05 b	
GES (cm)	0.15 ± 0.02 ab	0.19 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 b	
PE* (g)	39.24 ± 5.40 b	52.55 ± 3.74 a	48.86 ± 4.28 ab	PTF
<sup>z</sup> Zn* (mg 100 g <sup>-1</sup> )	1.96 ± 0.19 a	1.47 ± 0.05 b	1.49 ± 0.10 ab	Tμ
pH*	4.72 ± 0.11 b	4.84 ± 0.16 b	5.60 ± 0.09 a	RS
<sup>z</sup> CEN (%)	2.48 ± 0.08 a	1.63 ± 0.09 b	2.22 ± 0.15 a	

<sup>z</sup> PRO (%)	19.33 ± 2.07 a	19.14 ± 1.00 a	14.24 ± 0.28 b
<sup>z</sup> CAR (%)	25.95 ± 1.25 b	27.17 ± 1.44 b	31.99 ± 0.97 a
BXE (mg 100 g <sup>-1</sup> )	4.37 ± 0.61 a	3.26 ± 0.37ab	2.55 ± 0.31 b
<sup>z</sup> AA por ABTS (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	10.71 ± 0.48 b	18.38 ± 1.85 a	14.44 ± 1.39 ab
<sup>z</sup> AA por FRAP (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	10.21 ± 0.45 b	13.27 ± 0.95 a	11.10 ± 0.82 ab

\*Variables analizadas mediante un análisis de covarianza. El resto de las variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza. Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Ir: índice de redondez, GES: grosor de espinas, PE: peso de epicarpio, Zn: zinc, pH: potencial de hidrógeno, CEN: cenizas, PRO: proteínas, CAR: carbohidratos, BXE: betaxantinas en epicarpio, AA: actividad antioxidante, ET: equivalentes de trolox, Cov: Covariables, PTF: peso total del fruto, RS: radiación solar, T<sub>μ</sub>: temperatura media. <sup>z</sup>Valores reportados en peso seco.

Las Localidades 1 y 2 fueron estadísticamente iguales en las variables: índice de redondez, grosor de las espinas, porcentaje de proteínas y el contenido de betaxantinas en el epicarpio. El índice de redondez se encontró entre 1.21 y 1.31, por lo que, se determinó que los frutos de dichas localidades son redondos y ligeramente alargados. Esto podría deberse a las características fisicoquímicas del suelo en donde se desarrollaron las plantas. De acuerdo con González-Jiménez et al. (2020) el índice de redondez en frutos de zarzamora (*Rubus* spp.) disminuyó con conductividades eléctricas (C. E.) de 2.8 y 3.0 dS m<sup>-1</sup>, por lo que los frutos fueron más ovalados que los obtenidos con las conductividades menores; la tendencia es similar, puesto que, la Localidad 3 presentó un valor de C. E. de 1.59 dS m<sup>-1</sup>, a diferencia de las Localidades 1 y 2 (0.47 y 0.28 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente).

Los porcentajes de proteína de los frutos de las Localidades 1 y 2 (4.99 y 4.66 % p.f.) fueron estadísticamente iguales entre sí y numéricamente similares a los reportados por Sandate-Flores et al. (2020), quienes encontraron un promedio de 4.75 % p.f. en frutos cultivados de la misma especie; sin embargo, en los frutos de la Localidad 3 solamente se determinó un valor menor (3.70 % p.f. de proteína). Las diferencias encontradas podrían deberse a la buena absorción y

disponibilidad del nitrógeno, debido a que los aminoácidos son sintetizados por las plantas a partir de la disponibilidad del nitrato o amonio del suelo, el cual es de vital importancia en el metabolismo primario, ya que, son los precursores de las unidades estructurales básicas de las proteínas (Taiz & Zeiger, 2006). Este efecto también podría estar relacionado con el contenido de betaxantinas en el epicarpio, puesto que, la Localidad 3 (Cuadro 9) presentó la concentración más baja de estos metabolitos, por lo que, la baja disponibilidad del N, como la del Cu en el suelo, podrían afectar su absorción, debido a que una de las principales funciones del cobre en las plantas es participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos involucrados en formar y convertir aminoácidos (Castellanos et al. 2000), entre ellos, la L-tirosina precursor en la síntesis de los pigmentos (betaxantinas y betacianinas) (Santos-Díaz et al., 2005; Sheehan et al., 2020).

No existe información reportada sobre el contenido de betalaínas totales (betacianinas + betaxantinas) en el epicarpio de esta especie, pero en otras investigaciones como la publicada por Hernández-Ramos et al. (2020), mencionaron que en el epicarpio de los frutos de pitahayas de pulpa blanca y roja, encontraron concentraciones promedio de betaxantinas de 3.97 y 3.55 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f., respectivamente, valores menores con respecto a los observados en *P. weberi* pertenecientes a la Localidad 1 (4.37 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f.). Sin embargo, los niveles de betaxantinas (pigmentos amarillos) en la cáscara de las pitahayas son menores debido a la mayor presencia de betacianinas (pigmentos rojos).

Las betalaínas son pigmentos que se localizan en los frutos de cactáceas, que pueden ser utilizados como colorantes naturales por su estabilidad frente a las variaciones de pH (3 - 7) en algunos alimentos, en comparación con otros pigmentos (antocianinas, carotenoides); éstos son metabolitos nitrogenados hidrosolubles que no son tóxicos, ni causan reacciones alérgicas como algunos colorantes sintéticos (Esquivel & Araya-Quesada, 2012).

La Localidad 3 estadísticamente tuvo el mayor valor de pH y porcentaje de carbohidratos en los frutos (Cuadro 9). En el caso del pH se determinó que este

valor fue mayor, con respecto a lo reportado por Sandate-Flores et al. (2020) quienes mencionaron que los frutos de la misma especie, pero provenientes de un campo de cultivo en Ahuatlán, Puebla, Méx. presentaron un promedio de 4.51, estas diferencias numéricas podrían estar relacionadas con el grado de madurez, especies no silvestres o el origen de los frutos (Vásquez-Castillo et al., 2016). Con relación al porcentaje de carbohidratos, se observó que los frutos de la Localidad 3 (14.66 % p.f.) presentaron valores superiores con respecto a lo reportado por Hernández-Ramos et al. (2020) en otras cactáceas como las pitahayas de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) y pulpa roja (*H. ocamponis*) (11.05 y 11.47 % p.f., respectivamente); de la misma manera sucedió con los frutos de pitayas (*Stenocereus stellatus*) de pulpa de color blanca, amarilla, violeta y roja (9.82, 10.85, 9.65, 9.82 % p.f., respectivamente) reportado por Pérez-Loredo et al. (2017). Estas diferencias numéricas podrían deberse principalmente a la variabilidad genética entre especies y también al grado de madurez. Chaparro et al. (2015) reportaron que en frutos maduros de tuna (*Opuntia ficus indica*) hubo mayor porcentaje de carbohidratos, debido a la degradación, de carbohidratos complejos, como el almidón a azúcares más simples.

