

¿Que conocemos del NOPAL?

Gonzalo Soria Melgarejo



DIRECTORIO

Gobierno del Estado

Salvador Jara Guerrero
Gobernador del Estado de Michoacán

José Carlos Rodríguez Pueblita
Secretario de Finanzas y Administración

Javier Ocampo García
Secretario de Seguridad Pública

Carlos Pfister Huerta Cañedo
Secretario de Desarrollo Económico

Roberto Enrique Monroy García
Secretario de Turismo

Jaime Rodríguez López
Secretario de Desarrollo Rural

Jaime Camacho Moreno
Secretario de Comunicaciones y Obras Públicas

Mauro Ramón Ballesteros Figueroa
Secretario de Urbanismo y Medio Ambiente

Armando Sepúlveda López
Secretario de Educación

Marco Antonio Aguilar Cortés
Secretario de Cultura

Carlos Esteban Aranza Donis
Secretario de Salud

Rodrigo Iván Maldonado López
Secretario de Política Social

Juan Zacarías Paz
Secretario de Pueblos Indígenas

Samantha Flores Adame
Secretaria de la Mujer

Luis Carlos Chávez Santacruz
Secretario del Migrante

Francisco Xavier Lara Medina
Secretario de los Jóvenes

José Martín Godoy Castro
Procurador General de Justicia

Alexandro López Cárdenas
Coordinador de Planeación para el Desarrollo

Gabriel Joaquín Montiel Aguilar
Coordinador de Contraloría

Georgina Morales Gutiérrez
Coordinador General de Comunicación Social



DIRECTORIO CECTI

Esther García Garibay

Directora General

Alejandro Martínez Fuentes

Subdirector de Fomento y Planeación

Rubén Salazar Jasso

Subdirector de Vinculación y Desarrollo Tecnológico

Lilia Vázquez Diego

Subdirectora de Difusión



¿Qué conocemos del nopal?

Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán
C+Tec. Innovación es solución a mi alcance
Serie 2015, cuaderno número 10

Gonzalo Soria Melgarejo
Francisco Luis Sánchez Alfonso
Xicotencatl Díaz Villaseñor
Juan Manuel Sandoval Mendoza
Juan Carlos Álvarez Magaña
Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro

Primera edición, Abril 2015
D.R. Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán
Calzada Juárez No.1446, Col. Villa Universidad
C.P. 58060, Morelia, Michoacán, México
cecti.michoacan.gob.mx

ISBN de la serie:
ISBN del cuaderno:

Coordinación General:
Esther García Garibay
Directora General del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán

Luis Zapata
Centro de Radioastronomía y Astrofísica, Campus Morelia
Universidad Nacional Autónoma de México

Edición:
Lilia Vázquez Diego
Julieta Piña Romero

Diseño editorial, diseño gráfico y formación:
Arelí Vazquez Ferreitra

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan necesariamente la opinión del CECTI. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

Fuente: www.euganeanhills.com





Fuente: www.youtube.com

Un poco de historia

El nopal es parte de una familia de plantas conocidas como cactáceas, nombre que se deriva del latín *káctos*, que hace referencia a planta espinosa. En México las cactáceas se identifican por diversos nombres que, en términos comunes, se conocen como nopales, pitayos, garambullos, biznagas, peyotes, candelabros, cardones, cardenches y juncos. Son plantas que principalmente se desarrollan en zonas áridas, aunque también suelen encontrarse –en menor cantidad– en regiones frías, como las pobladas por bosques de pinos y encinos. El interés del hombre por el nopal data de tiempos lejanos, se remonta a 25 000 años, cuando el hombre llegó al territorio que hoy conocemos como

México. Los primeros habitantes, en su mayoría cazadores y recolectores, utilizaron las tunas y las pencas del nopal en su dieta (Gómez et al., 2002).

