



CIENCIAS BÁSICAS

Ciencia Vital, Vol. 4, No. 1, enero-marzo 2026
<https://doi.org/10.20983/cienciavital.2026.01.bas.01>
e0401BAS01

Más allá de la cocina: el nopal como biopolímero con usos innovadores

Q.F.B. Emilio Juárez Hernández¹
Dra. Santos Adriana Martel Estrada²



- ¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos
<https://orcid.org/0000-0002-2359-4070>
² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-8803-9406>
adriana.martel@uacj.mx



INICIO



CIENCIAS
APLICADAS



CIENCIAS
BÁSICAS



CIENCIAS
DE LA SALUD



CIENCIAS
SOCIALES



¿Y QUÉ OPINA
LA CIENCIA?



DIMENSIONES
ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ
POR EL MUNDO

RESUMEN

El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una planta profundamente ligada a la cultura y alimentación en México, pero su importancia va mucho más allá de la cocina. Originaria de este país, forma parte de un género del que se han identificado alrededor de 110 especies. El nopal está compuesto por varias partes, como los cladodios o pencas (tallos planos donde se almacena agua), la fruta conocida como tuna, además de flores y semillas. Este artículo explora cómo una sustancia natural presente en el nopal, llamada mucilago, puede actuar como biopolímero, es decir, un material natural con propiedades similares a ciertos plásticos o geles industriales. Gracias a estas características, el nopal se investiga para diversas aplicaciones innovadoras: desde la encapsulación de medicamentos para mejorar su liberación en el organismo, hasta su uso en tratamiento de aguas, producción de biocombustibles, alimentación animal y empaques biodegradables para alimentos. Estos avances muestran que una planta tradicional puede convertirse en una alternativa sostenible para desarrollar nuevas tecnologías, contribuyendo al cuidado del ambiente y al aprovechamiento de recursos naturales con gran potencial para la sociedad.

Introducción

En este artículo se presenta una visión diferente de un ingrediente muy habitual en México: *Opuntia ficus indica*, conocida comúnmente como nopal. Esta es una de las plantas con mayor importancia en el país; no solo forma parte del escudo nacional, lo que la convierte en un símbolo de identidad, sino que también está presente en numerosos platillos tradicionales. Seguramente el lector reconoce preparaciones como la ensalada de nopal, el jugo verde o los nopalitos con huevo.

Sin embargo, estos no son los únicos usos de esta singular planta. El nopal también tiene gran relevancia en la industria mexicana. Se estima que el área de cultivo destinada a su consumo en el país es de alrededor de 10 000 hectáreas. Esta planta posee cuatro componentes principales: los cladodios (pencas), la fruta, las flores y las semillas. El nopal se encuentra generalmente en zonas áridas, y su capacidad para sobrevivir en ambientes con escasez de agua se debe al mucilago, una sustancia gelatinosa considerada un biopolímero (un polímero natural producido por organismos vivos) que funciona como retenedor de agua debido a sus propiedades [1].

Origen y distribución

En el ámbito científico, para diferenciar una planta de otra se utiliza la clasificación taxonómica, un sistema que permite ordenar y clasificar a los organismos vivos. La forma más básica de clasificación es la especie, que identifica a un grupo de seres vivos muy similares entre sí. Por ejemplo, en el caso de los perros, pueden existir diferentes tipos y tamaños, pero todos pertenecen a la misma especie porque pueden reproducirse entre sí y tener descendencia.

Se estima que existen 258 especies del género *Opuntia*, de las cuales 110 han sido completamente identificadas [2]. Después de la especie, los organismos se agrupan en familias, que reúnen especies con características en común. La especie *O. ficus indica* pertenece a la familia Cactaceae, originaria de México. Esta familia se divide en Pereskiae, Opuntieae y Cereae. Aunque todos son tipos de cactus, presentan diferencias importantes: los primeros tienen hojas, los segundos poseen pencas y los últimos presentan tallos cilíndricos.