Las Localidades 1 y 3 fueron estadísticamente iguales en los porcentajes de cenizas y concentraciones de Zn; particularmente, en los frutos de *P. weberi* de ambas localidades se observaron concentraciones de Zn de 0.51 y 0.39 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f., respectivamente, estos valores fueron mayores, con respecto a lo reportado en frutos de otras cactáceas, como las pitahayas de pulpa blanca y roja (0.28 y 0.16 mg 100 g<sup>-1</sup> p.f., respectivamente), publicados por Hernández-Ramos et al. (2020). Es importante destacar el consumo de alimentos que aporten los nutrientes necesarios al organismo para llevar a cabo sus funciones adecuadamente. Particularmente, el Zn es un oligoelemento esencial, que participa en la señalización directa en todos los niveles de transducción celular, la prevención en la formación de radicales libres, la protección de las estructuras biológicas y en las funciones del sistema inmunológico (Rosas-Romero & Covarrubias-Gómez, 2020).

Finalmente, las Localidades 2 y 3 fueron estadísticamente iguales en el peso de epicarpio, así como, en la actividad antioxidante evaluada por ambos métodos (ABTS y FRAP) (Cuadro 9). El peso del epicarpio de ambas localidades fue mayor con respecto a lo mencionado por Sandate-Flores et al. (2020), quienes reportaron promedios de 48.40 g en el peso del epicarpio de frutos cultivados de la misma especie; estos frutos también presentaron menor peso de pulpa con respecto a los frutos de la presente investigación. De acuerdo con Osuna-Enciso et al. (2016) mencionaron que el tamaño final está relacionado con la cantidad de frutos por planta, por lo que entre más bajo sea su número, mayor será el tamaño en la cosecha.

La actividad antioxidante determinada por los métodos ABTS y FRAP fue estadísticamente igual en las Localidades 2 y 3 en comparación con la Localidad 1 (Cuadro 9); estas diferencias se relacionan sinérgicamente con los metabolitos secundarios presentes (compuestos fenólicos, flavonoides, betalaínas y vitamina C), así como, con su concentración en los frutos de cactáceas (García-Cruz et al., 2012, 2013) y a las condiciones ambientales a las que pueden estar expuestas las plantas. Los compuestos fenólicos y flavonoides tienen diversas funciones, entre las que se incluyen la protección contra el estrés oxidativo causado por la radiación UV (Salazar-García et al., 2016). De acuerdo con Carrasco-Ríos (2009) la enzima fenilalanina-amonio-liasa (PAL), es la enzima determinante en la síntesis de estos metabolitos secundarios, que se activa por diferentes tipos de estrés, como parte del mecanismo de defensa de las plantas.

En particular, los fitoquímicos presentes en frutas y verduras poseen características antioxidantes que pueden mitigar las consecuencias del estrés oxidativo en el desarrollo de enfermedades crónicas y el proceso de envejecimiento (Wilhelmina, 2005; Hoti et al., 2022). Se ha demostrado en algunas investigaciones que la concentración de nutraceuticos y actividad antioxidante es mayor en poblaciones silvestres que en especies cultivadas debido a los mecanismos de defensa ante estrés. No hay estudios de la actividad antioxidante en frutos silvestres y cultivados de *Pachycereus weberi*; sin

embargo, en frutos silvestres de otras cactáceas como tunas de *Opuntia macrocentra*, *O. phaeacantha* y *O. engelmannii* y frutos de tunas cultivadas (*O. ficus-indica*) realizados por Valero-Galván et al. (2020) quienes señalaron que los frutos de las especies silvestres presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides, betalainas totales, vitamina C y la actividad antioxidante por tres métodos (DPPH, ABTS y FRAP) en comparación con los frutos de especies cultivadas. De acuerdo con los autores estas diferencias pueden deberse a varios factores (estado de madurez, tiempo de cosecha del fruto, variabilidad genética entre especies y principalmente a las condiciones ambientales). Por lo tanto, es importante realizar estudios de los compuestos bioactivos que se encuentran en los frutos provenientes de especies silvestres y cultivadas de *P. weberi* para conocer su potencial y aprovechar sus beneficios.

### 5.8 Componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales por grupos de variables evaluadas (físicas, minerales, nutricionales y nutraceuticas), con el objetivo de simplificar  $n$  observaciones de  $p$  variables, manteniendo la información esencial y facilitando la interpretación de las relaciones entre observaciones y variables (Díaz-Monroy, 2007; Cordella, 2012). Por lo tanto, de cada grupo se seleccionaron aquellas variables originales de mayor peso (Cuadro 10), puesto que, los primeros componentes suelen retener la mayor cantidad de información, y se pueden seleccionar un número menor de ellos para lograr la reducción de dimensionalidad.

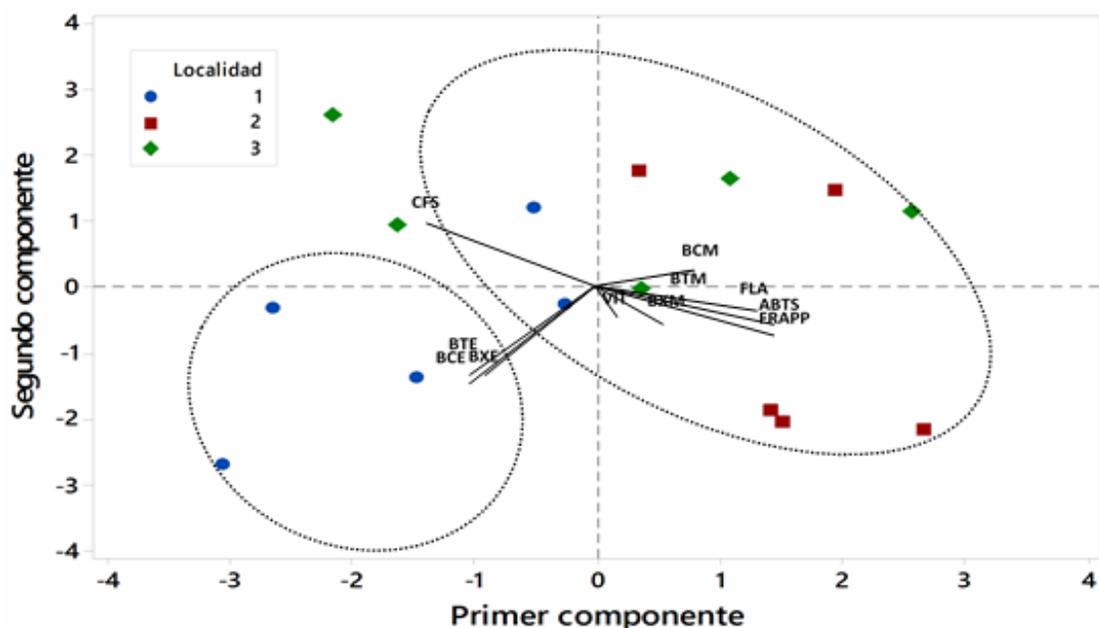
**Cuadro 10.** Análisis de componentes principales de cuatro grupos de variables evaluadas en los frutos de *Pachycereus weberi*.

