

Un homenaje al nopal: Revisión de sus usos más allá de lo comestible

A tribute to prickly pear cactus: A review of its uses beyond edibility

Recepción del artículo: 10/10/2023 • Aceptación para publicación: 30/12/2023 • Publicación: 05/01/2024

<https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.338>

Marcelino Aurelio Pérez-Vivar*

Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Departamento de Fitotecnia.
Texcoco, Estado de México, México.

Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano

María Victoria Gómez-Águila
Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Departamento de Ingeniería
Mecánica Agrícola. Texcoco, Estado de México, México.

Ramiro Chávez-Mota

Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Departamento de Suelos.
Texcoco, Estado de México, México.

Marisela Rodríguez-Morán

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Arte, Arquitectura y
Diseño. Guadalajara, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: mperezv@chapingo.mx

Resumen

La planta del nopal (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill)) ha estado relacionada a las comunidades mesoamericanas desde tiempos ancestrales. Se ha utilizado desde entonces como alimento y como proveedora de diversos bienes a los pueblos originarios. Actualmente es conocida en todo el mundo, como una planta simbólica del desierto, gracias que es capaz de subsistir con poco agua. Existen muchos estudios publicados al respecto de los beneficios que puede aportar, tanto como alimento, como nutraceutico, cosmético, medicinal e industrial. En la presente revisión, se pretende presentar algunas de las alternativas de esta maravillosa plantas, más allá de lo comestible.

Palabras clave: Biocombustibles, biofertilizantes, uso alternativo de plantas.

Abstract

The nopal plant (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill)) has been associated with Mesoamerican communities since ancient times. It has been used since then as food and as a provider of various goods to the native peoples. It is currently known worldwide as a symbolic plant of the desert, thanks to its ability to survive with little water. There are many studies published on the benefits it can provide, both as food, nutraceutical, cosmetic, medicinal and industrial. In this review, we intend to present some of the alternatives of this wonderful plant, beyond the edible.

Keywords: Biofuels, biofertilizers, alternative use of plants.

Introducción

Hablar del nopal, permite evocar sus cualidades y dar una mirada hacia el pasado que lo liga fuertemente a nuestros pueblos. Debido a la amplia distribución que tiene en nuestro país la familia Cactaceae, al cual pertenece esta planta, se liga a comunidades a lo largo de todo el territorio y lo significa en su relación con nuestros antepasados, la cual ha venido siguiéndose hasta el presente.

Tan variada es su diversidad como sus usos y su concepción simbólica también está ligada a la amplia distribución de sus especies. Generalmente el nopal es una planta apreciada como una unidad, pero la realidad es que está formada por un gran número de especies que escapan al conocimiento del común de las personas (Mandujano y Sánchez, 2017). Un ejemplo de esta diversidad es el mencionado por Sánchez-Mejorada (1982) que señala a las especies de los géneros *Acanthocereus*, *Echinocactus*, *Ferocactus*, *Melocactus*, *Mammillaria* y *Opuntia* como algunos de los cuales se consumen sus tallos (pencas o cladodios).

Las pencas del nopal en estado tierno, así como el consumo de su fruto la tuna; ambas estructuras en una diversidad de formas de consumo (Santiago-Lorenzo, 2016); incluso se utiliza la penca de nopal, desde luego con características apropiadas, para en su interior realizar la cocción de alimentos sometiendo la penca directamente al fuego. El uso para la alimentación se extiende a otros organismos, como es en la alimentación de ganado de todo tipo (Flores-Hernández *et al.*, 2006) a diferente escala, es decir, desde la producción de traspatio hasta la producción intensiva

A esta planta mágica, se le puede abordar y estudiar desde muchos puntos de vista. Existen publicaciones en donde se reportan sus usos, que principalmente se han enfocado al aspecto nutracéutico, medicinal y cosmético (El-Mostafa *et al.*, 2014; Torres-Ponce *et al.*, 2015), a las recetas y a sus efectos en las poblaciones que de repente se dedicaron exclusivamente a la producción de esta plantas, cambiando completamente la vegetación natural de su entorno (Villagómez-Reséndiz, 2022). El género quizá más estudiado es *Opuntia*, al cual se le han encontrado propiedades que van más allá de lo comestible y que en el presente trabajo se pretende mencionar de manera general para de

alguna manera incentivar su estudio particular entre entusiastas de este tan importante recurso.