El género *Opuntia* se divide en cuatro subgéneros de acuerdo con la forma del tallo: *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* y *Brasiliopuntia*. Dentro del subgénero *Platyopuntia* se encuentra el grupo *Ficus-indica*, que a su vez incluye a *Opuntia ficus indica* (L.) Miller [3]. Esto indica que el nopal es un tipo de cactus con tallos planos llamados pencas.

Aunque esta planta es originaria de México, actualmente puede encontrarse en diversas regiones del continente americano con zonas áridas y semiáridas, como Perú, Bolivia, Brasil y



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

Estados Unidos. Con el paso del tiempo también se ha distribuido hacia regiones de Europa, como España e Italia, así como a Israel y zonas del Mediterráneo y del sur de África [4].

En México, el nopal se considera una de las plantas más comercializadas, con producciones que pueden alcanzar 50 toneladas de materia seca por hectárea al año. Generalmente se cultiva a altitudes cercanas a 180 metros sobre el nivel del mar y en periodos húmedos de verano, cuando las lluvias representan de 400 a 700 mm y la temperatura oscila aproximadamente entre 14 y 18 °C [5], [6].

Anatomía y fisiología

El nopal está formado por cuatro partes principales: los cladodios, la fruta, las flores y las semillas [7]. El cladodio, conocido popularmente como penca, tiene forma generalmente elíptica, aunque también puede encontrarse ovalado, circular, oblongo o rómbico. Dependiendo de la edad, recibe distintos nombres: nopalitos cuando es joven y pencas en la adultez [8].

Entre los dos y tres años de edad, los cladodios pueden alcanzar una anchura de 27 a 32 cm y una altura cercana a 63 cm [9]. Su epidermis consta de un tejido denominado clorénquima, formado por células verdes que realizan fotosíntesis, y una capa interna llamada parénquima, compuesta por células cilíndricas blanquecinas que forman la pulpa [10].

Las espinas, generalmente ausentes en algunas variedades, son hojas modificadas que se encuentran en los cladodios. Las aureolas también están presentes en estas estructuras y contienen tricomas, que son pequeños “pelitos” alrededor de las espinas [9], [11]. Al habitar en zonas áridas y semiáridas, el nopal retiene grandes cantidades de agua gracias al desarrollo del mucílago, una sustancia gelatinosa producida en las células del clorénquima y del parénquima [12].

La fruta, denominada tuna, consiste en pulpa, cáscara y semilla en concentraciones de 28-58 %, 37-67 % y 2-10 %, respectivamente. Puede tener forma esférica, cilíndrica o elíptica y generalmente presenta colores amarillo o rojo, aunque también existen variedades naranja, moradas y blancas. Estas tonalidades dependen de la relación entre las betalainas, pigmentos naturales que dan color a algunas plantas [3], [7].

Las flores comúnmente son amarillas, aunque también pueden ser naranjas, rosas, moradas, rojas y blancas [3]. La anatomía de *O. ficus indica* se puede observar en la (Figura 1).

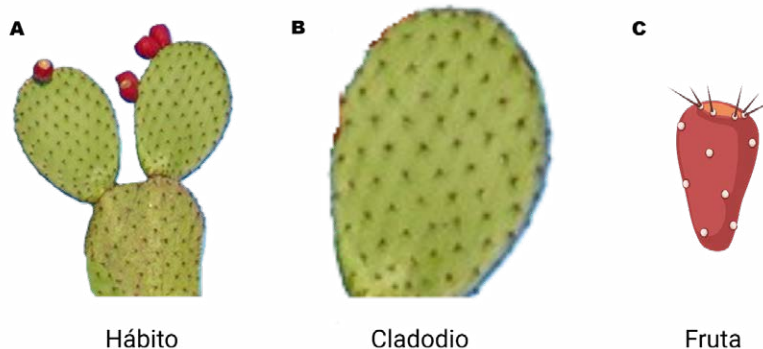


Figura 1. Anatomía de *Opuntia ficus indica*: A, hábito; B, cladodio; C, fruta. Fuente: [2].

Composición química del nopal

De acuerdo con diversos estudios, la composición del nopal está formada principalmente por carbohidratos y fibra, seguidos por proteínas y, en menor proporción, grasas [11]. El cladodio, el fruto e incluso la flor se utilizan como alimentos con abundante fibra y nutrientes [2], [13].