Grupos de variables	N. C.	V. P.	% V	Variables originales de mayor peso
Físicas	3	1.73	80	C1: GE (0.434), Ir (-0.423), DE (0.401), PES (0.275) C2: PM (-0.538), POM (-0.454) C3: LON (-0.593)
Minerales	4	1.47	78	C1: Mg (0.393), Cu (0.380), N (-0.374) C2: B (-0.556), K (-0.484) C3: P (0.579)

Nutricionales	3	1.85	72	C4: Zn (-0.479) C1: pH(0.463), CAR (0.397), AT (0.397), VE (0.332) C2: H (-0.561), PR (0.438) C3: LI (0.603)
Nutracéuticas	3	2.77	83	C1: FRAP (0.421), ABTS (0.413), CFS (- 0.389), BCM (0.239) C2: BTE (-0.494), BCE (-0.478) C3: BTM (0.545)

\*N. C.: número de componentes retenidos, V. P.: valor propio, % V: porcentaje de variabilidad descrita, C: componente, GE: grosor de epicarpio, Ir: índice de redondez, DE: diámetro ecuatorial, PES: peso de espinas, PM: peso de mesocarpio, POM: porcentaje de mesocarpio, LON: longitud de fruto, Mg: magnesio, Cu: cobre, N: nitrógeno, B: boro, K: potasio, P: fósforo, Zn: zinc, pH: potencial de hidrógeno, CAR: carbohidratos, AT: acidez titulable, VE: valor energético, H: humedad, LI: lípidos, FRAP: método para determinar la actividad antioxidante, ABTS: método para determinar la actividad antioxidante, CFS: compuestos fenólicos solubles, BCM: betacianinas en mesocarpio, BTE: betalainas totales en epicarpio, BCE: betacianinas en epicarpio, BTM: betalainas totales en mesocarpio.

Los primeros tres componentes explicaron 80 % de la variabilidad de las características físicas de los frutos (Cuadro 10). El primer componente presentó asociación positiva con el grosor de epicarpio (GE), el diámetro ecuatorial (DE) y el peso de las espinas (PES); y la asociación negativa la aportó el índice de



**Figura 7.** Biplot de análisis de componentes principales (ACP) de las variables físicas. DE: diámetro ecuatorial, LON: longitud, Ir: índice de redondez, GES: grosor de espinas, PES: peso de espinas, PM: peso de mesocarpio, PE: peso de epicarpio, GE: grosor de epicarpio, POM: porcentaje de epicarpio, POE: porcentaje de epicarpio.

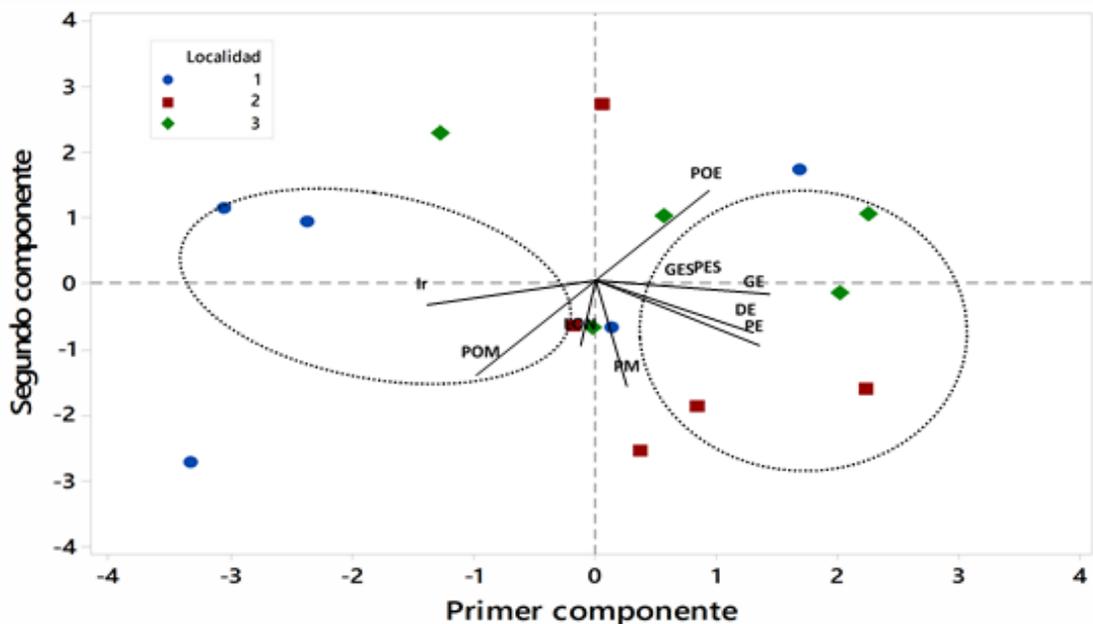
redondez del fruto (Ir). El segundo componente tuvo asociación negativa con el peso (PM) y porcentaje (POM) de mesocarpio. El tercer componente se caracterizó por presentar asociación negativa con la longitud de los frutos (LON).

En la gráfica Biplot de las características físicas de los frutos (Figura 7) se observó la dispersión de las muestras de las tres localidades. De la tendencia en el CP1, la mayoría de las observaciones corresponde a las Localidades 2 y 3; y están mayormente explicadas por las características de grosor de epicarpio (GE), diámetro ecuatorial (DE) y peso de epicarpio (PE). Por otro parte, en la Localidad 1 el índice de redondez (Ir) y el porcentaje de mesocarpio (POM) se expresaron en mayor medida. Estas diferencias podrían deberse principalmente a las características del suelo, puesto que, algunos frutos a baja conductividad eléctrica tienden a ser más redondos a diferencia de aquellos que crecen en condiciones altas de C. E., por lo que, resultan tener una forma más ovalada (González-Jiménez et al., 2020). Además, las características estudiadas pueden estar influenciadas por la interacción genotipo con el medio ambiente, debido a que la expresión de genes puede variar en diferentes condiciones ambientales (Wit et al., 2010). Aunado a esto, la alta variabilidad de las muestras puede deberse principalmente a que se evaluaron dichas características en frutos cerrados (madurez de preconsumo) y abiertos (madurez de consumo).

En el Cuadro 10 se observa que los tres primeros componentes de las características nutraceuticas de los frutos explicaron el 83 % de la variabilidad. El primer componente presentó asociación positiva con la actividad antioxidante por ambos métodos (ABTS y FRAP), así como, con el contenido de betacianinas en el mesocarpio (BCM) y asociación negativa con el contenido de compuestos fenólicos solubles. El segundo componente tuvo asociación negativa con las betalaínas totales (BTE) y betacianinas (BCE) en el epicarpio.

