

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Energía del desierto: descubriendo el nopal como fuente de biocombustible

Karina Galache · Sunday, March 31st, 2024

Categorías: [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

Desde tiempos prehispánicos, el nopal se ha cultivado y consumido en México. En años recientes, su consumo ha aumentado debido a sus múltiples beneficios. Originario de las zonas secas de América, se ha extendido a todo el mundo. El nopal ha ganado popularidad debido a su valor nutricional y ventajas para la salud.

Este miembro de la familia de los cactus es una planta resistente y adaptable que cubre millones de hectáreas. Sus pencas miden entre 30 y 60 cm de largo, de 20 a 40 cm de ancho, y tienen un espesor de 1.9 a 2.8 cm. El cactus puede sobrevivir en ambientes secos y tierras infértiles, donde no prosperan otros cultivos (**Figura 1**).

La geografía y el clima de México brindan un ambiente propicio para su desarrollo. Con un rango de altitudes que va desde el nivel del mar hasta 2.600 metros y precipitaciones que llegan a 40 mm, el país ofrece las condiciones ideales. Los suelos arcillosos y ricos en sal complementan este entorno.

Un fenómeno de popularidad: del campo a la mesa

México lidera la producción y el consumo mundial de nopal. Su importancia histórica se remonta a los tiempos de las culturas prehispánicas, donde la economía y cultura se entrelazaron con esta planta. Los españoles, al descubrir su potencial, quedaron cautivados por ella. Incluso se utilizó para criar cochinillas, que generan un valioso tinte rojo, convirtiéndose en la tercera fuente de ingresos en la Nueva España. Hoy día, la demanda de cochinilla sigue siendo relevante.

Se piensa que el nopal acompañó a Colón en su viaje de regreso al Viejo Mundo. Las pencas se utilizaban en los barcos para prevenir el escorbuto en la tripulación, lo que ayudó a expandir su conocimiento y uso (Angulo y col., 2012).

Los nopales son sumamente nutritivos gracias a su composición química. Ésta puede variar según la especie, el medio ambiente, la cosecha y el procesamiento. Principalmente poseen agua (80-95%), carbohidratos (3-7%) y fibra (1-2%). Además, tienen bajos niveles de proteínas y

grasas. En términos de minerales, son fuente de calcio y potasio, y también de cantidades pequeñas de magnesio, hierro y zinc. La fibra de los nopales está compuesta principalmente de celulosa.

Las raíces de estas plantas desempeñan un papel crucial en su supervivencia en lugares con escasez de agua. Para resistir la sequía, llevan a cabo algunas estrategias como limitar su área de exposición y reducir su tasa de evaporación.



Figura 1. El nopal en su hábitat natural.

Explorando los beneficios del nopal: una visión de un futuro saludable

Las plantas de las regiones áridas, como el nopal, evolucionaron para enfrentar la falta de agua, desarrollando el metabolismo tipo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas). En el metabolismo CAM, las plantas capturan dióxido de carbono durante la noche y lo almacenan en forma de ácido málico o ácido isocítrico en las vacuolas de las células y durante el día; la planta utiliza este almacenamiento de CO₂ para llevar a cabo la fotosíntesis y producir carbohidratos. Los estomas de las plantas CAM permanecen abiertos durante la noche y cerrados durante la mayor parte del día, resultando de esta manera en una pérdida mínima de agua y fotorrespiración reducida. Este tipo de metabolismo es una adaptación eficiente para conservar agua en condiciones secas, ya que les permite realizar la fotosíntesis sin abrir completamente los estomas durante el día, reduciendo así la pérdida de agua por transpiración (**Figura 2**). Ejemplos de plantas que emplean el metabolismo CAM incluyen cactus, suculentas y algunas bromelias.



Figura 2. Esquema de metabolismo tipo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) del nopal.

Además de sus pencas, se tienen los frutos del nopal – tunas – y sus semillas, valiosos en la industria alimentaria y farmacéutica. La semilla de tuna también puede ser una fuente para producir aceites o biodiésel. A pesar de su importancia, a menudo se le ha subestimado. Los extractos y las pencas también pueden contribuir a reducir los niveles de azúcar en la sangre en personas con diabetes.

El nopal es conocido con diferentes nombres alrededor del mundo. Por ejemplo, en Italia es “*Fico d’India*“, en francés “*Raquette*“, en portugués “*Palma*“, en turco “*Sabra*” y en Estados Unidos “*prickly pear*“. Estas variantes reflejan la fama del cactus y sus significados diversos. Cada tipo de nopal presenta rasgos únicos según el lugar de crecimiento y las condiciones del suelo.



Figura 3. Estructura general de lasA medida que se aprende más sobre esta planta, se descubren más formas de aprovechar sus beneficios. Los nopales tienen flores de colores, como blanco, amarillo, rojo, naranja y rosa. A menudo estas flores tienden a ser desechadas una vez que se ha cosechado la fruta. A pesar de que se ha investigado menos sobre las flores en comparación con los frutos, se ha

descubierto que contienen fenoles y pigmentos de betalaína (**Figura 3**), que son pigmentos naturales que se encuentran en muchas plantas, incluyendo el nopal. También tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos compuestos solubles en agua son los causantes de los intensos colores. El nopal, con sus pencas, semillas y hojas, se convierte en un auténtico tesoro de la naturaleza.

Explorando nuevas fronteras: el nopal más allá de la mesa

El nopal no se limita a ser protagonista en la gastronomía mexicana. Su relevancia abarca más allá de la cocina, extendiéndose al campo de la energía. En la búsqueda de alternativas sostenibles, emerge con un gran potencial como fuente de biocombustibles. El elevado rendimiento y adaptabilidad lo sitúan como una opción energética viable. El nopal podría desempeñar un papel vital en la reducción de emisiones y la transición hacia fuentes más limpias.



