

COMPONENTES ANTIOXIDANTES Y NUTRICIONALES EN LOS FRUTOS SILVESTRES DE *Pachycereus weberi* (COULT.) BACKEB. DE LA MIXTECA POBLANA DE MÉXICO

Gina K. Méndez-Castillo¹, María del R. García-Mateos¹, Lyzbeth Hernández-Ramos¹, Ana M. Castillo-González¹ y Ma. Carmen Ybarra-Moncada²

RESUMEN

Pachycereus weberi es una cactácea columnar endémica de México. A pesar de la gran diversidad de investigaciones en frutos cactáceas, no existe información sobre los atributos nutraceuticos y nutricionales de esta especie silvestre. Se realizó una caracterización física, mineral, nutricional, y la determinación de los componentes antioxidantes en frutos provenientes de poblaciones silvestres de tres localidades de la Mixteca Poblana. El peso promedio en los frutos fue 84,21 g, con 43,86 % de pulpa y 56,14 % de epicarpio con espinas. Se encontraron concentraciones considerables de fósforo, calcio, magnesio, azufre y zinc, así como de lípidos, proteínas y carbohidratos. La concentración promedio de compuestos fenólicos totales fue 263,80 mg EAG 100 g⁻¹ peso fresco (p.f.); 6,19 mg EQ 100 g⁻¹ p.f. de flavonoides; 23,93 mg EAA 100 g⁻¹ p.f. de vitamina C; y, 19,41 mg 100 g⁻¹ p.f. de betalainas totales en la pulpa. Finalmente, la actividad antioxidante promedio por los métodos ABTS y FRAP fue 3,68 y 8,81 mM ET 100 g⁻¹ p.f., respectivamente. Los resultados de esta investigación contribuirán con información para revalorizar la conservación de esta especie, lo que podría impulsar su manejo en prácticas agrícolas sostenibles y destacar la importancia de la biodiversidad local, así como su aporte alimenticio.

Palabras clave adicionales: Actividad antioxidante, betalainas, cactáceas, compuestos fenólicos, especies silvestres

ABSTRACT

Antioxidant and nutritional components in wild fruits of *Pachycereus weberi* (coult.) backeb. from the Mixteca Poblana from Mexico

Pachycereus weberi is a columnar cactus endemic from Mexico. Despite the great diversity of research on fruits of other cacti, there is no information on the nutraceutical and nutritional attributes of this wild species. Therefore, in the present investigation physical, mineral, nutritional and antioxidant components on fruits from wild populations of three localities of the Mixteca Poblana. The average weight of the fruits was 84.21 g, with 43.86 % pulp and 56.14 % epicarp with spines. Considerable average concentrations of phosphorus, calcium, magnesium, sulfur and zinc were found, as well as lipids, proteins and carbohydrates. The average concentration of phenolic compounds was 263.80 mg GAE 100 g⁻¹ fresh weight (f.w.); 6.19 mg QE 100 g⁻¹ f.w. of flavonoids; 23.93 mg AAE g⁻¹ f.w. of vitamin C; and, 19.41 mg g⁻¹ f.w. of total betalains in the pulp. Finally, the average antioxidant activity by the ABTS and FRAP methods was 3.68 and 8.81 mM TE 100 g⁻¹ f.w., respectively. The results of this research will contribute with information to revalue the conservation of this species, which could promote its management in sustainable agricultural practices and highlight the importance of local biodiversity, as well as its nutritional contribution and the benefit to the health of consumers.

Additional Keywords: Antioxidant activity, betalains, cacti, phenolic compounds, wild species

Editor Asociado: Dra. Marie Tamara González.

INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas de México cubren aproximadamente dos tercios del país (Ocampo *et al.*, 2018), hábitat para una gran diversidad de la familia Cactaceae, como el género *Pachycereus*, que comprende cinco especies con preferencias de desarrollo en suelos calizos, asociados con distintas comunidades

vegetales (Arias y Terrazas, 2009; Linzaga *et al.*, 2011). La región de la Mixteca Poblana, situada en una zona semiárida, al sureste del estado de Puebla, presenta una vegetación típica de selva baja caducifolia. En esta área, se encuentra la especie *Pachycereus weberi*, cactácea endémica columnar que puede alcanzar hasta los 15 m de altura (Figura 1A), que se localiza también en los

Recibido: Marzo 25, 2025

Aceptado: Octubre 28, 2025

¹Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. e-mail: mendezcastilloginakelly@gmail.com; rosgar08@hotmail.com (autor de correspondencia); lyzr89@gmail.com; anasofiacasg@hotmail.com

²Instituto de Alimentos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. e-mail: ycydrive@gmail.com

estados de Guerrero, Hidalgo, Morelos y Oaxaca, donde se conoce comúnmente como órgano, candelabro, cardón o chico (Bravo y Sánchez, 1991; Arias y Terrazas, 2009).

Durante los meses de abril a junio, produce gran cantidad de frutos comestibles de color rojo, cubiertos de numerosas espinas setosas amarillas, que cuando alcanzan la madurez de consumo, el epicarpio se abre en cuatro partes y queda

expuesta la pulpa de color rojo púrpura con semillas negras (Figura 1B) (Anderson, 2001). Estos frutos son recolectados principalmente de huertos familiares o de plantas silvestres por los habitantes de la región (Luna y Aguirre, 2001), lo que permite que hagan uso racional de los recursos naturales, al obtener alimentos de temporada y preservar los ecosistemas locales (Díaz *et al.*, 2018).

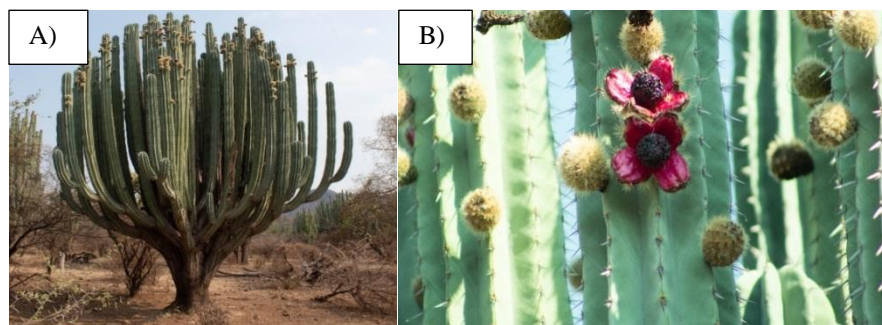


Figura 1. A) Planta adulta de *Pachycereus weberi* en la localidad de Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Puebla. B) Frutos maduros en el tallo. Fuente: Elaboración propia.