El tercer componente se caracterizó por presentar asociación positiva con las betalaínas totales en el mesocarpio (BTM). En la Figura 8 se observa la dispersión de las muestras de las tres localidades, con respecto a las características nutraceuticas. En el CP1, la actividad antioxidante por ambos

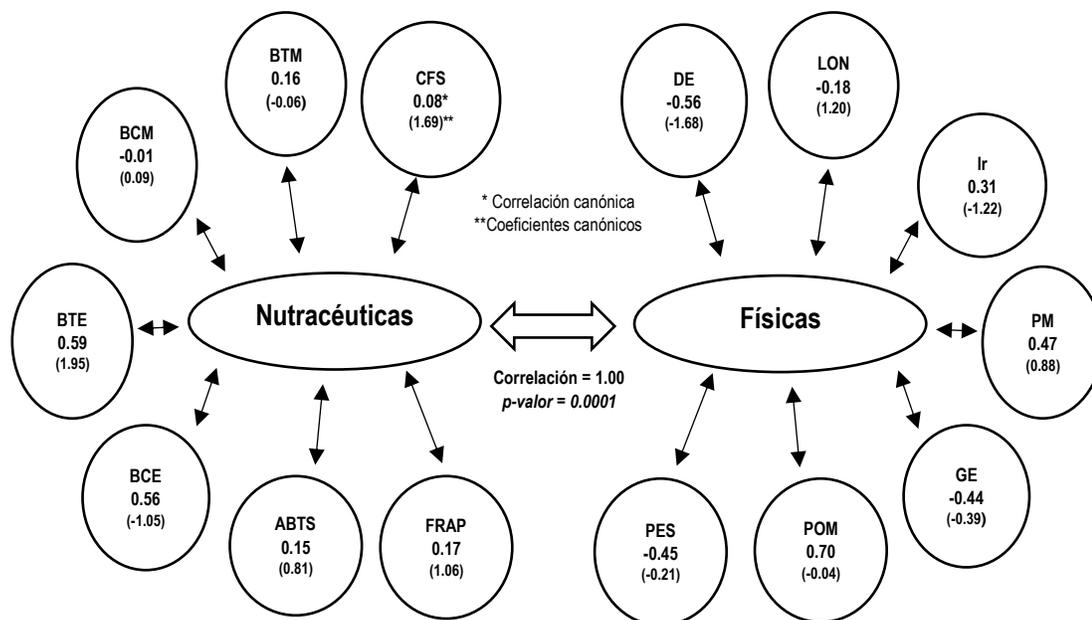
métodos (ABTS y FRAP), el contenido de compuestos fenólicos solubles (CFS), las betalaínas totales (betacianinas + betaxantinas) en el mesocarpio (BTM, BCM, BXM) y los flavonoides (FLA) se expresaron en mayor medida en las Localidades 2 y 3. Estas diferencias pueden deberse a las condiciones climáticas en las que crecieron los frutos, como la temperatura, la humedad y la intensidad luminosa, debido a que la biosíntesis de los metabolitos secundarios suele estar restringida a estados específicos del desarrollo y a períodos de estrés. En el CP2, la mayor parte de las muestras de la Localidad 1 están principalmente explicadas por los contenidos de betalaínas totales (betacianinas + betaxantinas) en el epicarpio (BTE, BCE, BXE). Estas características podrían estar mayormente influenciadas por la síntesis de estos pigmentos en el epicarpio debido al estímulo que reciben por la luz durante el desarrollo fisiológico de los frutos (Felker et al., 2008). Además, de la alta disponibilidad del N y Cu en el suelo de la Localidad 1, ya que, la síntesis de aminoácidos promueve la producción de la L-tirosina, principal precursor en la síntesis de estos pigmentos (Sheehan et al., 2020).



**Figura 8.** Biplot de análisis de componentes principales (ACP) de las variables nutraceuticas. CFS: compuestos fenólicos solubles, FLA: flavonoides, BTM: betalaínas totales en mesocarpio, BTE: betalaínas totales en epicarpio, BCM: betacianinas en mesocarpio, BCE: betacianinas en epicarpio, BXM: betaxantinas en mesocarpio, BXE: betaxantinas en epicarpio, VIT: vitamina C, ABTS: método para determinar la actividad antioxidante, FRAP: método para determinar la actividad antioxidante.

## 5.9 Correlación canónica

Se realizó el análisis de correlación canónica con el objetivo de identificar asociaciones entre dos conjuntos de variables, para encontrar las combinaciones lineales de las variables en los grupos que exhiben correlaciones fuertes. Los pares de variables canónicas que resultaron significativos correspondieron a los grupos: físicas-nutracéuticas.



**Figura 9.** Correlación canónica, se muestra la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales: componentes nutracéuticos y características físicas de los frutos de *Pachycereus weberi*. CFS: compuestos fenólicos solubles, BTM: betalaínas en mesocarpio, BCM: betacianinas en mesocarpio, BTE: betalaínas totales en epicarpio, BCE: betacianinas epicarpio, ABTS: método para determinar la actividad antioxidante, FRAP: método para determinar la actividad antioxidante, DE: diámetro ecuatorial del fruto, LON: longitud de fruto, Ir: índice de redondez del fruto, PM: peso de mesocarpio, GE: grosor de epicarpio, POM: porcentaje de mesocarpio, PES: peso de espinas.

Fue significativo el primer par de variables canónicas (Figura 9), en donde se aprecia la asociación de los componentes nutracéuticos con algunas propiedades físicas. La correlación entre ambos grupos de variables fue estadísticamente significativa, con una correlación de 1.00 y un  $p$ -valor= 0.0001. De acuerdo con los coeficientes canónicos estandarizados, se encontró que las variables originales compuestos fenólicos solubles (CFS) y betalaínas totales en epicarpio

(BTE) contribuyeron a conformar la primera variable canónica (V1-NUTRACEUTICAS). Mientras que la primera variable (U1-FÍSICAS) está mayormente definida por el diámetro ecuatorial (DE) e índice de redondez (Ir) de los frutos. Se determinó que la variable porcentaje del mesocarpio (POM) está fuertemente correlacionadas con la variable canónica nutracéuticos (Figura 9), lo que sugiere que el contenido de betalaínas totales (BTE) y betacianinas (BCE) en el epicarpio está asociado con dichas variables (POM). Esto podría deberse, a que las betalaínas se acumulan en las vacuolas de las células que las sintetizan, principalmente en los tejidos epidérmicos y endodérmicos, de las plantas del orden Cariofilales (Gandía-Herrero et al., 2016).

## **VI.CONCLUSIONES**

Se determinó que las Localidades 1 y 2 presentaron frutos más redondos y ligeramente alargados, con el mayor grosor de las espinas, porcentaje de proteína y concentración de betaxantinas en la cáscara. Los frutos de las Localidades 1 y 3 tuvieron el mayor porcentaje de cenizas y altas concentraciones de Zn. En las Localidades 2 y 3 el peso del epicarpio fue mayor, así como la capacidad antioxidante por ambos métodos (ABTS y FRAP). Mientras que únicamente la Localidad 3 presentó el valor más alto de pH en la pulpa de los frutos, así como un alto porcentaje de carbohidratos. Además, se determinó que el mejor disolvente para la extracción de la mayoría de los componentes nutracéuticos fue acetona a 80 % (v/v), a excepción de betalaínas totales donde se obtuvieron mejores concentraciones con metanol a 80 % (v/v). Al mismo tiempo que estos frutos se podrían considerar como alimentos funcionales gracias a sus compuestos bioactivos y propiedades antioxidantes.

