

EVALUACIÓN DE METABOLITOS BIOACTIVOS EN MUCÍLAGO Y POLIFENOLES DE *OPUNTIA* SPP. Y SU ACCIÓN ANTIOXIDANTE^a

EVALUATION OF BIOACTIVE METABOLITES IN MUCILAGE AND POLYPHENOLS OF *OPUNTIA* SPP. AND THEIR ANTIOXIDANT ACTIVITY

García-Saucedo, P.A.¹; Raya-Montaño, Y.A.^{1*}; Martínez-Infante, F. R¹.; Apáez-Barrios, P.²

¹Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas s/n, esq. Berlín, Colonia Viveros, CP. 60190. Uruapan, Michoacán, México.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Prolongación de la calle Mariano Jiménez s/n, Col. El Varillero, CP. 60670. Apatzingán, Michoacán, México.

* E-mail: yurixhi@umich.mx

Fecha de envío: 06, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, julio, 2025

Resumen:

El nopal (*Opuntia* spp.) es una planta originaria de América, adaptada a zonas áridas mediante un metabolismo tipo MAC, que reduce significativamente la pérdida de agua. México es el principal centro de diversidad de esta especie, con múltiples variedades tanto silvestres como cultivadas. Además de su importancia ecológica, el nopal tiene usos alimenticios, forrajeros, medicinales y nutraceuticos, gracias a sus compuestos bioactivos. El mucilago del nopal es un hidrocoloide vegetal formado principalmente por amilosa y amilopectina. Su estructura polimérica le confiere propiedades hidrofílicas y una alta viscosidad. Entre sus componentes se encuentran compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y antiinflamatoria, como los flavonoides, especialmente los flavonoles como la quercetina, cuya capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) ayuda a prevenir el estrés oxidativo y enfermedades crónicas. La presente investigación se realizó en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la UMSNH con el objetivo de determinar el contenido de mucilago, de compuestos fenólicos totales, de flavonoides y la capacidad antioxidante de distintos genotipos de *Opuntia*. Las recolectas de nopal se realizaron en agosto del 2023 a abril del 2024. Se encontró que el mayor rendimiento de mucilago se obtuvo en el cultivar de nopal tunero rojo con 0.04 gps/gpf, equivalente al 0.4 % del peso del cladodio. Este genotipo presentó también los niveles más altos de fenoles totales (1.768 mg EAG/gps) y flavonoides (0.105 mg EQ/gps). Además, mostró la mayor actividad antioxidante frente a los radicales DPPH (96.53 %) y ABTS+ (91.4 %), así como una capacidad antioxidante general de 0.9 mg EAG/gps, lo que destaca su potencial funcional y nutraceutico.

Palabras clave: Nopal, fenoles, antioxidantes.

^a Tesis

Abstract:

The prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) is a plant native to the Americas, adapted to arid regions through a Crassulacean Acid Metabolism (CAM), which significantly reduces water loss. Mexico is the main center of diversity for this species, with multiple wild and cultivated varieties. In addition to its ecological importance, the prickly pear cactus has nutritional, fodder, medicinal, and nutraceutical uses, thanks to its bioactive compounds. The cactus mucilage is a plant-based hydrocolloid composed mainly of amylose and amylopectin. Its polymeric structure gives it hydrophilic properties and high viscosity. Among its components are phenolic compounds with antioxidant and anti-inflammatory properties, such as flavonoids, especially flavonols like quercetin, whose ability to neutralize reactive oxygen species (ROS) helps prevent oxidative stress and chronic diseases. This research was conducted in the Bromatology Laboratory of the Faculty of Agrobiological Sciences "Presidente Juárez" at UMSNH, with the objective of determining the mucilage content, total phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant capacity of different *Opuntia* genotypes. Cactus samples were collected from August 2023 to April 2024. The highest mucilage yield was found in the red fruit-bearing prickly pear cultivar, with 0.04 g/g, equivalent to 0.4% of the cladode weight. This genotype also showed the highest levels of total phenols (1.768 mg GAE/g) and flavonoids (0.105 mg QE/g). In addition, it exhibited the highest antioxidant activity against DPPH (96.53%) and ABTS+ (91.4%) radicals, as well as a general antioxidant capacity of 0.9 mg GAE/g, highlighting its functional and nutraceutical potential.