Los componentes nutraceuticos y nutricionales de los frutos silvestres de *P. weberi*, han sido poco estudiados; sin embargo, Sandate *et al.* (2020) realizaron un estudio del jugo de los frutos. Es un fruto poco aprovechado, y no se comercializa, lo que ha generado interés en investigar tales propiedades, motivado por estudios sobre el potencial nutraceutico de la pulpa y la cáscara de frutos de otras cactáceas con mayor demanda económica y consumo (López *et al.*, 2015; Ramírez *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2020). En años recientes, a nivel mundial, la carencia de buenos hábitos alimenticios y la falta de actividad física han aumentado el riesgo de desarrollar diversas enfermedades crónico-degenerativas (Swallah *et al.*, 2020). En respuesta a esta preocupación, los consumidores han mostrado mayor interés en adoptar dietas más saludables, por los beneficios asociados con la ingesta de alimentos que contengan no solo nutrientes básicos, sino también compuestos bioactivos que ayuden a prevenir enfermedades crónico-degenerativas (Hoti *et al.*, 2022). Con base a lo anterior, la investigación tuvo como objetivo determinar las características nutraceuticas y nutricionales de los frutos silvestres de *Pachycereus weberi* (Coulter) Backeb provenientes de tres localidades de la Mixteca Poblana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección del material vegetal y certificación taxonómica. La recolecta del material se llevó a cabo, aleatoriamente, de cinco ejemplares de cactus de cada localidad. Localidad 1 situada en Cerro Gordo en el Municipio de Cuayuca de Andrade (18° 27' 51,3" N, 98° 07' 16,1" W, altitud de 1447 m); Localidad 2 en Totoltepec de Guerrero, cabecera del mismo municipio (18° 12' 36,5" N 97° 51' 32,2" W, altitud de 1348 m) y Localidad 3, ubicada en Xaltianguis en el Municipio de Izúcar de Matamoros (18° 25' 44,5" N, 98° 29' 13,9" W, altitud de 1123 m), todas pertenecientes al estado de Puebla. Para su certificación se prepararon tres ejemplares de herbario, uno por cada localidad, identificados por el curador Maestro Antonio Cortés Jiménez y resguardados en el Herbario "Jorge Espinosa Salas" del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo los números de registro: 36232 (Localidad 1), 36233 (Localidad 2) y 36082 (Localidad 3).

Características edáficas de los sitios de recolecta Se analizó una muestra compuesta de suelo de cada una de las tres localidades donde se recolectaron los frutos, para conocer algunas

características de cada lugar (Cuadro 1). Los valores se interpretaron de acuerdo con los datos de referencia de Castellanos *et al.* (2000).

Condiciones climáticas. 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 del 2024 (Cuadro 2), fueron elegidas de acuerdo con la cercanía entre los

municipios donde se recolectó el material vegetal. Localidad 1 con precipitación anual de 473,8 mm (CONAGUA) y los meses de concentración de lluvia de acuerdo con el periodo libre de crecimiento (Ortiz, 1987) fueron de mayo a septiembre; la Localidad 2 con precipitación anual de 581,5 mm y mayor concentración de lluvia de mayo a septiembre; y la Localidad 3, con precipitación anual 555,4 mm y la concentración de lluvia de junio a septiembre.

Cuadro 1. 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 ⁻¹	Interpretación*	mg·kg ⁻¹	Interpretación	mg·kg ⁻¹	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 ₃	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⁻¹, M. O.: valor reportado en %, Mod.: moderadamente.

Cuadro 2. Condiciones climáticas (diurnas y nocturnas), de las estaciones meteorológicas cercanas a cada localidad de interés para la investigación.

Variable	EMA 1		EMA 2		EMA 3	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
T _μ (°C)	22,1	15,83	25,26	18,02	29,53	24,44
T _{min} (°C)	10	10,1	11,5	11,7	15,4	15,3
T _{máx} (°C)	30,6	23,9	34,5	25,9	39	30,7
RS (W/m ²)	494,22	0,01	465,09	0,01	867,87	0,01
HR (%)	42,71	67,87	41,79	68,86	30,3	41,99

*EMA: Estación Meteorológica Automatizada, T_μ: temperatura media, T_{min}: temperatura mínima, T_{máx}: temperatura máxima, RS: radiación solar y HR: humedad relativa.

Preparación del material biológico Se recolectaron 15 frutos cerrados (madurez fisiológica) y 15 frutos abiertos de cada cinco cactus por cada una de las tres localidades, antes

mencionadas, durante el mes de mayo de 2024. A los frutos abiertos se les retiró el epicarpio (cáscara), se dejó únicamente la pulpa con las

semillas y se almacenaron por 24 h a -20 °C para su posterior análisis.

Caracterización física. A los frutos cerrados se les eliminaron las espinas, con una cuchilla afilada, para medir las variables físicas: diámetro ecuatorial, longitud e índice de redondez. Estos resultados se utilizaron para determinar las formas de los frutos; aquellos con valor de uno se consideraron como frutos redondos o esféricos, menores a uno como ovalados, y mayores a uno como alargados (Juárez *et al.*, 2009). Las espinas se pesaron y se midieron en su grosor con un vernier digital (HER-411, Steren, MEX). En los frutos abiertos se determinó el peso total del fruto (con espinas) y el peso del epicarpio y mesocarpio, en una balanza electrónica (Scout™ Pro SP2001, Ohaus®, USA). Posteriormente, se calculó el porcentaje de epicarpio y mesocarpio; finalmente, con un vernier digital, se midió el grosor del epicarpio.

Cuantificación de minerales. La pulpa con semillas se deshidrató 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 y Mo de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (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). El porcentaje de N se determinó por el método micro Kjeldahl. Todos los valores fueron reportados en peso seco y para la comparación de datos con investigaciones similares, se realizó una conversión de peso seco (p.s.) a peso fresco (p.f.).

Análisis fisicoquímico. Se midió el pH con un potenciómetro (HI 2211, Hanna Instruments, USA) de una solución filtrada de 5 g de pulpa molida fresca 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 con una solución de NaOH 0,01 N, previamente valorada con biftalato de potasio. El contenido de azúcares solubles totales se determinó por el método de antrona propuesto por Witham *et al.* (1971). Los sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron con un refractómetro (N1, ATAGO, JAPAN) (0-32 %).