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

De la proporción total de fibra se derivan dos tipos: fibra soluble y fibra insoluble. La fibra soluble se compone de mucilago, gomas, hemicelulosa y pectina, mientras que la insoluble consiste en hemicelulosa, lignina y celulosa [14].

Los ácidos orgánicos más representativos son el málico, succínico y cítrico (71.8, 43 y 37 g/L, respectivamente), con concentraciones mayores en los cladodios que en la fruta y directamente proporcionales a la maduración de la planta [7].

Los compuestos fenólicos, relacionados con la actividad antioxidante, se encuentran principalmente en los cladodios más que en la fruta. Su contenido varía en función del grado de domesticación: las especies silvestres, como *O. streptacantha*, contienen una mayor concentración de estos compuestos, mientras que la más domesticada, en este caso *O. ficus indica*, presenta menores cantidades [15].

En los cladodios del nopal, el calcio es un mineral importante que se encuentra en cantidades de 18 a 57 mg por cada 100 gramos de peso seco [16]. Esta cantidad varía según la edad del cladodio: entre los 40 y 135 días de crecimiento, aumenta la presencia de calcio, probablemente porque se forman cristales de oxalato de calcio que ayudan a dar firmeza a la estructura de la planta. Además, el calcio está más presente en la fibra soluble que en la insoluble [17].

Otros minerales esenciales también están presentes en el nopal. Por ejemplo, se han medido cantidades de sodio, potasio y magnesio en valores aproximados de 19, 17 y 13 mg por gramo, respectivamente. Tanto el calcio como el magnesio tienden a aumentar a medida que el nopal envejece [18], [19].

Importancia del nopal

En México, la medicina tradicional ha utilizado los cladodios y la fruta para tratar enfermedades como arteriosclerosis, diabetes, gastritis e hiperglucemia [7]. El fruto de esta planta también se utiliza como alimento para producir vinos [20], jugos, edulcorantes, mermeladas y bebidas alcohólicas. Además, el alto contenido de carotenoides y compuestos fenólicos permite que tenga una alta actividad antioxidante. Por otro lado, la tuna también se utiliza como suplemento para cabras, borregos y vacas [2], [3], [5].

El nopal también es importante como biocombustible. Aunque en Chile surgió la primera planta de biogás en el año 2000, fue hasta 2016 cuando la compañía NopaliMex, en México, utilizó biogás basado en cladodios para producir calor, combustible, electricidad y fertilizante a partir de la digestión anaerobia, un proceso biológico en el que microorganismos descomponen materia orgánica sin presencia de oxígeno [21].

En países como México, Brasil y Túnez, los cladodios suelen utilizarse en la producción de carne como complemento al forraje nativo durante temporadas de sequía [22].

El polvo del cladodio también se utiliza en la industria cosmética para desarrollar productos de maquillaje y cuidado personal, debido a que ayuda a proteger las células de la piel de los daños causados por la radiación solar [21].

No obstante, una de las aplicaciones actuales más destacadas del nopal consiste en la extracción del mucilago que contiene. Esta sustancia es el componente pegajoso y gelatinoso presente en los cladodios y representa alrededor del 14 % de su peso cuando están secos, y cerca del 1.5 % cuando están frescos. Se produce principalmente en las células internas del nopal y tiene la capacidad de retener grandes cantidades de agua, funcionando como un gel natural [10].

El mucilago del nopal está formado por varios tipos de azúcares, entre los que destacan la arabinosa, galactosa, ácido galacturónico, ramnosa y xilosa, así como pectina [4], [17]. De este mucilago pueden obtenerse dos tipos de extractos: uno que forma gel y otro que no. El primero está compuesto principalmente por pectina, mientras que el segundo contiene en mayor proporción otros azúcares [23].

Se han reportado diversos beneficios para la salud asociados con el mucilago, incluyendo propiedades relacionadas con la reducción del colesterol y la glucosa en sangre, así como con



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

la atención de úlceras gástricas [24]; también se ha estudiado su actividad antioxidante [25] y antiinflamatoria [26], entre otras.