Es necesario continuar con investigaciones en frutos silvestres para promover su consumo por su aporte de nutrientes y antioxidantes a los consumidores, pero principalmente, con el fin de destacar la importancia de la biodiversidad local y promover prácticas agrícolas que dirijan la revalorización de estos recursos para generar un mayor interés en la conservación de estas especies y sus hábitats.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Anderson, E. F. (2001). *The Cactus family*. Timber Press.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist* (18th ed.).
- Arias, S., & Aquino, D. (2019). Familia Cactaceae I: *Flora de la Cuenca y Regiones Adyacentes 209* (Rzedowski, J. & G. Calderón de Rzedowski Eds.). Instituto de Ecología. <https://doi.org/10.21829/fb.39.2019.209>
- Arias, S., & Terrazas, T. (2009). Taxonomic Revision of *Pachycereus* (Cactaceae). *Systematic Botany*, 34(1), 68-83. <https://www.jstor.org/stable/40211870>
- Assunção, A. G. L., Cakmak, I., Clemens, S., González-Guerrero, M., Nawrocki, A., Thomine, S. (2022). Micronutrient homeostasis in plants for more sustainable agriculture and healthier human nutrition. *Journal of Experimental Botany*, 73(6), 1789-1799. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac014>
- Audu, S. S., & Aremu, M. O. (2011). Effect of processing on chemical composition of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(11), 1069-1075. doi: 10.3923/pjn.2011.1069.1075
- Badii, M. H., & Castillo, J. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *InnOvaciOnes de NegOciOs*, 4(8), 405-422. <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-9>
- Balderas, V., Palafox, L., Castro, A. S., & Saucedo, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y calidad organoléptica y nutricional de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(7), 86-92. <http://reibci.org/publicados/2016/dic/2000118.pdf>

- Barrios-Giles, T., Catalán-Heverástico C., Correa-López, A. J., Castro-Salas, J. M., & Martínez-Flores, A. (2020). Características morfológicas de frutos de *Pachycereus weberi* (J.M. Coult.) Backeb. de tres localidades de la Cañada del Zopilote, Guerrero, México. *Foro de Estudios Sobre Guerrero*, 8(1), 589-598.  
<https://revistafesgro.cocytieg.gob.mx/index.php/revista/article/view/252/165>
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bravo-Hollis, H. (1978). *Las cactáceas de México Vol. I*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Las cactáceas de México Vols. II y III*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Burdurlu, H. S., Koca, N., & Karadeniz, F. (2006). Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74(2): 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.026>
- Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *IDESIA*, 27(3), 59-76. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292009000300009>
- Castellanos, Z., J., Uvalle, B., J. X., & Aguilar S., A. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Agua* (2a ed.). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayo. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478. doi: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods.

*Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>

Chaparro, S. P., Márquez, R. A., Sánchez, J. P., Vargas, M. L., & Gil, J. H. (2015). Extracción de pectina del fruto del higo (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación en un dulce de piña. *Revista U. D. C. A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 435-443. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v18n2/v18n2a17.pdf>

CONABIO. (2022). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB): Registros de ejemplares*. México.

Cordella, C. B. Y. (2012). *PCA: The Basic Building Block of Chemometrics* (Ira S. Krull Ed.). IntechOpen. doi: 10.5772/51429 [https://www.researchgate.net/publication/280679642\\_PCA\\_The\\_Basic\\_Building\\_Block\\_of\\_Chemometrics](https://www.researchgate.net/publication/280679642_PCA_The_Basic_Building_Block_of_Chemometrics)

Cruzado, M. & Cedrón, J. C. (2012). Nutracéuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química PUCP*, 26(1-2), 33-36. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/7307>

Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 173-183. doi: [10.1007/s13197-011-0269-4](https://doi.org/10.1007/s13197-011-0269-4)

Díaz-José, J., Morales-Ríos, V., García-Martínez, H., & Tepole-Pérez, J. (2018). Servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria: el caso de plantas silvestres para el consumo humano en comunidades indígenas de México. *Las ciencias sociales y la agenda nacional. Reflexiones y propuestas desde las Ciencias Sociales*, 5, 453-467. <https://www.comecso.com/ciencias-sociales-agenda-nacional/cs/article/view/1130>

Díaz-Monroy, L. G. (2007). *Estadística Multivariada: Inferencia Y Métodos* (2a Ed.). Universidad Nacional de Colombia.

Esquivel, P., & Araya-Quesada, 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. <https://www.researchgate.net/publication/327110925> Características del fruto de la pitahaya *Hylocereus* sp y su potencial de uso en la industria alimentaria
- Felker, P., Stintzing, F. C., Mussig, E., Leitenberger, M., Carle, R., Vogt, T., & Bunch, R. (2008). Colour inheritance in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits. *Annals of Applied Biology*, 152, 307-318. doi:10.1111/j.1744-7348.2008.00222.x
- Gandía-Herrero, F., Escribano, J., & García-Carmona, F. (2016). Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(6), 937-45. doi: 10.1080/10408398.2012.740103.
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 1-5. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000500003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000500003)
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Joaquín-Cruz E. (2013). Physical, Chemical, and Antioxidant Activity Characterization of Pitaya (*Stenocereus pruinosus*) Fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 403–410. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0391-8>
- García-Lucas, K. A., Méndez-Lagunas, L. L., Rodríguez-Ramírez, J., Campanella, O. H., Patel, B. K. & Barriada-Bernal, L. G. (2016). Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), 1-9. doi: 10.1111/jfpe.12470
- González-Jiménez, S. L. Castillo-González, A. M., García-Mateos, M. R., Valdez-Aguilar, L. A., Ybarra-Moncada, C., & Avitia-García, E. (2020). Respuesta de zarzamora (*Rubus* spp.) cv. Tupy a la salinidad. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 209-306. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v43n3/0187-7380-rfm-43-03-299.pdf>

- González-Mendrano, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación* (1a Ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Gülçin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86, 345–391 <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
- Hernández, H. M., Gómez-Hinostrosa, C., & Cházaro, M. (2013). *Pachycereus weberi*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN), Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Versión 2022-2. <https://www.iucnredlist.org/> Consultado el 20/09/2023
- Hernández-Ramos, L., García-Mateos, M. R., Castillo-González, A. M., Ybarra-Moncada, C. & Nieto-Ángel, R. (2020). Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 197-203. <https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/article/view/15168>
- Hoti, G., Matencio, A., Rubin-Pedrazzo, A., Cecone, C., Appleton, S. L., Khazaei-Monfared, Y., Caldera, F., & Trotta, F. (2022). Nutraceutical Concepts and Dextrin-Based Delivery Systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), 1-47. doi: 10.3390/ijms23084102
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Aspectos Geográficos, Puebla. Conociendo México, 1-51. Consultado: 22 de noviembre de 2023.
- Jiménez-Sierra, C. L. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*, 12(1), 3-21. <https://www.revista.unam.mx/vol.12/num1/art04/art04.pdf>
- Jiménez-Sierra, C. L., Matías-Palafox, M. L., & Jiménez-Sánchez, M. G. (2009). Aspectos demográficos y reproductivos de *Pachycereus weberi* (J. M. Coult.) Backeb. (Cactaceae) en una nueva localidad en el Estado de Hidalgo, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 54(2), 36-46.