Análisis proximal. El análisis se realizó en la pulpa con semillas. Los porcentajes de humedad, cenizas, lípidos, proteínas (factor de conversión 6,25) y fibra cruda se determinaron por los métodos descritos por la AOAC (2005). El porcentaje de carbohidratos se calculó por diferencia con la fórmula: % carbohidratos = 100 - (humedad + cenizas + lípidos + proteínas + fibra cruda) de acuerdo con lo propuesto con Audu y Aremu (2011). Además, se determinó el valor energético mediante los factores promedio de Atwater de acuerdo con la AOAC (2005) y el resultado se expresó en kcal aportadas por 100 g de pulpa seca del fruto.

Extracción preliminar para la selección del disolvente. Se emplearon tres disolventes con diferente polaridad: acetona (80 % v/v), etanol (80 % v/v) y metanol (80 % v/v) con el fin de seleccionar el disolvente de mayor rendimiento para la extracción. Preliminarmente se cuantificaron los compuestos nutraceuticos en una muestra compuesta de frutos de *P. weberi* en madurez fisiológica provenientes únicamente de la Localidad 3, recolectados en el mes de mayo del 2023.

Preparación del extracto para análisis. La extracción se realizó por el método propuesto por Hernández *et al.* (2020) con modificaciones. Se maceró 1 g de pulpa fresca con semillas en 10 mL de acetona a 80 % (v/v), la mezcla se sometió a ultrasonido a temperatura ambiente a una frecuencia de 40 kHz por 10 min. El sobrenadante se separó y el residuo se sometió a otras dos extracciones. Los sobrenadantes se unieron, filtraron y aforaron a 25 mL con acetona a 80 % (v/v) para las evaluaciones de los compuestos fenólicos solubles, flavonoides y la actividad antioxidante. Para la extracción de los pigmentos betalaínas se realizó el mismo procedimiento con la pulpa y el epicarpio fresco separadamente; como disolvente se empleó metanol a 80 % (v/v).

Cuantificación de compuestos fenólicos 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 Na₂CO₃ 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 fresco (mg EAG 100 g⁻¹ p.f.).

Cuantificación de flavonoides totales. 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 AlCl₃ a 10 % (p/v), 0,1 mL de CH₃COOK (1 M) y 2,8 mL de agua destilada; la mezcla se incubó por 30 min. 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 ($y = 0,0152x - 0,0036$; $R^2 = 0,996$). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco (mg EQ 100 g⁻¹ p.f.).

Cuantificación de betalainas totales. Se cuantificaron las betalainas totales de acuerdo con la metodología propuesta por Stintzing *et al.* (2003). Se leyó la absorbancia del extracto metanólico a 483 nm y 538 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA). La concentración se determinó mediante la siguiente expresión: $B [mg\ g^{-1}] = (A \times FD \times PM \times V) / (\epsilon \times L \times P)$, 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⁻¹ para betanina y 308 g mol⁻¹ para indicaxantina), V = volumen final del extracto (mL), ϵ = coeficiente de extinción molar (60 000 L mol⁻¹ cm⁻¹ para betanina y 48 000 L mol⁻¹ cm⁻¹ para indicaxantina), L = longitud de la celda (1 cm), P = peso de la muestra (g). Los resultados del mesocarpio y el epicarpio se expresaron como contenido de betalainas totales por cada 100 mg de peso fresco (mg 100 g⁻¹ p.f.).

Cuantificación de vitamina C. Para determinar la concentración de vitamina C se empleó el método propuesto por Burdurlu *et al.* (2006) con modificaciones. Se maceró y filtró 1 g de pulpa fresca 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 decantación y a la fase orgánica del extracto se le adicionó Na₂SO₄ anhidro para eliminar restos de humedad. 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 ($y = -0,0036x + 0,3344$; $R^2 = 0,990$). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco (mg AA 100 g⁻¹ p.f.).

Determinación de actividad antioxidante

Método ABTS (Ácido 2,2-Azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)). Se utilizó el método descrito por Wu *et al.* (2006). Se prepararon dos soluciones, la primera del reactivo ABTS (ácido 2,2-Azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico, Sigma-Aldrich)), 7 mM en agua destilada, la segunda de persulfato de potasio 2,45 mM, y se combinaron en una proporción de 1:1, se dejó reposar la mezcla por 16 h en la oscuridad para permitir la generación del radical ABTS^{•+}. Posteriormente, se diluyó con etanol anhidro hasta una absorbancia de 0,70 ($\pm 0,05$) a una longitud de onda de 734 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10-S, Thermo Scientific, USA). Para determinar la capacidad antioxidante, se mezclaron 30 μ L del extracto acetónico (80 % v/v) y 3 mL de la solución del radical ABTS^{•+} 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: $\text{Inhibición (\%)} = ((A_i - A_f) / A_i) \times 100$; 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) ($y = 32,369x + 3,1669$; $R^2 = 0,985$). Los resultados se expresaron en mM de equivalentes de trolox por 100 g de peso fresco (mM ET 100 g⁻¹ p.f.).

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 0,5 mL de FeCl₃ 20 mM. Posteriormente, se mezclaron 100 μ L del extracto acetónico (80 % v/v), 3 mL de reactivo FRAP y 300 μ L de agua destilada; se incubó la

mezcla en baño termostático por 30 min a 37°C y oscuridad. 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) ($y=1,0375x - 0,0232$; $R^2=0,989$). Los resultados se expresaron en mM de equivalentes de trolox por 100 g de peso fresco ($\text{mM ET } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$).

Análisis estadístico. Para determinar el efecto del disolvente en la extracción de compuestos antioxidantes, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos (acetona, etanol y metanol a 80 % v/v), y cuatro repeticiones por duplicado. Las variables analizadas fueron: compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, betalainas totales, vitamina C y actividad antioxidante (ABTS y FRAP). Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias entre medias se evaluaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Para comparar las características de los frutos silvestres de *P. weberi* entre las tres localidades de recolecta, se empleó un DCA con tres tratamientos (localidades) y cinco repeticiones (cactáceas columnares por localidad). La unidad experimental estuvo constituida por frutos cerrados y abiertos (madurez fisiológica). Los datos se analizaron mediante un ANOVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). En ambos casos, los resultados se expresaron como la media \pm error estándar y el análisis estadístico se realizó con el programa SAS, versión 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física. No se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las variables físicas de los frutos silvestres de *P. weberi* entre localidades, con excepción del índice de redondez, el grosor de espinas y el peso del epicarpio (Cuadro 3).