Propiedades generales

Opuntia ficus-indica es una valiosa fuente de nutrientes, sus cladodios contienen cantidades sustanciales de ácido ascórbico, vitamina E, carotenoides, fibras, aminoácidos y compuestos antioxidantes (fenoles, flavonoides, betaxantina y betacianina), a los que se atribuyen propiedades como hipoglucemia, hipolipidemia y propiedades antioxidantes (Nuñez-López *et al.*, 2013; El-Mostafa *et al.*, 2014; Mendoza Ávila *et al.*, 2020). Se ha reportado también su uso y propiedades antiulcerogénicos (Galati *et al.*, 2001), antioxidantes, anticancerígenos, neuroprotectores, hepatoprotectores y antiproliferativos (Jouini *et al.*, 2018). Las flores de *O. ficus-indica* contienen diferentes flavonoides, en particular kaempferol y quercetina. La cáscara y las semillas del cactus pueden utilizarse para preparar aceite de cactus, ya que los lípidos de la cáscara están enriquecidos en ácidos grasos esenciales y antioxidantes liposolubles. Torres-Ponce *et al.* (2015), mencionan que es más fácil consumir las semillas de los cactus columnares por ser estas mucho más blandas que las de las tunas de *Opuntia* spp. Los cladodios de nopal contienen vitaminas, antioxidantes y varios flavonoides, en particular quercetina 3-metil éter, un eliminador de radicales muy eficaz (El-Mostafa *et al.*, 2014). Los extractos de cladodios de *O. ficus-indica* pueden reducir el nivel de colesterol y transmitir mecanismos antiulcerosos y antiinflamatorios, y el extracto acuoso mejora notablemente la cicatrización de heridas (Sanz *et al.*, 2020; Vargas-Solano *et al.*, 2022).

Usos industriales alternativos

Desde finales del siglo pasado, comenzaron a publicarse trabajos que consideraban al nopal como una fuente alternativa de producción de sustancias no comestibles, aplicables a la industria. Es importante definir un nuevo concepto publicado por Rafie *et al.* (2021) que define a los biocompuestos como un material

compuesto por una matriz polimérica y un refuerzo, siendo al menos uno de ellos derivado de recursos naturales. Por consiguiente, el diseño de la matriz del biocompuesto puede incluir biopolímeros (por ejemplo, ácido poliláctico [PLA]), polímeros vírgenes derivados de la petroquímica o polímeros reciclados (por ejemplo, materiales de refuerzo). Estos autores mencionan la química verde como el diseño, desarrollo y aplicación de productos y procesos que reducen o eliminan el uso o la generación de sustancias peligrosas. Se aplica a lo largo del ciclo de vida de un producto y, en este sentido, coincide con el concepto de sostenibilidad.

Para el caso del nopal, se tienen hoy por hoy muchos estudios que comprueban su utilización en varios procesos industriales.