Además, el mucílago se emplea en la remoción de partículas contaminantes durante el tratamiento de aguas. Esta sustancia actúa como agente coagulante-precipitante, es decir, ayuda a agrupar y separar partículas suspendidas en el agua. Puede utilizarse para precipitar diversos coloides, como arsénico, arcilla de caolin y residuos de la industria textil, con el fin de buscar alternativas biodegradables para la potabilización del agua [27].

En farmacia, el mucílago se usa como agente encapsulante de medicamentos y suplementos alimenticios, permitiendo menor humedad y solubilidad, lo que ayuda a liberar el fármaco en el sistema digestivo (Figura 2) [24]. Como empaque de alimentos, protege los productos contra la oxidación y la pérdida de valor nutricional. Estos recubrimientos actúan como barreras frente al vapor de agua y gases como el CO₂ y el oxígeno, evitando la deshidratación y la oxidación (Figura 3) [25].



Figura 2. Microencapsulación de subproductos del nopal. La microencapsulación aumenta la estabilidad y reduce la oxidación de los compuestos, lo que ayuda a conservar sus propiedades organolépticas. También funciona como un recubrimiento que mantiene intacto el valor nutricional del producto.

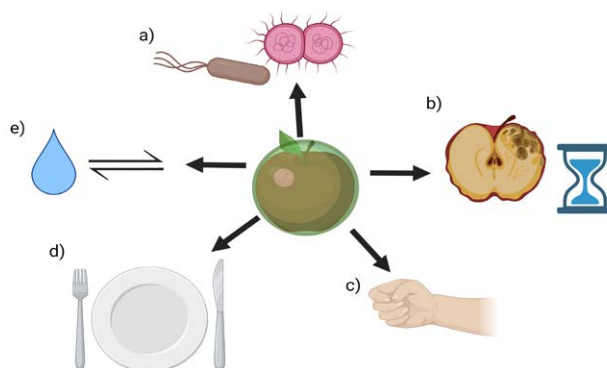


Figura 3. Beneficios del nopal. Algunos beneficios del uso de una película comestible para el recubrimiento de frutas son: a) acción antimicrobiana, al inhibir el crecimiento bacteriano; b) mayor tiempo antes del pardeamiento; c) protección ante daños mecánicos; d) es comestible y no desarrolla cambios drásticos en las características organolépticas; e) puede utilizarse para regular la permeabilidad a gases y el flujo de humedad.

Por otro lado, el mucílago de nopal ha mostrado ser útil en la construcción. En concreto, se ha usado como aditivo para mejorar propiedades como la resistividad eléctrica, reducir la porosidad y prevenir el paso de cloruros. Además, ayuda a retardar el fraguado y disminuir la

corrosión del acero en estructuras expuestas a dióxido de carbono, con eficiencias de protección de hasta 90 % [26].

Retos de la industria alternativa del nopal

Aunque, sin duda, el uso del nopal en diferentes aplicaciones es prometedor, actualmente algunos de los retos que presenta su aprovechamiento incluyen los siguientes:

- » la optimización de plantas piloto para extraer mucílago y pectina con fines farmacéuticos e industriales [27];
- » la necesidad de realizar más investigaciones para estudiar a profundidad la actividad biológica de los componentes del nopal [28], [29];
- » el desarrollo de formas de reforzar las películas obtenidas a partir de subproductos del nopal para mejorar su resistencia mecánica y evitar que se rompan fácilmente [30].

Conclusión

El nopal forma parte de la cocina tradicional mexicana. No obstante, el uso de esta planta va mucho más allá del ámbito alimenticio. Se emplea por su actividad hipoglucemiante e hipolipemiante, es decir, por su capacidad para ayudar a disminuir el azúcar y las grasas en el organismo. También se utiliza como recubrimiento de medicamentos, en la industria de la construcción, en cosméticos y en otras aplicaciones innovadoras.

Una de sus ventajas es que no requiere grandes cantidades de agua para su cultivo y puede cosecharse varias veces al año, lo que favorece una agricultura más sostenible. Por otro lado, el uso del mucílago como agente coadyuvante en el tratamiento de úlceras gástricas representa uno de los beneficios más relevantes que este biopolímero puede ofrecer. Todo ello convierte al nopal en una alternativa sostenible con potencial para la fabricación de biopolímeros, alimentos y medicamentos.