Los intervalos del diámetro ecuatorial (4,52-4,83 cm) y de la longitud del fruto (5,23- 5,90 cm) fueron similares a lo señalado por Barrios *et al.* (2020), quienes reportaron medias de 4,67 y 5,80 cm, respectivamente, en frutos de la misma especie provenientes de tres localidades del estado de Guerrero. Al respecto, Sandate *et al.* (2020)

encontraron medias de 4,87 y 6,25 cm para el diámetro ecuatorial y longitud, respectivamente, en frutos de *P. weberi* recolectados en Ahuatlán (Puebla, México). Estas características difieren de lo observado en otras especies del mismo género como en los frutos silvestres de *Pachycereus pecten-aboriginum* y *P. pringlei* provenientes de regiones semiáridas del noroeste de México, específicamente de localidades del estado de Sonora descritos por Aispuro *et al.* (2023) quienes determinaron que ambas especies producen frutos predominantemente esféricos.

El peso y el grosor de las espinas se consideraron variables importantes, debido a que los frutos de *P. weberi* presentan espinas setosas que permanecen adheridas al pericarpio independientemente del grado de madurez (Arias y Terrazas, 2009) (Figura 2), a diferencia de lo que ocurre en los frutos de otras cactáceas columnares como las pitayas (*Stenocereus* sp.), cuyas espinas son deciduas y se desprenden en la madurez fisiológica (Rosas *et al.*, 2016). En relación con el grosor del epicarpio, el intervalo observado en las tres localidades fue 6,76 a 7,67 mm (Cuadro 3). Ante la ausencia de información publicada sobre el grosor del epicarpio en frutos de *P. weberi*, se realizó una comparación con los valores promedio reportados para otras cactáceas del género *Opuntia*, los cuales corresponden a 4,60 mm en tunas, 11,69 mm en xoconostles y 7,33 mm en xocotunas (Monroy *et al.*, 2017). En este sentido, el valor de las xocotunas resultó numéricamente cercano al encontrado en la presente investigación, las diferencias podrían atribuirse a la variabilidad genética que existe entre géneros.

Cuantificación de minerales. Los minerales evaluados en los frutos no mostraron diferencias significativas entre localidades (Cuadro 4), con excepción del zinc. En la Localidad 1 se registró el mayor promedio de Zn ($0,51 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$), en comparación con las otras localidades. Aunque las características edafoclimáticas de las localidades no fueron incluidas en el análisis estadístico, podrían hipotéticamente explicar en parte que el contenido de Zn en frutos difiere entre localidades. A nivel de suelo, la disponibilidad de Zn depende no sólo de la concentración total del elemento, sino también de algunas propiedades como el pH y la materia orgánica presente. La Localidad 1 presentó un pH cercano a neutro y baja conductividad eléctrica, condiciones que suelen favorecer la

disponibilidad de Zn disuelto para la absorción radicular (Barrow y Hartemink, 2022); mientras que la Localidad 3 mostró la mayor concentración de Zn en suelo, pero también mayor contenido de materia orgánica y pH moderadamente alcalino, factores que podrían reducir la fracción disponible

para la planta (Parveen *et al.*, 2024). En contraste, la Localidad 2 presentó la menor cantidad de Zn en los frutos, lo cual pudiera ser un reflejo de la calidad del suelo como el bajo contenido de materia orgánica (Cuadro 1).

Cuadro 3. 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
^Z Diámetro ecuatorial (cm)	4,52 ± 0,18 a	4,83 ± 0,21 a	4,67 ± 0,18 a
^Z Longitud (cm)	5,90 ± 0,29 a	5,82 ± 0,28 a	5,23 ± 0,21 a
^Z Índice de redondez	1,31 ± 0,07 a	1,21 ± 0,04 ab	1,13 ± 0,05 b
^Z Peso de espinas (g)	2,65 ± 0,80 a	2,82 ± 0,58 a	2,25 ± 0,36 a
^Z Grosor de espinas (mm)	0,15 ± 0,02 ab	0,19 ± 0,01 a	0,13 ± 0,01 b
^Y Grosor de epicarpio (mm)	6,76 ± 0,29 a	7,24 ± 0,28 a	7,67 ± 0,28 a
^Y Peso total del fruto (g)	72,97 ± 11,16 a	95,45 ± 8,44 a	84,23 ± 6,74 a
^Y Peso de mesocarpio (g)	33,73 ± 6,36 a	42,80 ± 5,15 a	35,37 ± 2,98 a
^Y Peso de epicarpio (g)	39,24 ± 5,40 b	52,55 ± 3,74 a	48,86 ± 4,28 ab
^Y Mesocarpio (%)	45,30 ± 2,39 a	44,25 ± 2,24 a	42,03 ± 1,32 a
^Y 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 ($p \leq 0,05$). ^Z: variables evaluadas en frutos cerrados, ^Y: variables evaluadas en frutos abiertos, Localidad 1: Cerro Gordo, Cuauyaca de Andrade, Pue.; Localidad 2: Totoltepec de Guerrero, Totoltepec de Guerrero, Pue; Localidad 3: Xaltianguis, Izúcar de Matamoros, Pue.

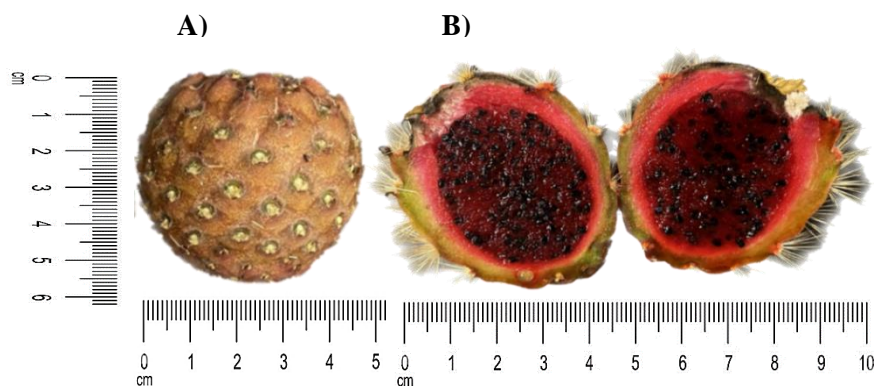


Figura 2. Fruto sin espinas (A) y en madurez fisiológica (B).

Asimismo, el contenido de Zn fue superior al reportado en otras cactáceas como pitahayas de pulpa roja (*Hylocereus ocamponis*) y pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) (0,16 y 0,28 mg 100 g⁻¹ p.f., respectivamente) (Hernández *et al.*, 2020).

El consumo de Zn a través de los alimentos que contienen este micronutriente, como los frutos de *P. weberi*, resulta relevante al ser un oligoelemento esencial que participa en la señalización directa en todos los niveles de transducción celular, en la

prevención de la formación de radicales libres, así como, en la protección de las estructuras biológicas y funciones del sistema inmunológico (Rosas y Covarrubias, 2020).