Keywords: Nopal, phenols, antioxidants.

INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia* spp), planta nativa de América, ha demostrado una extraordinaria adaptación a las zonas áridas gracias a su metabolismo MAC (Metabolismo ácido crasuláceo) que le permite captar dióxido de carbono durante la noche y reducir así la pérdida de agua, lo que es crucial en ambientes secos (Rocchetti et al., 2018; Cruz-Rubio et al., 2020). México, en particular, destaca como el centro de mayor diversidad de cactáceas y alberga una amplia gama de especies de *Opuntia*, tanto silvestres como cultivadas, que se emplean en la producción de frutas y verduras (SADER, 2020). Posee valiosas propiedades nutraceuticas, especialmente sus cladodios, son ricos en fibra, minerales y compuestos antioxidantes. Estas características han generado un interés creciente en el uso del nopal en tratamientos naturales contra enfermedades crónicas como la diabetes, debido a su capacidad hipoglucemiante y sus beneficios para la salud (Rocchetti et al., 2018; Diego-Zarate et al., 2021).

El mucílago, una sustancia viscosa que se encuentra en los nopales, presenta una composición química única, caracterizada por su estructura polimérica y grupos funcionales que le confieren propiedades reológicas excepcionales (Kalegowda et al., 2017). A nivel nutracéutico, este biopolímero ha mostrado propiedades hipoglucemiantes, reductoras de colesterol y protectoras de la mucosa gástrica, lo cual lo convierte en un componente de interés para la industria alimentaria y farmacéutica (Vargas-Rodríguez et al., 2016). Entre sus aplicaciones prácticas, se encuentra el tratamiento de aguas, donde actúa como purificador al remover metales pesados y microorganismos, en la construcción, mejora la plasticidad de materiales y en la agricultura, optimiza la retención de agua en el suelo (Vargas-Rodríguez et al., 2016; Galicia-Villanueva et al., 2017; Gheribi y Khwaldia, 2019).

Entre los fenólicos, los flavonoides destacan como una clase numerosa, compuesta por más de 4000 moléculas que, además de proteger a las plantas, ejercen efectos positivos en la salud de los consumidores (Zhang et al., 2015). Además, los compuestos fenólicos se distinguen por su capacidad antioxidante, fundamental en la neutralización de radicales libres, que son responsables del envejecimiento celular y el desarrollo de enfermedades degenerativas, esta actividad antioxidante se mide a través de métodos como el DPPH, ABTS y FRAP, que evalúan la capacidad de los compuestos para donar electrones o átomos de hidrógeno y reduce así los radicales, lo que protege a las células de los daños oxidativos (Mesa-Vanegas et al., 2015; Leos-Rivas et al., 2016), por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar el contenido de mucilago, de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante de distintas genotipos de *Opuntia*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La recolección de cladodios en estado organoléptico se realizó en tres localidades de Michoacán: en San José Oponguio, municipio de Erongarícuaro (19° 38' 59" N, 101° 38' 51" W), se obtuvieron muestras de nopal tunero blanco (NTB) y rojo (NTR); en la comunidad indígena de Caltzontzin, municipio de Uruapan (Coordenadas

geográficas), se recolectó nopal verdura blanco (NVB); y en Ziracuaretiro (19° 25' 14" N, 101° 55' 14" W), se obtuvo nopal verdura azul (NVA).

La evaluación del potencial nutracéutico, el rendimiento y la estandarización del protocolo de extracción de mucílago de *Opuntia* spp. se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez".