Los primeros datos acerca del uso del nopal en México provienen de la región de Tehuacán, Puebla, y son de hace 6 500 a 10 000 años según Lauro González Quintero, quien comenta haber encontrado en cuevas cercanas a Tehuacán tallos y frutos de nopales semi fosilizados (González, 1976). Con el paso del tiempo, el nopal se convirtió en una planta muy importante en el desarrollo de diversas culturas en el país, como la chichimeca, azteca, mixteca y zapoteca;



Fuente. vec103g3.blogspot.com

su destino fue básicamente para consumo humano, en forma de fruto y verdura. Además, fue motivo de asentamientos humanos, debido a que donde se presentaba abundancia de nopales se creaban nuevos pueblos, a los cuales se les asignaban nombres derivados de las voces aztecas nopalli (nopal) y nochtli (tuna), por ejemplo: Nopala, Nochistlán y, el más destacado, la gran Tenochtitlán, hoy Ciudad de México.

En la vida de los aztecas, el nopal tuvo gran relevancia económica, social y religiosa; lo cultivaron para beneficiarse de la tuna y el

nopalito lo consumían como verdura. En los huertos se cultivaba la cochinilla, que es una plaga del nopal, de la cual extraían un colorante que se utilizaba para teñir hilos y telas (Granados, 1991). Sin embargo, y a pesar de la gran importancia que el nopal tuvo entre las poblaciones indígenas, los estudios botánicos se iniciaron hasta el siglo XVII, cuando se da a conocer un trabajo sobre el género *Opuntia* en la edición abreviada del Diccionario del jardinero, en 1754 (Castañeda, 1986).

Posteriormente, el cultivo del nopal empieza a prosperar en las haciendas, ranchos y casas de los peones, adquiriendo importancia por su aprovechamiento como fruta, verdura y forraje en época de sequía. Después de la Conquista de México los españoles también dieron un gran valor al nopal, principalmente como forraje para ganado, y lo diseminaron en América, España, Francia e Italia.

El género *Opuntia*, origen y taxonomía

El género *Opuntia*, que pertenece al género de las cactáceas (Tabla 1), es el más más diverso y distribuido en América. Presenta una diversidad de 191 a 215 especies (Anderson, 2001; Wallace y Dickie, 2002), de la cuales se considera que existen 83 especies de *Opuntia* silvestre en México (Guzmán et al., 2003). Casi el 50% de las especies conocidas del género se encuentran en el continente americano, de las cuales 62 (66.7%) son endémicas. Este género, al igual que otras cactáceas, es originario de América.

El género *Opuntia* se distribuye en diversos tipos de vegetación, pero en asociación con diferentes especies del mismo género. En un área determinada forman un matorral crasicauale (Rzedowski, 1978), comúnmente conocido como nopalera (Miranda y Hernández, 1963). Algunas nopaleras se emplean como cercas vivas, en huertos familiares y en plantaciones comerciales (Colunga et al., 1986). Aún no se cuentan con datos precisos que sustenten la región de origen del género *Opuntia*, sin embargo, México es un importante centro de diversificación de este género (Bravo, 1978).

Remo	Vegetal
SUBREINO:	EMBRYOPHYTA
DIVISION:	ANGIOSERMA
CLASE:	DICOTILEDONEAE
SUBCLASE:	DIALIPETALAS
ORDEN:	OPUNTIALES
FAMILIA:	CACTACEAE
TRIBU:	OPUNTIAE
SUBFAMILIA:	OPUNTIOIDEAE
GENERO :	OPUNTIA
SUBGENERO:	PLATYOPUNTIA
ESPECIE:	VARIOS NOMBRES

Tabla 1. Clasificación taxonómica.
Fuente: Britton y Rose, en Bravo (1978).

La taxonomía de las *Opuntia* resulta ser compleja, debido a que el gran número de los sistemas de clasificación presentan errores en conceptos de género y especie, aunado a que su origen reciente las hace estar en estado activo de evolución y por lo tanto de diferenciación. De esta manera, la antigua y continua selección de plantas por sus frutos y tallos, ha perpetuado muchas variedades ligeramente diferentes, dando como resultado un gran polimorfismo en este género (Bravo, 1978).