Biocombustibles

Kleiner (2103), reporta el potencial del nopal para ser utilizado como fuente de biogás (Cuadro 1) y a su vez menciona que en Chile, desde el año 2000 se tuvo la experiencia de utilizarlo a pequeña escala. En este importante reporte, se menciona que se identificaron varios aspectos técnicos importantes: 1) el nopal se degrada entre 5 y 10 veces más rápido que el estiércol animal, 2) la fermentación tiene lugar a un pH ligeramente ácido (6,5-6,8. 8) y a temperatura ambiente, lo que requiere biorreactores económicamente viables recubiertos por dentro con una resina epoxídica y sin acero inoxidable costoso, y 3) la abundante agua rica en nitrógeno sobrante de la fermentación puede utilizarse para regar la plantación, mientras que el residuo sólido de fibra de desecho de nopal puede utilizarse directamente como fertilizante o añadirse al compost. Por otra parte, se reporta que en México una empresa de tortillas (NopaliMex) utiliza biogás a base de cladodios para satisfacer todas sus necesidades de calor, combustible y electricidad. En concreto, la empresa utiliza dos tanques biodigestores cerrados donde los cladodios de su plantación de cactus de 70 hectáreas se biodigieren anaerómicamente para producir biogás y fertilizantes (agua rica en nitrógeno y humus). Parte del biogás, además, se limpia de dióxido de carbono y se suministra como biometano comprimido a vehículos modificados para repostar

los vehículos de la empresa que fueron adaptados para sustituir la gasolina por biogás. La empresa afortunadamente sigue operando (Ciriminna *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Biomasa de nopal comparada con otras fuentes, en términos de energía producida.

Cultivo	Combustible	Cantidad Vol/ha/año	Energía Mcal/ha/año
Nopal (<i>Opuntia</i> spp.)	Biogas	52,000 m ³	364,000
Caña de azúcar	Bioetanol	9,000 L	45,000
Maíz	Bioetanol	3,200 L	16,000
Jatropha	Biodisel	1,559 L	14,436
Palma	Biodisel	5,550 L	51,393

Fuente: Kleiner (2013).

Biofertilizantes

¿Qué son los biofertilizantes? Los biofertilizantes son abonos líquidos con mucha energía que se ponen a fermentar por al menos 30 días, en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico (sin la presencia de oxígeno) y muchas veces enriquecidos con harina de rocas molidas, ceniza o algunas sales minerales como son los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc. “Los biofertilizantes han sido ampliamente utilizados en América Latina obteniendo resultados favorables, siempre superiores a los de cultivos producidos con fertilizaciones a base de químicos. Otra pregunta importante a responder es ¿Para qué sirven los biofertilizantes? Sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al mismo tiempo que sirven para estimular la auto-protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Por otro lado, es posible que puedan sustituir los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy caros y vuelven dependientes a los productores, haciendo cada vez más pobre al suelo y provocando menor rentabilidad sobre todo a los pequeños productores.” (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010) ¿Cómo funcionan los biofertilizantes? “Funcionan principalmente al interior de la planta activando el fortalecimiento del equilibrio nutricional como un mecanismo de defensa de las mismas, a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas, co-enzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares complejos, entre otros, presentes en la complejidad de las relaciones bio-

lógicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo. Los biofertilizantes enriquecidos con cenizas o sales minerales, o con harina de rocas molidas, después de su periodo de fermentación (30 a 90 días), estarán listos, y sus efectos pueden ser superiores en varias veces a las cantidades de los micronutrientes técnicamente recomendados por la agroindustria para ser aplicados en forma foliar o al suelo para los cultivos” (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010; Ciriminna *et al.*, 2019)

Pero los biofertilizantes no tienen efecto únicamente sobre las plantas, sino que juegan un papel importante en la regeneración natural de los suelos debido a que incorporan elementos naturales que restablecen la vida microbiana y propician el retorno al equilibrio ecológico en suelos que han sido alterados por la aplicación constante de fertilizantes químicos sintéticos y plaguicidas en general.

Por ello es de vital importancia la elaboración de biofertilizantes líquidos, que los mismos productores y campesinos puedan realizar con materiales propios de sus lugares o que puedan conseguir los materiales fácilmente, es el caso del nopal que se puede encontrar en los diferentes lugares y climas de nuestro país. Así, el nopal es un recurso natural presente en muchas regiones del país y que no requiere de grandes cuidados, cualidades que lo hacen fácilmente reproducible para la obtención de grandes cantidades de materia prima para la elaboración de biofertilizante. La obtención de biofertilizante se logra a través de incorporar al nopal en un proceso de biodigestión anaeróbica en donde por una parte se produce gas metano, el cual puede ser utilizado como biocombustible para el funcionamiento de motores de combustión interna que pueden mover vehículos o accionar turbinas para la generación de energía eléctrica y por otro lado se generan residuos los cuales pueden ser utilizados como biofertilizantes que al ser complementados con otros elementos como minerales y microorganismos pueden ser potenciados en su efecto en la nutrición vegetal. Otro aspecto de gran importancia y que no se le ha dado atención es el hecho de que un agroecosistema de nopal tiene el mismo potencial de captura de carbono (CO₂) que un bosque de pino-encino (Fuentes-Ponce, 2020),