Además, se observó que los frutos silvestres de las tres localidades presentaron altas concentraciones de fósforo, calcio, magnesio, azufre y manganeso en comparación con *P. pecten-aboriginum* y *P. pringlei*. En dichas especies, Aispuro *et al.* (2023) reportaron que el potasio fue el elemento más abundante,

seguido del fósforo y el magnesio, patrón que difiere a lo observado en *P. weberi*.

En particular, los frutos de *P. weberi* mostraron intervalos de concentraciones superiores de algunos minerales en comparación con los valores reportados en otras cactáceas como fósforo (54,36- 67,55 mg 100 g⁻¹ p.f.); calcio (18,38-24,32 mg 100 g⁻¹ p.f.); magnesio (43,04-46,12 mg 100 g⁻¹ p.f.); azufre (49,06-56,87 mg 100 g⁻¹ p.f.); y,

manganeso (0,50-0,53 mg 100 g⁻¹ p.f.). En frutos de pitahayas de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) y roja (*H. ocamponis*) se ha documentado menores concentraciones de fósforo (19,43 y 14,66 mg 100 g⁻¹ p.f.); de calcio (8,33 y 6,66 mg 100 g⁻¹ p.f.); de magnesio (33,31 y 23,99 mg 100 g⁻¹ p.f.); azufre (13,88 y 14,66 mg 100 g⁻¹ p.f.); y manganeso (0,08 y 0,05 mg 100 g⁻¹ p.f.), respectivamente (Hernández *et al.*, 2020).

Cuadro 4. 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 ⁻¹)	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3
N (%)	3,27 ± 0,20 a	3,26 ± 0,69 a	2,63 ± 0,16 a
P	237,79 ± 26,05 a	223,88 ± 14,58 a	258,44 ± 22,00 a
K	185,89 ± 20,12 a	153,71 ± 11,55 a	162,12 ± 23,26 a
Ca	91,81 ± 8,30 a	83,38 ± 5,67 a	70,74 ± 5,64 a
Mg	172,57 ± 7,87 a	177,01 ± 10,83 a	176,39 ± 10,68 a
S	217,60 ± 4,64 a	201,46 ± 6,31 a	199,64 ± 11,25 a
Fe	7,90 ± 3,41 a	3,06 ± 0,46 a	2,49 ± 0,08 a
Zn	1,96 ± 0,19 a	1,47 ± 0,05 b	1,49 ± 0,10 ab
Mn	2,00 ± 0,43 a	2,07 ± 0,43 a	1,92 ± 0,18 a
Cu	0,79 ± 0,05 a	0,72 ± 0,15 a	0,54 ± 0,07 a
B	1,50 ± 0,15 a	1,53 ± 0,07 a	1,54 ± 0,13 a
Mo	0,44 ± 0,21 a	0,43 ± 0,15 a	0,40 ± 0,10 a

*Todos los datos se expresan como la media ± error estándar de cinco repeticiones con valores reportados en peso seco (p.s.). 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.

Propiedades fisicoquímicas y proximales.

Las variables donde se encontró diferencias significativas, entre localidades, fueron el pH, contenido de carbohidratos, cenizas y proteínas. Los frutos recolectados en la Localidad 3 presentaron el mayor valor de pH (5,60) y porcentaje de carbohidratos (14,66 %) en comparación con las otras localidades. Las Localidades 1 y 2 destacaron por los valores más altos de proteína (Cuadro 5). Cabe precisar que no se pudo establecer una relación directa del contenido menor de cenizas en la Localidad 2 con la concentración de minerales en el fruto.

Estas diferencias nutricionales entre localidades se han reportado en varias especies de la familia Cactaceae, que muestran que los factores edafoclimáticos alteran la síntesis de algunos metabolitos; por consiguiente, la composición en los frutos y tejidos. En *Opuntia*

ficus-indica se encontró que el incremento en las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio no solo mejora el rendimiento (producción de fruto, número de cladodios), sino que también la calidad del fruto, incluida la concentración de azúcares solubles (Kumar *et al.*, 2021), lo que podría explicar las diferencias halladas en los frutos de la presente investigación.

Cabe señalar que en las características edáficas y climáticas de cada localidad (Cuadros 1 y 2) se incluyeron únicamente como información contextual, sin formar parte del análisis estadístico aplicado a las variables evaluadas en los frutos; sin embargo, estos factores podrían explicar las diferencias observadas entre localidades. En el caso de la Localidad 3, el suelo presentó alto contenido de materia orgánica, P, K, Ca y Mg (Cuadro 1), junto con unas condiciones climáticas más cálidas (Cuadro 2), lo que probablemente

favoreció la acumulación de carbohidratos y provocó un pH más alto, en los frutos, conduciendo a un metabolismo similar a lo documentado en *Opuntia* (Kivrak *et al.*, 2018). En contraste, las

Localidades 1 y 2, presentaron mayores niveles de nitrato en el suelo, lo que favoreció la síntesis de proteínas, como ocurre también en *Opuntia* por el aporte de nitrógeno (Kumar *et al.*, 2021).

Cuadro 5. 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 ⁻¹)	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 ⁻¹)	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. AST: Azúcares solubles totales.

Cuantificación de los componentes antioxidantes. De acuerdo con los resultados de la evaluación de disolventes la mejor extracción de los compuestos fenólicos totales, así como de flavonoides totales, fue realizada con acetona 80 % (v/v); los extractos superaron de manera significativa los valores obtenidos con etanol y metanol (Cuadro 6). Esta afinidad basada en la polaridad disolvente-metabolito coincide con lo reportado en *Opuntia stricta*, donde el disolvente más eficiente para la recuperación de compuestos fenólicos, flavonoides y la determinación de la actividad antioxidante, resultó ser la acetona (Mannoubi, 2023).

En contraste, el extracto metanólico presentó los valores más altos en la extracción de betalainas por su elevada polaridad, lo que facilitó la disolución de estos pigmentos, fenómeno también observado en *Opuntia stricta* var. *dillenii* (Gómez *et al.*, 2021). Estos resultados permitieron elegir el disolvente para la extracción de cada grupo de metabolitos.