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M. Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas*, 25(4), 726-732. <https://www.scielo.br/j/cta/a/B58T9S5zLLxjBL5PVzZXHCF/?format=pdf&lang=es>
- Lara-Porras, A. M. (2001). *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS*. Proyecto Sur. [https://www.ugr.es/~bioestad/\\_private/cpfund6.pdf](https://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund6.pdf)
- Linzaga-Román, B. E., Ángeles-Pérez, G., Catalán-Heverástico, C., & Hernández-Rosa, P. (2011). Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coulter) Backeb. en la Cañada del Zopilote, Guerrero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 189-198. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-40182011000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000200002)
- López, C. R., García-Mateos, M. R., Gallegos-Vázquez, C., & Sahagún-Castellanos, J. (2015). Antioxidant components and nutritional quality of 15 genotypes of Xoconostle (*Opuntia* spp.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 17, 33-49. doi: 10.56890/jpacd.v17i.60
- López-Herrera, A., Castillo-González, A. M., Trejo-Téllez, L. I., Avitia-García, E., Valdez-Aguilar, L. A. (2018). Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de zinc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1591-1601. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9n8/2007-0934-remexca-9-08-1591.pdf>
- López-Ríos, G. F., & Rosas-López, U. Y. (2002). *El Herbario: Serie Apoyos Académicos*. Universidad Autónoma de Chapingo. [https://www.researchgate.net/publication/257527247\\_El\\_Herbario](https://www.researchgate.net/publication/257527247_El_Herbario)

- Luna-Morales, C. C., & Aguirre, J. R. (2001). Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia*, 26(1), 18-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905204>
- Mandujano-Piña, M., González-Calderón, B., Trujillo-Hernández, A., Arriaga-Frías, A., Cruz-Guzmán, G. H., Colinas-León, M. T. (2020). Descripción de las variables químicas durante la postcosecha de frutos de pitaya roja y amarilla de la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Puebla. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6), 674-684. [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7781/Descripcion\\_de\\_las\\_variables\\_quimicas\\_durante\\_la\\_postcosecha\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7781/Descripcion_de_las_variables_quimicas_durante_la_postcosecha_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez-Bolaños, M., Nieto-Ángel, D., Téliz-Ortiz, D., Rodríguez-Alcanzar, J., Martínez-Damián, Ma. T., Vaquera-Huerta, H., & Carrillo-Mendoza, O. (2008). Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2(14):113-119. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n2/v14n2a3.pdf>
- Martínez-Moreno, D., & Reyes-Matamoros, R. (2017). Variables ambientales en la síntesis de ácidos orgánicos en plantas MAC. *Elementos*, 108, 41-46. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000000532.pdf>
- Martínez-Moreno, D., Reyes-Matamoros, J., Figueroa-Castro, D. M., & Rodríguez-Ramírez, T. (2014). Efecto de los ácidos orgánicos en la producción de frutos de *Pachycereus weberi* (J. M. Coult.) Backeb. en el municipio de Santo Domingo, Huehuetlán El Grande, Puebla, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(3), 113-124. <http://www.reibci.org/publicados/2014/agosto/2200113.pdf>
- Martínez-Peralta, C., Mancilla, R., Altamirano-Vázquez, H. G., & Aguilar-Morales G. (2010). Características poblacionales de *Pachycereus weberi* y su relación con polinizadores en la comunidad de Dominguillo en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 55(3), 85-89.

<https://biblat.unam.mx/hevila/Cactaceasysuculentasmexicanas/2010/vol55/no3/2.pdf>

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4a ed.). Instituto Internacional del Potasio. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf)

Mocan, A., Zengin, G., Simirgiotis, M., Schafberg, M., Mollica, A., Vodnar, D. C., Crisan, G. & Rohn, S. (2017). Functional constituents of wild and cultivated Goji (*L. barbarum* L.) leaves: phytochemical characterization, biological profile, and computational studies. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1), 153–168. doi: 10.1080/14756366.2016.1243535

Monroy-Gutiérrez, T., Martínez-Damián, M. T., Barrientos-Priego, A. F., Gallegos-Vázquez, C., Rodríguez-Pérez, J. E., & Colinas-León, M. T. B. (2017). Evaluación de algunas características físicas y químicas de frutos de xocotuna, tuna y xoconostle en poscosecha. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 187-195. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017000100189](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000100189)

Nazareno, A. (2014). Phytochemicals of Nutraceutical Importance from Cactus and their Role in Human Health (Dhan Prakash & Girish Sharma Eds.). *Phytochemicals of Nutraceutical Importance*, 103-115. doi: 10.1079/9781780643632.0103

Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F., & Ruiz-Barbosa, Á. E. (2018). Derechos al uso del agua y estrategias de apropiación en la región semiárida de Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 63-83. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187054722018000100063&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187054722018000100063&script=sci_arttext)

Osuna-Enciso, T. Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M. D., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Rodríguez, J. M.

- (2015). 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. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952016000100061](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100061)
- Pacheco, F., Peraza, M., & Pinto, I. (2021). Flavonoides: micronutrientes con amplia actividad biológica. *Revista de la Facultad de Medicina*, 44(1), 108-126. [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_fmed/article/view/20497](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fmed/article/view/20497)
- Pérez-Loredo, M. G., Hernández-Jesús, L., Barragán-Huerta, B. E. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia*, 51(2), 135-151. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30250026002>
- Pérez-Negrón, E., & Casas, A. (2007). Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments*, 70(2), 356-379. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.016>
- Pérez-Rodríguez, M., Palacios-Cruz, L., Moreno, J., Rivas-Ruiz, R., & Talavera, J. O. (2014). Investigación clínica XIX. Del juicio clínico al análisis de covarianza. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 52(1), 70-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457745480015>
- Pimienta-Barrios, E. (1990). *El nopal tunero* (1a ed.). Universidad de Guadalajara.
- Ponce-Renova, H. F. (2020). *ESTADÍSTICA ELEMENTAL PARA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA: Probabilidad, distribuciones y correlación* (1a ed.). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/15504/ESTADISTICA-ELEMENTAL1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Quiroz-González, B., García-Mateos, R., Corrales-García, J. J. E., & Colinas-León, M. T. (2018). Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 20, 82-100.
- Ramírez-Ramos, M., Medina-Dzul, K., García-Mateos, R., Corrales-García, J., Ybarra-Moncada, C., & Castillo-González, A. M. (2018). Nutraceutical components, antioxidant activity, and color of 11 varieties of prickly pear (*Opuntia* sp.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 211-218. doi:10.5073/JABFQ.2018.091.028
- Rendón-Sandoval, F. J., Casas, A., Moreno-Calles, A. I., Torres-García, I., & García-Frapolli, E. (2020). Traditional agroforestry systems and conservation of native plant diversity of seasonally dry tropical forests. *Sustainability*, 12(11), 1-27. <https://doi.org/10.3390/su12114600>
- Rosales-Bustamante, E. P., Luna-Morales, C. 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. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n1/v15n1a11.pdf>
- Rosas-Romero, R., & Covarrubias-Gómez, A. (2020). El papel del zinc en la salud humana. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(4), 477-485. <https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000073>
- Salazar-García, S. Medina-Carrillo, R. E., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2565-2575. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000902565](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000902565)
- Sandate-Flores, L., Romero-Esquivel, E., Rodríguez-Rodríguez, J., Rostro-Alanis, M., Melchor-Martínez, E. M., Castillo-Zacarías, C., Ontiveros, P. R., Morales-Celaya, M. F., Chen, W., Hafiz, M. N., & Parra-Saldívar, R. (2020). Functional attributes and anticancer potentialities of chico (*Pachycereus*