Figura 4. Nopalera: un cultivo de nopales.

El uso de nuevas fuentes de energía en lugar de las tradicionales, requiere diferentes métodos y tecnologías. Entre las más destacadas se encuentran: solar, hidráulica, geotérmica, eólica, biomasa y bioenergía. La obtención de biocombustibles a partir de biomasa es uno de los métodos más empleados.

El biogás es un gas renovable obtenido a partir de la degradación anaerobia (sin oxígeno) de material orgánico. Este proceso de degradación biológico se realiza mediante la acción de bacterias que son sensibles o inhibidas por el oxígeno. El biogás está compuesto principalmente por dióxido de carbono y metano. La eficiencia de la digestión anaeróbica radica en la conversión de más del 90% de la energía disponible en metano, con un bajo consumo energético en el crecimiento bacteriano, en comparación con sistemas aeróbicos. Los microorganismos metanogénicos son fundamentales en este proceso, ya que actúan como enzimas respiratorias y son los encargados de la producción del metano.

Durante mucho tiempo la investigación energética en plantas CAM se centró en la producción de bioetanol. Sin embargo, el biogás ofrece ventajas significativas en comparación con el etanol. Su producción puede realizarse con tecnologías relativamente simples y en una gama moderada. A diferencia del etanol, que requiere plantas de procesamiento avanzadas y a gran escala, el biogás se separa fácilmente del agua, simplificando el proceso en comparación con las dificultades asociadas a la separación del etanol y el agua (Mason y col., 2015).

Casi el 90% de la biomasa de los nopales puede convertirse en biogás. El 10% restante se transforma en sedimento arrastrado por el agua que liberan los nopales. Este proceso genera residuos y agua como subproductos. El depósito rico en nutrientes puede reutilizarse como fertilizante.

El proceso inicia al introducir los nopales en biodigestores, donde las bacterias trabajan para producir biogás. Los nopales contienen mucha agua, alrededor del 88% en promedio. Además, los rendimientos de biogás son similares a los del maíz y otras biomásas. Este biogás es una mezcla de metano (75%) y dióxido de carbono (24%) que se utiliza como combustible y calefacción en los hogares.

En la búsqueda de energía limpia, se han realizado estudios sobre el rendimiento del nopal como fuente de biocombustibles. En particular, la producción de biogás a partir del nopal comenzó en Chile en el año 2000. El éxito técnico e industrial ha demostrado su viabilidad como alternativa sostenible para el futuro (**Tabla 1**).



Tabla 1. Comparación de biomasa de nopal con otras biomásas vegetales en términos de combustible y energía.

La búsqueda de una vida saludable: el nopal como aliado.

En México, desde 2016, una empresa llamada NopaliMex ha utilizado biogás de cactus para calefacción, combustible y electricidad; también produce biogás, fertilizantes y humus rico en nitrógeno. Tras purificar el biogás de dióxido de carbono, se convierte en biogás comprimido, empleado como combustible. Esta innovación no solo reduce costos, sino también disminuye la huella ambiental (Ciriminna y col., 2019).

Las capacidades caloríficas promedio varían según el nivel de dióxido de carbono. Al ser tratado con ácido sulfúrico para eliminar el dióxido de carbono y obtener biogás de alta pureza, llega al 96%. La cantidad de energía que se puede obtener del nopal depende de la producción de este último, su contenido de metano y rendimiento por hectárea.

Aunque las tierras semiáridas tienen un valor económico limitado, siempre existe algún área de oportunidad asociada a un cambio de uso. Con frecuencia se utilizan para pastoreo o ganadería de baja productividad. El empleo de estas tierras para biocombustibles puede aumentar la producción de alimentos a través de la agricultura bioenergética.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estima que el 12,2% de la superficie terrestre del mundo es semiárida. Desde su papel histórico en la culturas prehispánicas, el nopal tiene una rica historia y un potencial prometedor que invita a explorar nuevos caminos hacia un futuro más verde y sostenible. Su uso en áreas secas puede preservar el agua y fomentar el desarrollo sustentable.

Conclusiones

El nopal no solo está arraigado en la historia de México, sino que también sobresale en el ámbito de la energía sostenible. Su capacidad para generar biogás y sus beneficios nutricionales han capturado la atención mundial. El nopal se presenta ahora como un elemento tanto en la cocina como en la energía. Adaptado para prosperar en climas secos, el nopal promete un futuro alentador. El nopal es un aliado a corto, mediano y largo plazo, cuando la sustentabilidad es pieza central.

Referencias

Mason P. M., Glover K., Smith J. A. C., Willis K. J., Woods J., Thompson I. P. “The potential of CAM crops as a globally significant bioenergy resource: moving from ‘fuel or food’ to ‘fuel and more food.’” *Energy Environ. Sci.*, 8, 2015, 2320-2329. DOI: [10.1039/c5ee00242g](https://doi.org/10.1039/c5ee00242g).

Ciriminna, R., Chavarría-Hernández, N., Rodríguez-Hernández, A.I. and Pagliaro, M. (2019), Toward unfolding the bioeconomy of nopal (*Opuntia* spp.). *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 13: 1417-1427. <https://doi.org/10.1002/bbb.2018>

Angulo-Bejarano P. I., Paredes-López O., Nopal: A Perspective View on Its Nutraceutical Potential. *Hispanic Foods: Chemistry and Bioactive Compounds. American Chemical Society Symposium Series*. January 1, 2012, 113-159. DOI: [10.1021/bk-2012-1109.ch009](https://doi.org/10.1021/bk-2012-1109.ch009).

This entry was posted on Sunday, March 31st, 2024 at 11:59 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.