En el estado de Zacatecas es posible encontrar en simpatria hasta 29 especies de *Opuntia*, de las cuales 16 son endémicas (Guzmán et al., 2003), todas con el potencial de hibridar. Sin embargo, según Colunga (et al., 1986), la hibridación espontánea es mayor en huertos familiares o cultivos. A pesar de esto, la forma más común de propagación es la vegetativa. La reproducción sexual es más compleja y riesgosa comparada con la vegetativa, pero produce individuos genéticamente únicos, manteniendo la variabilidad genética y un mayor potencial de dispersión de las semillas (Reyes-Agüero et al., 2005).

Según Reyes-Agüero (2005), en la Altiplanicie Meridional de México, correspondiente a los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas y parte de los estados de Jalisco, Michoacán y Querétaro, se encuentra la mayor riqueza de variantes silvestres (35% del total de *Opuntia*) y cultivadas (144 variedades).



Fuente. <http://es.123rf.com>

Descripción botánica

El nopal es una planta carnosa, gruesa, de formas diversas y con ramas articuladas. Presenta hojas convertidas en espinas –lo cual es un rasgo común en las cactáceas– o bien, carece de ellas, pero en brotes tiernos; numerosas especies presentan hojas verdaderas de vida muy corta de limbo cilíndrico y carnoso. Esta planta tiene una cutícula muy gruesa, casi todas con espinas, y almacena grandes cantidades de jugo gomoso (mucílago, también conocido como “baba de nopal”) que le permite resistir la sequía. Los nopales tienen una estructura a partir de la cual desarrollan más pencas, raíces o flores llamadas areolas, características de las cactáceas. Por lo general, las espinas son de dos tipos: unas pequeñas agrupadas en gran número (gloquidios), que comúnmente se denominan ahuates; y las grandes que, según algunos naturalistas, con hojas modificadas. Sus flores

pueden ser de color amarillo, blanco, anaranjado, rojo, entre otros, y crecen en la parte superior de las pencas. Generalmente su reproducción es hermafrodita, reuniendo en sí mismas ambos sexos; el eje floral es largo. Su fruto es una baya comestible, contiene semillas pequeñas de color lino o negro y tiene forma parecida a una pera, de color verde, rojo o púrpura, llamado comúnmente tuna. Cada una de las partes puede apreciarse en la Figura 1.

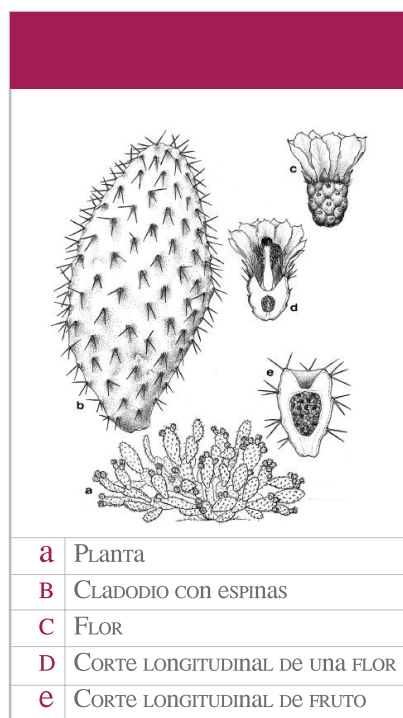


Figura 1. Planta de nopal y sus partes.
Fuente: Scheinvar, 2009.