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en cuatro genotipos de nopal: tuna roja (NTR), tuna blanca (NTB), nopal verdura blanco (NVB) y nopal verdura azul (NVA), con cinco repeticiones, el diseño experimental empleado fue completamente al azar.

Las variables de respuesta consistieron en la determinación de mucílago, la cuantificación de compuestos fenólicos totales, la determinación de flavonoides totales, la actividad antioxidante mediante el radical DPPH, actividad antioxidante mediante el radical ABTS y ensayo FRAP (capacidad antioxidante reductor de hierro). Los datos de cada una de las variables se sometieron a un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2017).

Extracción de mucílago

Los cladodios de nopal fueron limpiados cuidadosamente para eliminar espinas, tierra y otras impurezas. Posteriormente, se trituraron 250 g de nopal fresco para extraer el mucílago con el protocolo descrito por Morroy y Salgado (2019).

Preparación de extractos

La determinación del contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y la capacidad antioxidante se realizó conforme a la metodología de Monrroy et al. (2017). Para ello, se recolectaron 400 μ L del sobrenadante obtenido tras la extracción y se utilizaron en los análisis de los radicales DPPH, ABTS y el ensayo FRAP.

Cuantificación de compuestos fenólicos totales

El análisis de fenoles totales se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu, tal como lo describe Manzanarez-Tenorio et al. (2022). Se preparó una mezcla con 50 μ L del extracto, 400 μ L de agua destilada y 50 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu en tubos tipo Eppendorf. Luego de seis minutos, se adicionaron 50 μ L de una solución



al 10 % de carbonato de sodio (Na_2CO_3), posteriormente la mezcla se incubó por nueve minutos. La absorbancia se midió a 750 nm en un espectrofotómetro (SmartSpec™ Plus), se empleó agua destilada como blanco.

El contenido de fenoles se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de muestra (mg EAG/100 g), se utilizó la siguiente ecuación basada en una curva de calibración:

$$\text{EAG (mg/100 g)} = (1 \text{ mg} / 1000 \text{ } \mu\text{g}) \times (100 \text{ g} / \text{g muestra}) \times (\text{VTE} / \text{VE}) \times ((\text{Abs}_{750} - 0.0002) / 0.1336)$$

donde EAG representa los equivalentes de ácido gálico, VTE el volumen total del extracto (μL) y VE el volumen del extracto utilizado para el análisis (μL).

Determinación de flavonoides totales

Para el análisis de flavonoides totales, se utilizó el método descrito por Manzanarez-Tenorio et al. (2022). Los resultados se reportaron como mg equivalentes de quercetina por g de peso seco (mg EQ/gps).

Actividad antioxidante mediante el radical DPPH

La capacidad antioxidante se evaluó mediante la captura del radical libre DPPH, se registró la absorbancia a 515 nm. Se usó etanol absoluto como control. La actividad antioxidante se cuantificó mediante una curva estándar de ácido gálico, los resultados se expresaron como μmol equivalentes de ácido gálico por g de peso seco (μmol EAG/gps).

Actividad antioxidante mediante el radical ABTS

El ensayo con el radical ABTS se realizó de acuerdo con lo propuesto por Manzanarez-Tenorio et al. (2022). Al igual que en el ensayo anterior, la capacidad antioxidante se expresó en μmol EAG/gps, utilizando una curva estándar de ácido gálico para los cálculos.

Ensayo FRAP (capacidad antioxidante reductor de hierro)

La capacidad antioxidante mediante el método FRAP se evaluó según la técnica descrita por Manzanarez-Tenorio et al. (2022), La solución FRAP se preparó con la combinación de acetato de sodio (pH 3.6), FeCl_3 y TPTZ en una proporción 10:1:1.