- weberi*) and jiotilla (*Escontria chiotilla*) fruits extract. *Plants*, 9(11), 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants9111623>
- Santos-Díaz, M. S., Velásquez-García, Y., & González-Chávez, M. M. (2005). Producción de pigmentos por callos de *Mammillaria candida* Scheidweiler (Cactaceae). *Agrociencia*, 39(6), 619-626. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239605>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). *NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación.
- Sheehan, H., Feng, T., Walker-Hale, N., López-Nieves, S., Pucker, B., Guo, R., Yim, W.C. Badgami, R., Timoneda, A., Zhao, L., Tiley, H., Copetti, D., Sanderson, M. J., Cushman, J. C., Moore, M. J., Smith, S. A., & Brockington, S. F. (2020). Evolution of L-DOPA 4,5-dioxygenase activity allows for recurrent specialization to betalain pigmentation in *Caryophyllales*. *New Phytologist*, 227, 914-929. <https://doi.org/10.1111/nph.16089>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158. doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus sideroxylla*. *Ciencia y Tecnología*, 18(4), 701-714. doi: 10.4067/S0718-221X2016005000061
- Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*, 216(4), 303-311. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-002-0657-0>

- Swallah, M. S., Sun, H., Affoh, R., Fu, H., & Yu, H. (2020). Antioxidant potential overviews of secondary metabolites (polyphenols) in fruits. *International Journal of Food Science*, 2020, 1-8. doi: 10.1155/2020/9081686
- Taiz, L., & Zeiger, W. (2006). *Fisiología vegetal* (3a ed.). Castellón de la Plana.
- Téllez-Valdés, O., & Dávila-Aranda, P. (2003). Protected Areas and Climate Change: A Case Study of the Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology*, 17(3), 846-853. <https://www.jstor.org/stable/3095242>
- Tiwari, B. K., Brunton, N. P., & Brennan, C. S. (2013). *Handbook of Plant Food Phytochemicals: Sources, Stability and Extraction*. Wiley-Blackwell.
- Torres-Bojórquez, A. E., García-Rubio, O. R., Miranda-López, R., & Cardador-Martínez, A. (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(4), 291-299.
- Troncoso-Gómez, C. A., Luna-Mendoza, R. I., Molina-Martínez, L. M., & Sifuentes-Franco, S. (2021). Importancia del metabolismo y consumo de las vitaminas D y C durante la infección por SARS-coV-2. *Revista Biomédica*, 32(2), 124-135. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7980544>
- Valero-Galván, J., González-Fernández, R., Sigala-Hernández, A., Núñez-Gastélum, J. A., Ruiz-May, E., Rodrigo-García, J., Larqué-Saavedra, A., & Martínez-Ruiz, N. R. (2021). Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., and *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelmann.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). *Food Research International*, 140, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109909>
- Vásquez-Castillo, W., Aguilar, K., Vilaplana, R., Viteri, P., Viera, W., & Valencia-Chamorro, S. (2016). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de pitahaya

- amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) en Ecuador. *Agronomía Colombiana*, 34, 1081-1083.  
<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4860>
- Velasco, E., Medina, R., Rodríguez, L., Fonseca, I., & Verdecia, J. (2001). Efecto del manejo de la sombra en los contenidos de macronutrientes en el café cultivado sobre un suelo fersialítico pardo rojizo del macizo de la sierra maestra. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 69-75.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230162010>
- Wild, L. (2020). El magnesio y los minerales de tu cuerpo son absolutamente esenciales. *Anales de la Universidad Central del Ecuador*, 1(378), 401-421.  
<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/anales/article/view/3669/4509>
- Wildman, R. E. C. & Kelley, M. (2007). Nutraceuticals and functional foods. In: Wildman R.E.C. (Ed.) *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*. CRC Press Second Edition. Boca Raton, Florida. 1-21 p.
- Wilhelmina, K. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 70(1), 11-19.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09053.x>
- Wit, M., Nel, P., Osthoff, G., & Labuschagne, M. T. (2010). The effect of variety and location on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(1), 136–145. doi: 10.1007/s11130-010-0163-7
- Witham, F. H., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in Plant Physiology*. Van Nonstrand Reinhold C.
- Wu, L. C. Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Ho, J. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319–327. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.01.002

## VIII. APÉNDICES

**Apéndice 1.** Comparación de medias de las características físicas de los frutos de *Pachycereus weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana.

Variables	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3
<sup>z</sup> Diámetro ecuatorial (cm)	4.52 ± 0.18 a	4.83 ± 0.21 a	4.67 ± 0.18 a
<sup>z</sup> Longitud (cm)	5.90 ± 0.29 a	5.82 ± 0.28 a	5.23 ± 0.21 a
<sup>z</sup> Índice de redondez	1.31 ± 0.07 a	1.21 ± 0.04 ab	1.13 ± 0.05 b
<sup>z</sup> Peso de espinas (g)	2.65 ± 0.80 a	2.82 ± 0.58 a	2.25 ± 0.36 a
<sup>z</sup> Grosor de espinas (mm)	0.15 ± 0.02 ab	0.19 ± 0.01 a	0.13 ± 0.01 b
<sup>y</sup> Grosor de epicarpio (mm)	6.76 ± 0.29 a	7.24 ± 0.28 a	7.67 ± 0.28 a
<sup>y</sup> Peso total del fruto (g)	72.97 ± 11.16 a	95.45 ± 8.44 a	84.23 ± 6.74 a
<sup>y</sup> Peso de mesocarpio (g)	33.73 ± 6.36 a	42.80 ± 5.15 a	35.37 ± 2.98 a
<sup>y</sup> Peso de epicarpio (g)	39.24 ± 5.40 b	52.55 ± 3.74 a	48.86 ± 4.28 ab
<sup>y</sup> Mesocarpio (%)	45.30 ± 2.39 a	44.25 ± 2.24 a	42.03 ± 1.32 a
<sup>y</sup> Epicarpio (%)	54.70 ± 2.39 a	55.75 ± 2.24 a	57.97 ± 1.32 a

\*Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>z</sup>: variables evaluadas en frutos cerrados (madurez de preconsumo), <sup>y</sup>: variables evaluadas en frutos abiertos (madurez de consumo), Localidad 1: Cerro Gordo, Cuayuca de Andrade, Pue.; Localidad 2: Totoltepec de Guerrero, Totoltepec de Guerrero, Pue; Localidad 3: Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Pue.

**Apéndice 2.** Comparación de medias de la cuantificación mineral de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana.

Variables (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3
N (%)	0.86 ± 0.07 a	0.78 ± 0.15 a	0.68 ± 0.05 a
P	61.46 ± 5.26 a	54.36 ± 2.81 a	67.55 ± 7.18 a
K	49.02 ± 6.15 a	37.29 ± 2.21 a	41.62 ± 5.07 a
Ca	24.32 ± 3.10 a	20.41 ± 1.69 a	18.38 ± 1.48 a
Mg	45.19 ± 2.84 a	43.04 ± 2.32 a	46.12 ± 4.03 a
S	56.87 ± 2.31 a	49.06 ± 1.38 a	52.06 ± 4.02 a
Fe	1.97 ± 0.82 a	0.75 ± 0.12 a	0.65 ± 0.03 a

Zn	0.51 ± 0.04 a	0.36 ± 0.01 b	0.39 ± 0.04 ab
Mn	0.53 ± 0.08 a	0.50 ± 0.10 a	0.50 ± 0.05 a
Cu	0.21 ± 0.02 a	0.17 ± 0.03 a	0.14 ± 0.02 a
B	0.39 ± 0.04 a	0.37 ± 0.02 a	0.40 ± 0.03 a
Mo	0.12 ± 0.05 a	0.11 ± 0.04 a	0.11 ± 0.03 a

\*Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones con valores reportados en peso fresco. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Localidad 1: Cerro Gordo, Cuayuca de Andrade, Pue.; Localidad 2: Totoltepec de Guerrero, Totoltepec de Guerrero, Pue; Localidad 3: Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Pue.