Composición química y aporte nutricional

El nopal presenta un alto contenido de agua, más del 90% en las plantas jóvenes; por esta cualidad es que se le utiliza como forraje en tiempos de sequía. En su composición química están incluidos algunos minerales tales como: calcio, cobalto, cobre, potasio, magnesio, sílice, sodio, fierro, aluminio, manganeso, entre algunos otros; contiene también carbohidratos como monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, además componentes nitrogenados. Sin embargo, el contenido puede variar entre las diferentes especies e incluso

en una misma especie, esto depende de la composición química del suelo y de los fenómenos mediante los cuales disponen de sus nutrientes. La concentración de su composición química también varía de acuerdo con la época del año y la humedad, cambia según la edad del cladodio. La composición de azúcares de Opuntia incluye glucosa, fructosa, arabinosa, rhaminosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico, además acumulan ácidos orgánicos como el cítrico, en el caso de Opuntia ficus-indica (Blanco et al., 2008; Loayza y Chávez, 2007).

En términos nutricionales, podemos decir que el nopal verdura aporta proteínas, calcio, hierro, vitaminas A y B, fibra y ácido ascórbico, con un aporte energético de 27 Kcal por cada 100 gramos (Tabla 2). El nopal verdura o nopalito, al igual que otras verduras, contribuye con una alta proporción de agua a la dieta y es muy cotizado por su alto contenido en fibra; además, es bajo en lípidos, hidratos de carbono y proteínas; por ello, es preferido en el menú cotidiano de muchas familias del pueblo mexicano. Su contenido es comparable al de varias frutas y hortalizas, entre ellas: la espinaca, alcachofa, acelga, berenjena, brócoli, rábano, mango, melón, chabacano, uva y otras.

APORTE NUTRIMENTAL	
cada 100GRS DE NOPAL CONTIENEN:	
ENERGIA	27 KCL
PROTEINA	1.7 G
GRASA	0.3 G
HIDRATOS DE CARBONO	5.6 G
CALCIO	93 MG
HIERRO	1.6 MG
RETINOL (VITAMINA A)	41 MCCG
TIAMINA (VITAMINA B1)	0.03 MG
RIBOFLAVINA (VITAMINA B2)	0.06 MG
NIACINA	0.3 MG
ÁCIDO ÁSCORBICO (VITAMINA C)	8 MG

Tabla 2. Aporte nutricional del nopal verdura. Fuente: Instituto Nacional de Nutrición

Estas propiedades pueden alterarse según la manera en que se consuma; por ejemplo, la cocción provoca una pequeña disminución en todos los nutrientes, sobre todo en los carbohidratos, el potasio y la vitamina C (Murray, 2000). De acuerdo con los especialistas en nutrición, es recomendable que las personas con problemas de glucosa en la sangre (como los diabéticos) lo consuman crudo, pues el control del azúcar es más efectivo que cuando se come cocinado. Los especialistas advierten sobre los riesgos de asarlo al carbón, porque puede incluir derivados de este mineral, como los compuestos fenólicos, que son nocivos para la salud (Murray, 2000). No existe restricción para consumir el nopal, pero no se puede ignorar una de las reglas de oro de la buena alimentación: una dieta diversa y balanceada.

Sobre el nopal deshidratado, en cápsulas y otras presentaciones, es necesario tomar en cuenta que la pérdida de agua causa que el contenido nutrimental se eleve por peso neto; otra ventaja



Fuente. <http://es.123rf.com>

es que aumenta su vida de anaquel con respecto al fresco, y para muchas personas el que no esté baboso es importante; sin embargo, hay que tomar en cuenta en dicha parte se encuentra un aporte significativo de fibra, aunado a que el nopal deshidratado es más caro que el fresco.

En la actualidad, la tendencia general en el consumo de alimentos es procurar los que aporten nutrientes y sean benéficos para la salud y para la prevención de enfermedades. En ese sentido, los nopales poseen compuestos funcionales para el cuerpo, tanto los frutos como los cladodios son una fuente importante, entre ellos destacan el mucílago (“baba”) y pigmentos (betalaínas y carotenoides). Estos compuestos son muy apreciados por proporcionar buena salud y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos. Los contenidos de estos compuestos son distintos en frutos y cladodios. Los pigmentos sólo se encuentran en los frutos y pueden estar presentes en la cáscara y en la pulpa (Gurrieri et al., 2000; Sáenz et al., 2006).