Con base a la selección del disolvente de mayor rendimiento en la extracción, se encontró que el intervalo de las concentraciones de los compuestos fenólicos totales encontradas en *P. weberi*

(241,16-305,20 mg EAG 100 g⁻¹ p.f.) de las tres localidades resultaron superiores a los valores reportados para otras cactáceas como tunas, xoconostles y pitahayas (Cuadro 7). Ramírez *et al.* (2015) señalaron en *Opuntia* sp. (Alteña Blanca) y *O. ficus indica* (Copena VI) valores máximos de 153,18 y 137,85 mg EAG 100 g⁻¹ p.f., respectivamente. De manera similar, López *et al.* (2015) reportaron concentraciones de 224,32 y 231,37 mg EAG 100 g⁻¹ p.f. en genotipos silvestres de xoconostles (*Opuntia matudae*, Rojo Sainero y *O. sainaltense*, Chaveñito, respectivamente). Mientras que, en pitahayas cultivadas de pulpa blanca y roja, Hernández *et al.* (2020) observaron valores aún menores a 126,03 y 132,47 mg EAG 100 g⁻¹ p.f., respectivamente. Estos resultados muestran el potencial para su consumo de los frutos de *P. weberi* por el mayor contenido de fenólicos en comparación con otras cactáceas estudiadas.

En el presente estudio, no se encontraron diferencias significativas del contenido de compuestos fenólicos totales, así como de flavonoides entre localidades. El contenido de flavonoides en *P. weberi* presentó un intervalo de 13,27-16,45 mg EQ 100 g⁻¹ p.f., estos valores

fueron considerablemente menores a los reportados por Aispuro *et al.* (2023), quienes cuantificaron entre 55 y 60 mg EQ 100 mL⁻¹ de jugo de frutos de *P. pecten-aboriginum* y *P. pringlei*. Estas diferencias pueden atribuirse principalmente al método de extracción, la matriz del alimento evaluado (González *et al.*, 2021) y a

factores genéticos propios de cada especie del género *Pachycereus*, así como a las condiciones ambientales y edáficas de las regiones de recolecta, que influyen directamente en la biosíntesis de metabolitos secundarios como los flavonoides (Mocan *et al.*, 2017).

Cuadro 6. Evaluación de disolventes para la extracción de componentes y actividad antioxidante de la pulpa de frutos silvestres de *Pachycereus weberi*.

Variables evaluadas	Disolventes		
	Acetona (80 %)	Etanol (80 %)	Metanol (80 %)
Compuestos fenólicos solubles (mg EAG 100 g ⁻¹)	352,62 ± 27,41 a	285,28 ± 10,84 b	267,67 ± 31,28 b
Flavonoides (mg EQ 100 g ⁻¹)	16,45 ± 2,13 a	14,05 ± 1,23 a	13,27 ± 1,21 a
Betalaínas totales (mg 100 g ⁻¹)	8,54 ± 2,60 c	13,05 ± 0,72 b	18,41 ± 1,75 a
Betacianinas (mg 100 g ⁻¹)	3,89 ± 1,30 c	6,74 ± 0,37 b	9,63 ± 0,95 a
Betaxantinas (mg 100 g ⁻¹)	4,65 ± 1,30 b	6,31 ± 0,36 b	8,77 ± 0,80 a
AA por ABTS (mM ET 100 g ⁻¹)	3,82 ± 0,83 a	3,96 ± 1,09 a	2,97 ± 0,33 a
AA por FRAP (mM ET 100 g ⁻¹)	4,97 ± 0,30 a	3,92 ± 0,08 b	3,99 ± 0,24 b

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 ($p \leq 0.05$). EAG: equivalentes de ácido gálico, EQ: equivalentes de quercetina, ET: equivalentes de trolox (ácido 6-hidroxi 2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico).

El intervalo de las concentraciones de betalaínas totales (17,54-20,72 mg 100 g⁻¹ p.f.) de las tres localidades superó al valor reportado por Hernández *et al.* (2020) en pitahayas rojas (15,94 mg 100 g⁻¹); en el mismo estudio se demostró que el epicarpio (cáscara) de la pitahaya contiene más betalaínas totales (12,21 mg 100 g⁻¹ p.f.) en comparación con los valores encontrados en la presente investigación (Cuadro 7). Los valores de estos pigmentos en *P. weberi* podrían explicarse fisiológicamente debido a la protección física que brindan las espinas del epicarpio; es importante destacar que los frutos de la Localidad 3 presentaron menores concentraciones de betacianinas y betaxantinas, lo que se refleja físicamente en una menor pigmentación tanto en el epicarpio como en el mesocarpio y coincidió con una mayor cantidad de espinas. En este género el pericarpio está recubierto por espinas setosas que contrarrestan el efecto de la radiación

incidente sobre la superficie del fruto (Arias y Terrazas, 2009). Por consiguiente, la planta requiere menor acumulación de pigmentos fotoprotectores en la epidermis para mitigar el estrés lumínico, en comparación con las especies de otras cactáceas, como las pitahayas que los frutos exhiben brácteas (Hernández *et al.*, 2020) y necesitan una mayor protección química; algunos estudios muestran que las espinas reducen la radiación fotosintética activa incidente y modifica las respuestas de fotoprotección (Loik, 2008). Es importante señalar que únicamente se encontraron diferencias significativas del contenido de betaxantinas en el epicarpio de las Localidades 1 y 2 entre la Localidad 3, lo que indicó que en esta última el pericarpio presentó un poco menor en la intensidad de coloración roja.

Las concentraciones de vitamina C encontradas en las tres localidades (Cuadro 7) coinciden con las reportadas por Sandate *et al.* (2020) (27,19 mg

EAA 100 g⁻¹ p.f.) en frutos de la misma especie. Estos valores fueron superiores a los observados en los frutos de otras cactáceas como en el genotipo de xoconostle “Cuaresmeño blanco” (13,46 mg EAA 100 g⁻¹ p.f.) (López *et al.*, 2015), mientras que en pitahayas de pulpa blanca y roja se encuentran registradas concentraciones de 8,50 y 10,13 mg EAA 100 g⁻¹ p.f., respectivamente (Hernández *et al.*, 2020). Estas diferencias coinciden con lo reportado en especies silvestres

en comparación con las cultivadas, debido a que las primeras suelen actuar como reservorios más ricos en metabolitos secundarios lo que explica los valores mayores, como parte del mecanismo de defensa (Mocan *et al.*, 2017). Aunque también intervienen otros factores como la variabilidad genética, la localización geográfica, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo y el estado de madurez de los frutos (López *et al.*, 2015; Mocan *et al.*, 2017).

Cuadro 7. Comparación de medias de los componentes antioxidantes de los frutos de *P. weberi* provenientes de tres localidades ubicadas en la Mixteca Poblana.