Referencias

- [1] X. Zhong, X. Jin, F. Lai, Q. Lin and J. Jiang, "Chemical analysis and antioxidant activities in vitro of polysaccharide extracted from *Opuntia ficus indica* Mill. cultivated in China," *Carbohydrate Polymers*, vol. 82, no. 3, pp. 722–727, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.042>.
- [2] A. R. Garcia, "Meta-analysis: Effects of *Opuntia* species," tesis de maestría, University of North Texas Health Science Center at Fort Worth, 2000.
- [3] M. Aragona, E. R. Lauriano, S. Pergolizzi and C. Faggio, "Opuntia ficus-indica (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition," *Natural Product Research*, vol. 32, no. 17, pp. 2037–2049, 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1365073>.
- [4] C. Sáenz, E. Sepúlveda and B. Matsuhira, "Opuntia spp. mucilage's: A functional component with industrial perspectives," *Journal of Arid Environments*, vol. 57, no. 3, pp. 275–290, 2004, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X).
- [5] F. J. Barba et al., "Opuntia ficus indica edible parts: A food and nutritional security perspective," *Food Reviews International*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844>.
- [6] S. Bensadón, D. Hervert-Hernández, S. G. Sáyago-Ayerdi and I. Goñi, "By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber," *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 65, no. 3, pp. 210–216, 2010, doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0176->



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

- 2.
- [7] L. Andreu, N. Nuncio-Jáuregui, Á. A. Carbonell-Barrachina, P. Legua and F. Hernández, "Antioxidant properties and chemical characterization of Spanish *Opuntia ficus-indica* Mill. cladodes and fruits," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 98, no. 4, pp. 1566–1573, 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8628>.
- [8] D. Torres-Ponce, R. L. Morales-Corral, M. de L. Ballinas-Casarrubias and G. V. Nevárez-Moorillón, "El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 66, pp. 1129–1142, 2015.
- [9] C. G. Hernández-Carrillo, J. A. Gómez-Cuaspud and C. E. Martínez Suarez, "Compositional, thermal and microstructural characterization of the nopal (*Opuntia ficus indica*) for addition in commercial cement mixtures," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 935, p. 012045, 2017, doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/935/1/012045>.
- [10] E. Sepúlveda, C. Sáenz, E. Aliaga and C. Aceituno, "Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp.," *Journal of Arid Environments*, vol. 68, no. 4, pp. 534–545, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>.
- [11] P. I. Angulo-Bejarano and O. Paredes-López, "Nopal: A perspective view on its nutraceutical potential," *ACS Symposium Series*, vol. 1109, pp. 113–159, 2012, doi: <https://doi.org/10.1021/bk-2012-1109.ch009>.
- [12] S. M. Miller, E. J. Fugate, V. O. Craver, J. A. Smith and J. B. Zimmerman, "Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment," *Environmental Science & Technology*, vol. 42, no. 12, pp. 4274–4279, 2008, doi: <https://doi.org/10.1021/es7025054>.
- [13] C. López-Palacios, C. B. Peña-Valdivia, A. I. Rodríguez-Hernández and J. A. Reyes-Agüero, "Rheological flow behavior of structural polysaccharides from edible tender cladodes of wild, semidomesticated and cultivated 'nopal' (*Opuntia*) of Mexican highlands," *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 71, pp. 388–395, 2016, doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0573-2>.
- [14] E. Salehi, Z. Emam-Djomeh, G. Askari and M. Fathi, "Opuntia ficus indica fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties," *Carbohydrate Polymers*, vol. 206, pp. 565–572, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.035>.
- [15] A. Negre-Salvayre et al., "Phenolic compounds accumulation in wild and domesticated cladodes from *Opuntia* spp.," *ACS Symposium Series*, vol. 1286, pp. 371–382, 2018, doi: <https://doi.org/10.1021/bk-2018-1286.ch020>.
- [16] G. Ginestra et al., "Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, no. 21, pp. 10323–10330, 2009, doi: <https://doi.org/10.1021/jf9022096>.
- [17] R. I. Ventura-Aguilar, E. Bosquez-Molina, S. Bautista-Baños and F. Rivera-Cabrera, "Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 97, no. 15, pp. 5065–5073, 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8493>.
- [18] M. I. Hernández-Urbiola et al., "Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages," *The Open Nutrition Journal*, vol. 4, pp. 11–16, 2010, doi: <https://doi.org/10.2174/1874288201004010011>.
- [19] M. Missaoui et al., "Characterization of micronutrients, bioaccessibility and antioxidant activity of prickly pear cladodes," *Molecules*, vol. 25, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25092176>.
- [20] J. L. Guerrero Rodríguez, "Diseño del proceso industrial para la obtención de vino a base de tuna (*Opuntia ficus indica*)," tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [21] R. Ciriminna, N. Chavarría-Hernández, A. I. Rodríguez-Hernández and M. Pagliaro, "Toward unfolding the bioeconomy of nopal (*Opuntia* spp.)," *Biofuels, Bioproducts and*