Usos y beneficios potenciales del nopal

Debido a la caracterización histórica del nopal, es posible destacar cuatro principales productos: la tuna, el nopal verdura, el nopal forrajero y la grana cochinilla. Sin embargo, a partir de innovaciones tecnológicas se han logrado otras opciones de aprovechamiento que le han dado un valor agregado: nopal como alimento funcional, biocombustibles con biomasa de nopal, bioplásticos y biosorbentes de contaminantes, pintura vinílica en conjunto con esmaltes e impermeabilizantes, cosméticos, uso medicinal y como recurso multifuncional.

Los nopales son atractivos para su procesamiento industrial no sólo por sus frutos y cladodios. Del aprovechamiento de su fruto mediante la transformación es posible obtener: mermeladas,



Figura 2. Productos derivados del nopal. Fuente. <http://es.123rf.com>

jugos y néctares, productos deshidratados, jugos concentrados, jarabes y licores. De los cladodios se obtienen, entre otros: encurtidos, jugos, mermeladas y productos mínimamente procesados (Figura 2).

Además, existen en estas plantas valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos; para integrarse a la cada vez mayor demandada gama de aditivos naturales (gomas, colorantes) con potencial de aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética; para formular suplementos alimenticios ricos en fibra o con fines de control de la diabetes u obesidad, entre otros. También, es importante la utilización indirecta de la planta para la producción

de cochinilla, que es fuente de pigmentos naturales; así, es posible obtener pigmentos de manera directa a partir de la tuna (Sáenz et al., 2006).

Con base en sus atributos, las oportunidades de aprovechamiento integral de esta planta resultan de atractivo interés para el sector agroindustrial, ya que la finalidad de toda industria es obtener el máximo provecho de sus materias primas. Son diversos los sectores industriales que son beneficiados con la explotación de los nopales, desde la industria alimentaria y sus industrias asociadas, hasta la industria de la construcción, pasando por la farmacéutica, cosmética, textil y de energía. A continuación se mencionan algunas alternativas de procesamiento integral del nopal.

Uso y aplicación de los nopales por los distintos sectores:

- Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano: producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y analcohólicas de tuna y nopalitos.
- Agroindustria de alimentos para animales: suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas.
- Industria farmacéutica: protectores gástricos de extractos de mucílagos, cápsulas y tabletas de polvo de nopal.
- Industria cosmética: cremas, champú, lociones de cladodios.
- Industria de suplementos alimenticios: fibra y harinas de cladodios.
- Industria productora de aditivos naturales: gomas de cladodios y colorantes de la fruta.
- Sector de la construcción: compuestos ligantes de los cladodios.
- Sector energético: producción de biogás a partir de las pencas.
- Sector productor de insumos para la agricultura: productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos.
- Sector turismo: artesanías con base en cladodios lignificados.
- Industria textil: uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla.



Fuente. klika.mx

1. *Pigmentos naturales del fruto del nopal con poder antioxidante*

El fruto *Opuntia*, mejor conocido en México como tuna, es una fruta que se caracteriza por presentar cáscara gruesa y espinosa, con una pulpa de abundantes semillas y gran diversidad de colores, según su especie. El color de la tuna, debido a la presencia de pigmentos, carotenoides y betalainas, varía desde rojo-púrpura hasta amarillo pálido (Figuras 3 y 4), lo

cual la hace atractiva para consumirse fresca y para elaborar diversos productos (Sáenz et al., 2006; Gurrieri et al., 2000). Actualmente, las betalaínas, utilizadas para colorear alimentos procesados, son extraídas únicamente del betabel (*Beta vulgaris* L.). Sin embargo, esta raíz presenta algunos problemas tecnológicos y sensoriales (Piga, 2004), por lo que los frutos de tuna con sabor y olor agradables, que además han mostrado mejores propiedades nutricionales que el betabel (Stintzing et al., 2005), podrían llegar a ser una fuente importante de estos compuestos.