Variables		Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3
Compuestos fenólicos totales (mg EAG 100 g ⁻¹)		242,16 ± 17,78 a	305,20 ± 34,26 a	244,04 ± 17,02 a
Flavonoides (mg EQ 100 g ⁻¹)		5,93 ± 0,15 a	6,20 ± 0,34 a	6,45 ± 0,44 a
Betalaínas Totales (mg 100 g ⁻¹)	Mesocarpio	19,97 ± 2,33 a	20,72 ± 1,64 a	17,54 ± 1,43 a
	Epicarpio	8,03 ± 1,07 a	5,87 ± 0,85 a	4,91 ± 0,58 a
Betacianinas (mg 100 g ⁻¹)	Mesocarpio	9,50 ± 0,86 a	9,96 ± 1,00 a	9,77 ± 0,70 a
	Epicarpio	3,66 ± 0,53 a	2,61 ± 0,51 a	2,36 ± 0,27 a
Betaxantinas (mg 100 g ⁻¹)	Mesocarpio	10,47 ± 1,72 a	10,76 ± 0,71 a	7,77 ± 0,75 a
	Epicarpio	4,37 ± 0,61 a	3,26 ± 0,37 ab	2,55 ± 0,31 b
Vitamina C (mg EAA 100 g ⁻¹)		22,55 ± 2,02 a	20,65 ± 0,96 a	28,58 ± 2,90 a
AA por ABTS (mM ET 100 g ⁻¹)		2,83 ± 0,44 b	4,47 ± 0,43 a	3,73 ± 0,30 ab
AA por FRAP (mM ET 100 g ⁻¹)		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, Cuauyaca 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.

Se encontró que los frutos de *P. weberi* presentaron un intervalo de actividad antioxidante de 2,83-4,47 mM ET 100 g⁻¹ p.f. por el método ABTS, diferente al observado por el método por FRAP (2,69-3,23 mM ET 100 g⁻¹ p.f.); lo cual se podría explicar debido al fundamento y la sensibilidad de cada método. El primero se basa en la formación del radical ABTS, los antioxidantes de la muestra neutralizan al radical ABTS mediante la transferencia de electrones u átomos de hidrógeno (Kuskoski *et al.*, 2005). En contraste, el método FRAP mide la capacidad de los antioxidantes de la muestra para reducir el complejo férrico incoloro al complejo ferroso de

color intensamente azul en medio ácido (pH 3,6) (Benzie y Strain, 1996).

Los resultados de la actividad antioxidante en *P. weberi* fueron considerablemente superiores a lo descrito por Sandate *et al.* (2020) en frutos de la misma especie; valores promedios de 0,86 mM ET 100 g⁻¹ p.f. por el método ABTS y 0,27 mM ET 100 g⁻¹ p.f. para el método FRAP. Estas diferencias podrían atribuirse principalmente a la manipulación de los frutos y a las condiciones de extracción empleadas como se ha reportado en frutos de otras familias (González *et al.*, 2009). Sandate *et al.* (2020) trabajaron con extractos acuosos clarificados de pulpa sin semillas para la obtención de un jugo, mientras que en el presente

estudio para la preparación del extracto fruto con semillas se empleó como disolvente acetona a 80 % (v/v). Un factor que podría influir fue el proceso de clarificación, porque la eliminación de los sólidos suspendidos en el jugo puede remover metabolitos secundarios ligados a la fibra o a partículas en suspensión, lo que puede provocar una disminución en la capacidad antioxidante (González *et al.*, 2009; González *et al.*, 2021). Además, es importante señalar que, en diversas cactáceas, las semillas se han identificado como una fuente rica en compuestos bioactivos, particularmente tocoferoles y flavonoides que potencian la actividad antioxidante (Nounah *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

El análisis de los frutos silvestres de *Pachycereus weberi* provenientes de tres localidades de la Mixteca Poblana mostró que, aunque comparten características antioxidantes y nutricionales relevantes, existen algunas diferencias que permiten destacar el potencial particular de los frutos de cada zona. Los frutos de la Localidad 1 (Cerro Gordo, Cuauyaca de Andrade) sobresalieron por su mayor contenido de proteínas, cenizas y zinc, cualidades que los posicionan como una alternativa con potencial para su procesamiento y aprovechamiento. Los frutos de la Localidad 2 (Totoltepec de Guerrero) se caracterizaron por su actividad antioxidante elevada, lo que refuerza el valor funcional de esta especie. En contraste, en la Localidad 3 (Xaltianguis, Izúcar de Matamoros) los frutos presentaron mayor pH y contenido de carbohidratos, lo que los hace más adecuado para consumo fresco debido a su menor acidez y mayor dulzor. Los resultados son una contribución que confirma que los frutos de *P. weberi* pueden considerarse un alimento potencialmente funcional de gran valor nutracéutico. Se destaca la importancia de continuar con la investigación y promoción de estos frutos silvestres para fomentar su consumo, revalorizar la biodiversidad local y fortalecer la conservación de especies subutilizadas y sus ecosistemas.

LITERATURA CITADA

1. Aispuro-Hernández, E., M.J. Vergara-Jiménez, F.I. Cárdenas-Torres, I. Lagarda-

- Díaz, M.A. Martínez-Téllez, M.J. Soto-Córdova *et al.* 2023. Fruit juices of etcho (*Pachycereus pecten-aboriginum*) and giant cardon (*Pachycereus pringlei*) are sources of health-promoting ingredients with potential anticancer properties. *Plant Foods for Human Nutrition* 78: 728-734.
2. Alcántar-González, G., y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
3. Anderson, E.F. 2001. The Cactus family. Timber Press. Phoenix, Arizona.
4. AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist (18th ed.).
5. Arias, S. y T. Terrazas. 2009. Taxonomic Revision of *Pachycereus* (Cactaceae). *Systematic Botany* 34(1): 68-83.
6. Audu, S.S. y M.O. Aremu. 2011. Effect of processing on chemical composition of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *Pakistan Journal of Nutrition* 10(11): 1069-1075.
7. Barrios-Giles, T., C. Catalán-Heverástico, A.J. Correa-López, J.M. Castro-Salas y A. Martínez-Flores. 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.
8. Barrow, N.J. y A.E. Hartemink. 2022. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant Soil* 487: 21-37.
9. Benzie, I.F. y J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239(1): 70-76.
10. Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México Vols. II y III. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
11. Burdurlu, H.S., N. Koca y F. Karadeniz. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering* 74(2): 211-216.
12. Castellanos, Z.J., J.X. Uvalle, B. y S.A. Aguilar. 2000. Manual de Interpretación de