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO

- Biorefining, vol. 13, pp. 1417–1427, 2019, doi: <https://doi.org/10.1002/bbb.2018>.
- [22] J. M. Feugang, “Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits,” *Frontiers in Bioscience*, vol. 11, p. 2574, 2006, doi: <https://doi.org/10.2741/1992>.
- [23] D. I. Fox, T. Pichler, D. H. Yeh and N. A. Alcantar, “Removing heavy metals in water: The interaction of cactus mucilage and arsenate,” *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 8, pp. 4553–4559, 2012, doi: <https://doi.org/10.1021/es2021999>.
- [24] L. R. Camelo Caballero et al., “Preparation and physicochemical characterization of softgels cross-linked with cactus mucilage extracted from cladodes of *Opuntia ficus-indica*,” *Molecules*, vol. 24, p. 2531, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules24142531>.
- [25] I. Ammar, M. Ennouri and H. Attia, “Phenolic content and antioxidant activity of cactus flowers according to extraction method,” *Industrial Crops and Products*, vol. 64, pp. 97–104, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.030>.
- [26] J. Wiese, S. McPherson, M. C. Odden and M. G. Shlipak, “Effect of *Opuntia ficus indica* on symptoms of alcohol hangover,” *Archives of Internal Medicine*, vol. 164, no. 12, p. 1334, 2004, doi: <https://doi.org/10.1001/archinte.164.12.1334>.
- [27] J. A. Figueiróa et al., “*Opuntia ficus-indica* as biosorbent for chromium removal in leather industry effluents,” *Heliyon*, vol. 7, p. e07292, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07292>.
- [28] J. H. Han, “Edible films and coatings: A review,” in *Innovations in Food Packaging*, 2nd ed., pp. 213–255, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>.
- [29] G. F. A. de Souza et al., “*Opuntia ficus-indica* mucilage: A sustainable bio-additive for cementitious materials,” *Construction and Building Materials*, vol. 456, p. 139254, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139254>.
- [30] E. M. Galati et al., “*Opuntia ficus indica* mucilages show cytoprotective effect on gastric mucosa in rat,” *Phytotherapy Research*, vol. 21, pp. 344–346, 2007, doi: <https://doi.org/10.1002/ptr.2075>.
- [31] N. Bayar, M. Kriaa and R. Kammoun, “Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 92, pp. 441–450, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.042>.
- [32] R. Gheribi and K. Khwaldia, “Cactus mucilage for food packaging applications,” *Coatings*, vol. 9, no. 10, p. 655, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9100655>.



INICIO



¿Y QUÉ OPINA LA CIENCIA?



CIENCIAS APLICADAS



CIENCIAS BÁSICAS



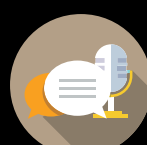
CIENCIAS DE LA SALUD



CIENCIAS SOCIALES



DIMENSIONES ÉTICAS



ENTREVISTAS



SALUD MENTAL



UACJ POR EL MUNDO