Se mezclaron 265 μL del reactivo con 20 μL del extracto y se dejó reposar por 30 minutos. La absorbancia se midió a 593 nm, y los resultados se expresaron como μmol equivalentes de ácido gálico por g de peso seco (μmol EAG/gps).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de mucílago

Los datos muestran una notable variabilidad en la producción de mucílago entre los genotipos de nopal estudiados. El cultivar de tuna roja destacó con un rendimiento de 0.4 % (ps/pf), casi el doble de contenido registrado en el genotipo de tuna blanca y cuatro veces más que el de verdura blanca (Cuadro 1). No obstante, este rendimiento fue menor al reportado por Sepúlveda et al. (2007), quienes obtuvieron entre 1.48 % y 1.85 % en otros cultivares. Las diferencias en los rendimientos podrían estar relacionadas con factores como el tipo de nopal, las condiciones agronómicas y el método de extracción (Cárdenas et al., 1997; Sepúlveda et al., 2007).

Cuadro 1. Análisis estadístico y prueba complementaria del contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides en mucílago de cuatro variedades de Nopal.

Table 1. Statistical analysis and post hoc test of total phenolic and flavonoid content in mucilage from four nopal varieties.

Genotipo de nopal	Rendimiento de mucílago (g peso seco/g peso fresco)	Compuestos fenólicos totales (mg EQ/gps)	Flavonoides totales (mg EQ/gps)
Tuna roja	0.40 a [¶]	1.768 a	0.105 a
Verdura azul	0.22 b	0.209 b	0.063 b
Verdura Blanco	0.15 bc	0.162 b	0.047 b
Tuna blanca	0.11 c	0.151 b	0.046 b
Media general	0.22	0.573	0.653
Probabilidad de F	**	**	*
DMSH _{0.05}	0.10	0.335	0.033
Coefficiente de variación %	17.5	19.40	19.08

[¶]= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). *, ** $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error.

Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Fenoles totales

El análisis fitoquímico reveló diferencias significativas entre variedades. NTR mostró el mayor contenido de fenoles (1.77 mg EAG/gps), al superar ampliamente a NVB (0.21 mg EAG/gps) (Cuadro 1). Este valor fue superior a lo reportado por Cachay-Morante et al. (2022), pero inferior al contenido registrado por Valenzuela-Zapata et al. (2024) en el cultivar Jalpa (10.35 mg EAG/gps).

Flavonoides

El genotipo NTR también presentó el contenido más alto de flavonoides (0.105 mg EQ/gps), determinado mediante el método de cloruro de aluminio. Este valor fue superior al reportado por Cachay-Morante et al. (2022), pero menor al informado por Bargougui et al. (2019), con 0.39 mg EQ/gps.

Actividad antioxidante (DPPH)

La evaluación con DPPH mostró que NTR tuvo la mayor capacidad antioxidante (96.53 %) (Cuadro 2). Estos resultados fueron superiores a los presentados por Diez et al. (2020), quienes registraron una inhibición del 50 % y 40.27 % respectivamente, lo cual puede atribuirse a diferencias en especie, cultivo y metodología.

Cuadro 2. Análisis estadístico y prueba complementaria del Porcentaje de inhibición del radical DPPH, ABTS y reducción de oxidación en mucilago de cuatro variedades de Nopal.

Table 2. Statistical analysis and post hoc test of DPPH and ABTS radical inhibition percentage and oxidation-reduction capacity in mucilage from four nopal varieties.

Genotipo de nopal	% inhibición del radical DPPH	% inhibición del radical ABTS	% de reducción de oxidación
Tuna roja	108.3 a [¶]	91.43 a	90.03 a
Verdura azul	46.53 b	35.53 b	13.33 b
Verdura Blanco	45.77 b	18.57 c	11.20 b
Tuna blanca	42.87 b	16.57 c	10.23 b
Media general	60.90	40.515	31.201
Probabilidad de F	**	**	**
DMSH _{0.05}	13.25	10.405	6.806
Coefficiente de variación %	8.32	9.82	8.34

[¶]= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, p≤ 0.05).