además de ofrecer otros servicios ecosistémicos como la protección del suelo al disminuir la erosión tanto eólica como pluvial.

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos benéficos (Bacterias y Hongos), que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan a su proceso natural de nutrición, además de ser regeneradores de suelo. Estos microorganismos se encuentran de forma natural en suelos que no han sido afectados por el uso excesivo de fertilizantes u otros agros químicos que disminuyen o eliminan dicha población. Las principales funciones de los biofertilizantes son:

- Fijadores de nitrógeno del medio ambiente para la alimentación de la planta.
- Incrementan la solubilización y la absorción de nutrientes, como el fósforo y el zinc.
- Protectores de la planta ante microorganismos patógenos del suelo.
- Estimulan el crecimiento del sistema radicular de la planta.
- Mejoradores y regeneradores del suelo.

Lo que pasa con los biofertilizantes es que cuando le regresas al suelo microorganismos que seguramente estaban ahí, pero en menor cantidad, estos vuelven a reestructurar el suelo y mejorar el desarrollo de las plantas. El uso de biofertilizantes tiene un impacto no sólo en el medio ambiente, sino también en términos económicos, ya que su costo es menor que el de los fertilizantes químicos; en promedio valen 10% de lo que cuestan estos últimos. Asimismo, hay mejoras en la productividad de algunos cultivos con el uso de biofertilizantes, por ejemplo, en maíz, caña de azúcar, café y en cítricos (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

Estudios han demostrado que los biofertilizantes también pueden servir en suelos que ya están contaminados, e incluso, han mejorado la productividad, como es el caso de lo reportado por Scaffaro *et al.* (2022) que produjeron un compuesto añadiendo harina de fertilizante NPK a un polímero biodegradable con o sin partículas de *Opuntia ficus-indica*. Se produjeron seis formulaciones y se emplearon para la fabricación de dispositivos tanto para el moldeo por compresión como para el modelado por deposición fundida. La disminución de la tasa de liberación de NPK (hasta 30 días) se consiguió

utilizando compuestos enteros preparados. Seleccionando adecuadamente la dimensión de las partículas, la adición de nopal y la técnica de producción, fue posible modular la tasa de liberación de NPK. Las muestras de los tratamientos que contenían partículas finas de nopal y NPK mostraron la liberación más rápida.

Conclusiones

Es importante que se recupere el interés por la planta de nopal, por la importancia cultural, social y económica que aporta a nuestro país. Por ello se requiere de inversión en su estudio biológico, de conservación, de inventarios, de ingeniar sistemas de preservación y explotación amigables con el medio ambiente y sostenibles a corto, mediano y largo plazo.

Es evidente concluir que el nopal es una alternativa como materia prima para la producción de biofertilizantes que pueden ser utilizados para la nutrición vegetal generando impactos benéficos en el desarrollo de las plantas pero que además tienen un efecto regenerativo en el suelo propiciando la recuperación de las características físicas y químicas propias para la producción de plantas. La producción de biofertilizantes a base de la biodigestión de nopal es un proceso que puede ser adoptado por pequeños productores debido a que es sencillo y de bajo costo.

La propagación del nopal además genera otros beneficios ecológicos como son la protección del suelo contra la erosión eólica y pluvial y la captura de carbono y de manera directa beneficia a los pequeños productores al permitirles utilizar espacios que de otra manera seguirían siendo espacios sin uso.