- Análisis de Suelos y Agua (2a ed.). Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México.
13. Chang, C.C., M.H. Yang, H.M. Wen y J.C. Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10(3): 178-182
 14. Díaz, J.J., V. Morales-Ríos, H. García-Martínez y J. Tepole-Pérez. 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.
 15. Gómez-López, I., G. Lobo-Rodrigo, P.M. Portillo y M.P. Cano. 2021. Characterization, stability, and bioaccessibility of betalain and phenolic compounds from *Opuntia stricta* var. *dillenii* fruits and products of their industrialization. *Foods* 10(7): 1593.
 16. González, F.P., V.C. Saucedo y R.D. Guerra. 2021. Post-harvest quality and quantification of betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in fruits of three cultivars of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill). *Journal of Horticultural Sciences* 16(1): 1-26.
 17. González-Aguilar, G.A., E. Álvarez-Parrilla, L. de la Rosa, I.G. Olivas y J.F. Ayala-Zavala. (Eds.). 2009. Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. Ed. Trillas: CIAD-UACJ. México.
 18. Hernández-Ramos, L., M.R. García-Mateos, A.M. Castillo-González, C. Ybarra-Moncada y R. Nieto-Ángel. 2020. Fruits of the pitahaya *Hylocereus undatus* and *H. ocamponis*: nutritional components and antioxidants. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 93: 197-203.
 19. Hoti, G., A. Matencio, A. Rubin-Pedrazzo, C. Cecone, S.L. Appleton, Y. Khazaei-Monfared *et al.* 2022. Nutraceutical Concepts and Dextrin-Based Delivery Systems. *International Journal of Molecular Sciences* 23(8): 1-47
 20. Juárez-Sandoval, I., F.J. Ramírez-Mireles y T. Cruz-Hernández. 2009. Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpusii*) de Jalisco, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 8(2): 115-122.
 21. Kivrak, S., I. Kivrak y E. Karababa. 2018. Analytical evaluation of phenolic compounds and minerals of *Opuntia robusta* J.C. Wendl. And *Opuntia ficus-barbarica* A. Berger. *International Journal of Food Properties*, 21(1): 229-241.
 22. Kumar, S., M. Louhaichi, P. Dana-Ram, K. Kumar-Tirumala, S. Ahmad., A. Kumar-Rai *et al.* 2021. Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Productivity, Proximal Composition and Soil Parameters as Affected by Planting Time and Agronomic Management in a Semi-Arid Region of India. *Agronomy* 11(8): 1647.
 23. Kuskoski, E.M., A.G. Asuero, A.M. Troncoso, J. Mancini-Filho y R. Fett. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos Campinas* 25(4): 726-732.
 24. Linzaga-Román, B.E., G. Ángeles-Pérez, C. Catalán-Heverástico y P. Hernández-Rosa. 2011. Estructura espacial de *Pachycereus weberi* (Coul.) Backeb. en la Cañada del Zopilote, Guerrero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 189-198.
 25. Loik, M.E. 2008. The effect of cactus spines on light interception and Photosystem II for three sympatric species of *Opuntia* from the Mojave Desert. *Physiol Plant* 134(1):87-98.
 26. López, C.R., M.R. García-Mateos, C. Gallegos-Vázquez y J. Sahagún-Castellanos. 2015. Antioxidant components and nutritional quality of 15 genotypes of Xoconostle (*Opuntia* spp.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 17: 33-49.
 27. Luna-Morales, C.C. y J.R. Aguirre 2001. Clasificación tradicional, aprovechamiento y distribución ecológica de la pitaya mixteca en México. *Interciencia* 26(1): 18-24.
 28. Mannoubi, I. 2023. Impact of different solvents on extraction yield, phenolic composition, *in vitro* antioxidant and antibacterial activities of deseeded *Opuntia stricta* fruit. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences* 9: 176-184.

29. Mocan, A., G. Zengin, M. Simirgiotis, M. Schafberg, A. Mollica, D.C. Vodnar *et al.* 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.
30. Monroy-Gutiérrez, T., M.T. Martínez-Damián, A.F. Barrientos-Priego, C. Gallegos-Vázquez, J.E. Rodríguez-Pérez y M.T.B. Colinas-León. 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.
31. Nounah I., S. El-Harkaoui, A. Hajib, S. Gharby, H. Harhar, A. Bouyahya *et al.* 2024. Effect of seed's geographical origin on cactus oil physico-chemical characteristics, oxidative stability, and antioxidant activity. *Food Chem.* 22: 10144533.
32. Ocampo-Fletes, I., F. Parra-Inzunza y Á.E. Ruiz-Barbosa. 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.
33. Ortiz-Solorio, C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa con aplicaciones a la República Mexicana. Universidad Autónoma Chapingo. México.
34. Parveen, H., C.P. Sankar, K. Sunil, F. Ayesha, S. Shreya, K.M. Ajit *et al.* 2024. A review on Distribution and mobility of Zinc in soil under climate change scenario. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews Journal* 12 (2): 90-97.
35. Ramírez-Ramos, M., K. Medina-Dzul, R. García-Mateos, J. Corrales-García, C. Ybarra-Moncada y A.M. Castillo-González. 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.
36. Ramírez-Ramos, M., M.R. García-Mateos, J. Corrales-García, C. Ybarra-Moncada y A.M. Castillo-González. 2015. Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(4): 349-357.
37. Rosas-Benítez, A., L. Trujillo-Cárdenas, S. Valle-Guadarrama, Y. Salinas-Moreno y L. García-Cruz. 2016. Quality attributes of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 22(3): 191-207.
38. Rosas-Romero, R. y A. Covarrubias-Gómez. 2020. El papel del zinc en la salud humana. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* 58(4): 477-485.
39. Sandate-Flores, L., E. Romero-Esquivel, J. Rodríguez-Rodríguez, M. Rostro-Alanis, E.M. Melchor-Martínez, C. Castillo-Zacarías, P.R. *et al.* 2020. Functional attributes and anticancer potentialities of chico (*Pachycereus weberi*) and jiotilla (*Escontria chiotilla*) fruits extract. *Plants* 9(11): 1-17.
40. Singleton, V.L. y J.A. Rossi 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
41. Soto-García, M. y M. Rosales-Castro. 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 sideroxyla*. *Ciencia y Tecnología* 18(4): 701-714.
42. Stintzing, F.C., A. Schieber y R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology* 216(4): 303-311.
43. Swallah, M.S., H. Sun, R. Affoh, H. Fu y H. Yu. 2020. Antioxidant potential overviews of secondary metabolites (polyphenols) in fruits. *International Journal of Food Science* 2020: 1-8.
44. Witham, F.H., D.F. Blaydes y R.M. Devlin. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold C. New York.
45. Wu, L.C., H.W. Hsu, Y.C. Chen, C.C. Chiu, Y.I. Lin y J.A. Ho. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry* 95(2): 319-327.