**p≤ 0.01. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error.

Actividad antioxidante (ABTS⁺)

El ensayo ABTS⁺ mostró que el mucílago de NTR también tuvo la mayor capacidad inhibitoria (91.4 %), en contraste con NVA (35.5 %), NTB (18.6 %) y NVB (16.6 %) (Cuadro 2). Estos resultados superaron a los de Bayar et al. (2016), quienes reportaron una inhibición del 60 %, especialmente el valor del NTR como fuente de compuestos bioactivos para aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Actividad reductora de hierro (FRAP)

En el ensayo FRAP, NTR mostró la mayor capacidad para reducir Fe³⁺ a Fe²⁺ (0.9 mg EAG/gps), mientras que NVA, NTB y NVB presentaron valores significativamente menores (Cuadro 2). Estos datos fueron superiores a los obtenidos por Rocchetti et al. (2018), quienes reportaron 0.42 y 0.002 mg EAG/gps respectivamente. La actividad observada sugiere la presencia de compuestos antioxidantes como polifenoles y carbohidratos funcionales.

El genotipo silvestre de nopal tuna roja ha demostrado una superioridad significativa en la concentración de compuestos bioactivos en comparación con otros genotipos cultivados. Este nopal silvestre presenta un contenido más elevado de mucílago, lo que favorece la salud gastrointestinal mediante su acción como fibra soluble, mejorando el tránsito intestinal y contribuyendo a la regulación de la glucosa y el colesterol sérico. Este genotipo también presenta una mayor concentración de compuestos fenólicos y flavonoides totales, lo que refuerza su capacidad antioxidante y su potencial para reducir el daño celular asociado al estrés oxidativo y enfermedades crónicas como diabetes tipo 2, afecciones cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Gallegos-Vázquez et al., 2022).

El genotipo tuna roja mostró mayor actividad antioxidante frente a otros genotipos, destacando en los ensayos DPPH, ABTS y FRAP. Esta capacidad sugiere una mayor eficiencia en la neutralización de radicales libres y en el mantenimiento del equilibrio redox celular, lo cual es clave para la salud inmunológica y la prevención del envejecimiento (Ramírez-Moreno et al., 2023). Estos hallazgos posicionan al nopal silvestre tuna roja como un alimento funcional con alto valor nutracéutico, capaz de contribuir de manera relevante a la promoción de la salud y a la prevención de enfermedades crónicas.

CONCLUSIÓN

El nopal silvestre NTR destacó por su alta capacidad de producción de mucílago, así como por su elevado contenido de compuestos fenólicos y su sobresaliente actividad antioxidante, evidenciada por una mayor inhibición de radicales (ABTS y DPPH) y una eficiente capacidad reductora de iones férricos (FRAP).

LITERATURA CITADA

- Bargougui, A., Tag, H. M., Bouaziz, M., & Triki, S. (2019). Antimicrobial, antioxidant, total phenols and flavonoids content of four cactus (*Opuntia ficus-indica*) cultivars. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 12(2), 1353-1368.
- Bayar, N., Kriaa, M., & Kammoun, R. (2016). Extracción y caracterización de tres polisacáridos extraídos de cladodios de *Opuntia ficus-indica*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.038>
- Cachay-Morante, J., Chacpi-Vasquez, M., Castillo-Sebastian, G., & Huamani-Calle, D. (2022). Caracterización fisicoquímica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del jugo y harina de cladodios secundarios de *Opuntia ficus-indica*. *Agroindustrial Science*, 12(2), 191-198.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., & Goycoolea, F. M. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for cactus development*, 2, 152-159.
- Cruz-Rubio, J. M., Mueller, M., Loeppert, R., Viernstein, H., & Praznik, W. (2020). The Effect of Cladode drying techniques on the prebiotic potential and molecular characteristics of the mucilage extracted from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia joconostle*. *Scientia Pharmaceutica*, 88(4), 43.
- Diego-Zarate, L. M., Méndez-Zamora, G., Rivera-De Alba, J. A., & Flores-Girón, E. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biotecnia*, 23(2), 89-95.
- Diez, L. B., Pérez, Z. C. M., Michaluk, A. G., Nuñez, M. B., Torres, C. A., & González, A. M. (2020). Mucílago de *Opuntia ficus-indica* como potencial excipiente natural de productos cosméticos. *Naturalia Patagónica*, 16, 143–157.
- Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (2017). Experimental plantation of nopal for evaluation of fertilization and mucilage extraction systems. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1087-1099.