Literatura citada

- Armenta-Bojórquez, AD., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. A., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Ciriminna, R., Chavarría-Hernández, N., Rodríguez-Hernández, A.I. y Pagliaro, M. (2019). Toward unfolding the bioeconomy of nopal (*Opuntia* spp.). *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 13(6), 1417-1427.
- El-Mostafa, K., Youssef, K., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El-Kebbaj, M., N. Latruffe, G. Lizard, B. Nasser y M. Cherkaoui-Malki. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19, 14879-14901.
- Flores-Hernández, A, Acosta-Rodríguez, G. F., Murillo-Amador, B., Trejo-Calzada, R. y Arreola-Avila, J. G. (2006). Evaluación preliminar de la reserva de nopal (*Opuntia* spp) en la región Laguna-Chihuahua. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*, 5(2), 191-196. E-ISSN: 2007-526X.
- Fuentes-Ponce, M. H. (2020). Cultivo de nopal, una opción para reducir emisiones de CO₂ en zonas agrícolas. Boletines UAM. Número 092. [Publicación en Línea]. Recuperado de <https://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/092-20.html> con acceso el 20/nov/2023
- Galati, E.M., Monforte, M.T., Tripodo, M.M., d'Aquino, A. y Mondello, M.R. (2001). Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae): ultrastructural study. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(1), 1-9.
- Kleiner, L. (2013). Chile: Nopal Cactus as Biomass for Alternative Energy. Page of Elqui Global Energy, Providencia Santiago (Chile). Consultado el 30 de diciembre, 2023. https://www.elquiglobalenergy.com/datos/Nopal_Cactus_as_Biomass_for_Alternative_Energy.
- Mandujano, M. y Sánchez, C.(2017). El nopal genealógico. *Cactáceas y suculentas mexicanas*, 62(3), 68-95.
- Mendoza-Ávila, M., Gutiérrez-Cortez, E., Quintero-García, M., Real, A.D., Rivera-Muñoz, E.M., Ibarra-Alvarado, C., Rubio, E., Jiménez-Mendoza, D. y Rojas-Molina, I. (2020). Calcium bioavailability in the soluble and insoluble fibers extracted from *Opuntia ficus indica* at different maturity stages in growing rats. *Nutrients*, 12(11), 3250. DOI: 10.3390/nu12113250
- Nuñez-López, M. A., Paredes-López, O. y Reynoso-Camacho, R. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10981-6. DOI: 10.1021/jf403834x.
- Rafiee, K., Helge, S., Pleissner, D., Kaur, G. y Brart, S.K. (2021). Biodegradable green composites: It's never too late to mend. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 30:100482. DOI: [10.1016/j.cogsc.2021.100482](https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100482)
- Sánchez-Mejorada, H. (1982). *Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México*. Secretaria de Desarrollo Agropecuario Dirección de Recursos Naturales. Gobierno del Estado de México. Toluca, México.
- Santiago-Lorenzo, Ma. R., López-Jiménez, A., Saucedo-Veloz, C., Cortés-Flores, J. I., Jaén-Contreras, D. y Suárez-Espinosa, J. (2016). Composición nutrimental del nopal verdura producido con fertilización mineral y orgánica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 403-407.
- Scaffaro, R., Citarrella, M.C. y Fortunato Gulino, E. (2022). *Opuntia Ficus Indica* based green composites for NPK fertilizer controlled release produced by compression molding and fused deposition modeling. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 159:107030
- Vargas-Solano, SV., Rodríguez-González, F., Martínez-Velarde, R., Campos- Mendiola, R., Hurtado-Salgado, M.A. y J. Muthuswamy-Ponniah. (2022). Chemical composition of pear cactus mucilage at different maturity stages. *Agrociencia*. DOI: 10.47163/agrociencia.v56i2.2726
- Villagómez-Reséndiz, R. (2022). A la sombra del nopal: pliegues territoriales y agencia vegetal en los Altos de Morelos, México. *Revista de antropología*. 66: e199829