**Apéndice 3.** Comparación de medias de las características nutricionales de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana.

Variables	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3
pH	4.72 ± 0.11 b	4.84 ± 0.16 b	5.60 ± 0.09 a
AT (% ácido málico)	0.19 ± 0.03 a	0.23 ± 0.04 a	0.13 ± 0.01 a
AST (g 100 g <sup>-1</sup> )	9.18 ± 0.39 a	10.25 ± 0.86 a	10.27 ± 0.60 a
SST (°Brix)	14.51 ± 1.75 a	13.27 ± 0.74 a	12.13 ± 0.62 a
Humedad (%)	73.76 ± 1.51 a	75.62 ± 0.49 a	74.00 ± 0.72 a
Cenizas (%)	0.65 ± 0.09 a	0.40 ± 0.02 b	0.57 ± 0.04 a
Lípidos (%)	3.48 ± 0.29 a	3.31 ± 0.17 a	3.48 ± 0.09 a
Proteínas (%)	4.99 ± 0.32 a	4.66 ± 0.26 a	3.70 ± 0.08 b
Fibra cruda (%)	3.76 ± 0.34 a	3.85 ± 0.19 a	3.53 ± 0.28 a
Carbohidratos (%)	13.37 ± 1.05 b	12.16 ± 0.40 b	14.66 ± 0.51 a
Valor energético (kcal 100 g <sup>-1</sup> )	104.77 ± 6.10 a	97.07 ± 2.78 a	106.35 ± 3.43 a

\*Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones con valores reportados en peso fresco. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Localidad 1: Cerro Gordo, Cuayuca de Andrade, Pue.; Localidad 2: Totoltepec de Guerrero, Totoltepec de Guerrero, Pue; Localidad 3: Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Pue.

**Apéndice 4.** Comparación de medias de las características nutraceuticas de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana.

<b>Variables</b>	<b>Localidad 1</b>	<b>Localidad 2</b>	<b>Localidad 3</b>
Compuestos fenólicos			
solubles (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> )	242.16 ± 17.78 a	305.20 ± 34.26 a	244.04 ± 17.02 a
Flavonoides (mg EQ 100 g <sup>-1</sup> )	5.93 ± 0.15 a	6.20 ± 0.34 a	6.45 ± 0.44 a
Betalaínas Pulpa	19.97 ± 2.33 a	20.72 ± 1.64 a	17.54 ± 1.43 a
Totales (mg 100 g <sup>-1</sup> ) Cáscara	8.03 ± 1.07 a	5.87 ± 0.85 a	4.91 ± 0.58 a
Betacianinas Pulpa	9.50 ± 0.86 a	9.96 ± 1.00 a	9.77 ± 0.70 a
(mg 100 g <sup>-1</sup> ) Cáscara	3.66 ± 0.53 a	2.61 ± 0.51 a	2.36 ± 0.27 a
Betaxantinas Pulpa	10.47 ± 1.72 a	10.76 ± 0.71 a	7.77 ± 0.75 a
(mg 100 g <sup>-1</sup> ) Cáscara	4.37 ± 0.61 a	3.26 ± 0.37 ab	2.55 ± 0.31 b
Vitamina C (mg EAA 100 g <sup>-1</sup> )	22.55 ± 2.02 a	20.65 ± 0.96	28.58 ± 2.90 a
AA por ABTS (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	2.83 ± 0.44 b	4.47 ± 0.43 a	3.73 ± 0.30 ab
AA por FRAP (mM ET 100 g <sup>-1</sup> )	2.69 ± 0.21 a	3.23 ± 0.23 a	2.89 ± 0.24 a

\*Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones con valores reportados en peso fresco. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Localidad 1: Cerro Gordo, Cuayuca de Andrade, Pue.; Localidad 2: Totoltepec de Guerrero, Totoltepec de Guerrero, Pue; Localidad 3: Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Pue. AA: actividad antioxidante, EAG: equivalentes de ácido gálico, EQ: equivalentes de quercetina, ET: equivalentes de trolox.

## Apéndice 5. Tríptico informativo de la presente investigación.

→ Además, los frutos contienen **compuestos nutraceuticos** que ayudan a prevenir o controlar algunos problemas de salud.

- Los **compuestos fenolicos** y **flavonoides** presentan beneficios como:
  - ⇒ Acción antioxidante
  - ⇒ Antiinflamatorio
  - ⇒ Protección cardiovascular
  - ⇒ Regulación de la glucosa
- ⇒ Propiedades anticancerígenas
- Las **betalainas** de los frutos son colorantes naturales con propiedades antioxidantes, que pueden ayudar a la protección de las células contra el daño oxidativo, que está relacionado con el envejecimiento y diversas enfermedades crónicas.

- Los frutos presentan mayor concentración de **Vitamina C** que las pitayas.

De los minerales más importantes en estos frutos está el **hierro**, **magnesio** y **zinc**, estos tienen funciones importantes en el cuerpo humano como:

- ⇒ Evitar enfermedades como la anemia (Fe)
- ⇒ Regulan la función de los músculos y el sistema nervioso (Mg)
- ⇒ Potente antioxidante que protege de enfermedades (Zn)

**Atributos nutraceuticos y nutricionales de *Pachycereus weberi***

Universidad Autónoma Chapingo  
Departamento de Fitotecnia  
Posgrado de Horticultura  
Gina Kelly Méndez Castillo  
Contacto:  
mendezgastilloginakelly@gmail.com

Los autores agradecen a los pobladores de las localidades de Cerro Gordo en el municipio de Cuayuca de Andrade, Totoltepec de Guerrero cabecera del municipio con el mismo nombre y Xaltianguis perteneciente al municipio de Izúcar de Matamoros ubicadas en la Mixteca Poblana, por su colaboración con el material vegetal de esta investigación.

### ¿Sabías que...

*Pachycereus weberi* es una cactácea columnar conocida como órgano, cardón, candelabro o chico?

- Únicamente crece en las zonas áridas y semiáridas de los Estados de Puebla, Morelos, Hidalgo, Oaxaca y Guerrero.
- En los meses de abril a junio producen abundantes frutos comestibles.

- Se analizaron frutos provenientes de tres localidades (Cerro Gordo, Totoltepec de Guerrero y Xaltianguis) ubicadas en la **Mixteca Poblana** y se determinó que:
  - Los frutos son redondos, pesan aproximadamente 84 gramos, la pulpa es de color roja con semillas negras y la cáscara tiene abundantes espinas amarillas.

### ¿Qué beneficios aporta el consumo de los frutos de *P. weberi*?

Los frutos tienen un alto contenido de agua, lo que puede ayudar a mantener la hidratación y contribuir a la sensación de saciedad.

Los frutos aportan en 100 g de pulpa fresca:

- Los **carbohidratos** proporcionan energía de manera rápida en forma de azúcares naturales.
- Los lípidos o **grasas** saludables pueden tener efectos positivos en la salud cardiovascular.
- Las **proteínas** son esenciales para la construcción y reparación de tejidos en el cuerpo.
- La **fibra** ayuda a mantener la salud del sistema digestivo al prevenir el cáncer de colon.