- Gallegos-Vázquez, C., Martínez-Hernández, G. B., García-Sánchez, A. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Phenolic composition and antioxidant capacity of different *Opuntia* spp. genotypes. *Journal of Functional Foods*, 94, 105090. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105090>
- Gheribi, R., & Khwaldia, K. (2019). Cactus mucilage for food packaging applications. *Coatings*, 9(10), 655.
- Kalegowda, P., Chauhan, A. S., & Urs, S. M. N. (2017). *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1057-1064.
- Leos-Rivas, C., Rivas, M. C., & García Hernández, A. (2016). Actividad antioxidante y toxicidad. En *Compuestos bioactivos: Fundamentos y aplicaciones* (pp. 41–76). Barcelona, España: OmniaScience.
- Manzanarez-Tenorio, L. E., Ruiz-Cruz, S., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Márquez-Ríos, E., Del Toro-Sánchez, C. L., & Suárez-Jiménez, G. M. (2022). Caracterización fisicoquímica, actividad antioxidante y contenido de fenoles y flavonoides totales de nopal morado (*Opuntia gosseliniana*) en dos etapas de coloración. *Biotecnia*, 24(3), 101-106.
- Mesa-Vanegas, A. M., Zapata-Urbe, S., Arana, L. M., Zapata, I. C., Monsalve, Z., & Rojano, B. (2015). Actividad antioxidante de extractos de diferente polaridad de *Ageratum conyzoides* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 14(1), 1-10.
- Monroy, A., & Salgado, J. (2019). Extracción de mucílago de *Opuntia ficus-indica*, Nopal, como potencial purificador de agua en comunidades rurales de Ahuachapán. *Bioma*, 52, 65-9.
- Monroy, M., García, E., Ríos, K., & García, J. R. (2017). Extraction and physicochemical characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. *Journal of Chemistry*, 2017(1), 4301901.
- Ramírez-Moreno, E., González-Ríos, H., Núñez-Sánchez, R., & Pérez-Fernández, M. E. (2023). Antioxidant properties and bioactive compounds in red cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivars. *Food Chemistry*, 401, 134112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.134112>
- Rocchetti, G., Pellizzoni, M., Montesano, D., & Lucini, L. (2018). Italian *Opuntia ficus-indica* cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*, 7(2), 24.
- SADER. (2020). Crece en México el consumo y producción de nopal: Agricultura. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-en-mexico-el-consumo-y-produccion-de-nopal-agricultura?idiom=es>
- SAS. (2017). SAS/STAT user's guide (Version 9.4). SAS Institute.

- Sepúlveda, E. S. C. A. E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*, 68(4), 534-545.
- Valenzuela-Zapata, F. A., Treviño-Martínez, L. F., Vázquez-Alvarado, R. E., Paniagua-Vega, D., Garza-Juárez, A. J., & Silva-Flores, P. G. (2024). Extracción de mucílago, evaluación de la actividad antioxidante y el contenido total de fenoles de cuatro variedades de *Opuntia ficus-indica*. *Tecnociencia Chihuahua*, 18(2), e1395. <https://doi.org/10.54167/tch.v18i2.1395>
- Vargas-Rodríguez, L., Figueroa, G. A., Méndez, C. H. H., Nieto, A. P., Vieyra, M. I. G., & Núñez, J. R. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26, 8-11. doi: 10.15174/ au.2016.839.
- Zhang, B., Cai, J., Duan, C. Q., Reeves, M. J., & He, F. (2015). A review of polyphenolics in oak woods. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4), 6978–7014. <https://doi.org/10.3390/ijms16046978>