las especies del género *Opuntia*, los pigmentos sólo se encuentran en los frutos, y tanto las betalaínas como los carotenoides poseen capacidad antioxidante. En un estudio llevado a cabo por el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro, fue posible evaluar tunas de algunos de los cultivares silvestres, y los resultados mostraron que los frutos presentan capacidad antioxidante mayor con respecto a otras especies de alto consumo. Esta característica es importante debido a que los antioxidantes naturales son elementos esenciales que protegen de la oxidación a las moléculas biológicas en el cuerpo humano. Además, la protección antioxidante en el organismo es clave para el control de enfermedades crónicas, lo que tiene gran relevancia en medicina preventiva (Sun, 2009).

2. Mucilago (“baba”) de nopal, aditivo en la industria de alimentos

Un componente presente en el nopal de gran importancia es el mucilago, un hidrocoloide que resulta ser interesante porque se puede extraer de las pencas maduras, dándole mayor utilidad, o de pencas provenientes de la poda de plantas que se cultivan para producción de fruta. Estos

hidrocoloides podrían integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica. Una amplia revisión acerca de estos compuestos fue publicada por Sáenz et al. en el 2006. El mucilago presenta diversas propiedades como: reemplazante de grasas en diversos alimentos, agente ligante del sabor, capacidad como emulsionante, entre otras. Esta clase de ingredientes utilizados con frecuencia por su capacidad para mejorar la textura, también se emplean para estabilizar emulsiones, para controlar la cristalización, como estabilizadores



Figura 3. Tonalidades de tuna.
Fuente. <http://es.123rf.com>



Figura 4. Tuna purpura. Fuente. www.flickr.com

de suspensiones, para inhibir la sinéresis y para crear películas comestibles; algunos de ellos, incluso, tienen la capacidad de formar geles.

Una investigación realizada con la adición de este carbohidrato proveniente de nopal en concentraciones de 0.5 y 0.8 por ciento, aplicado a espumas elaboradas con clara de huevo,

demonstraron que la adición de mucílago en las dos concentraciones favorecía la estabilidad respecto a un control sin adición de mucílago de nopal, lo que se manifestaba en una menor pérdida de agua y un mayor volumen después de 48 horas de reposo, lo cual demuestra su efecto como agente estabilizante. Por tanto, la utilización agroindustrial del nopal cuenta con posibilidades de utilización para producir alimentos o aditivos naturales.

Abundando en los beneficios de su aprovechamiento integral, se conocen desde hace siglos otros usos populares a los que actualmente se les está estudiando científicamente, como la utilización de las pencas en la clarificación de aguas, su adición a la cal como adherente de la pintura o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua. Esta amplia posibilidad de utilización se ve además incrementada debido a que los nopales son especies que crecen en zonas áridas y semiáridas con bajos requerimientos agronómicos.

3. *Nopal en el control de diabetes, obesidad y otros padecimientos*

Debido a su alto contenido en fibra, el nopal es actualmente una fuente importante de la misma en forma de harina, la cual se obtiene por secado y molienda de cladodios. La harina se destina tanto para la industria de alimentos como para la industria de complementos alimenticios, ligada en cierto modo a la industria farmacéutica. Las tabletas y cápsulas de nopal se encuentran en el mercado mexicano desde

hace años y se ofrecen como apoyo en el control de la obesidad y la diabetes. En México se han efectuado, sobre todo a partir de la década de 1980, numerosos estudios al respecto, tanto en *Opuntia ficus-indica* como en *O. streptacantha*. Uno de los trabajos publicados en relación al control de diabetes, que refiere a una evaluación del consumo de cápsulas comerciales de cladodios de *Opuntia-ficus*, indica deshidratados en pacientes con diabetes mellitus (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Frati-Munari et al., 1992,). Varios estudios de estos y otros autores indican resultados variables dependiendo de las dosis, el modo de ingerir el producto y el tipo de *Opuntia* que se utiliza; aparentemente son superiores los resultados logrados con *Opuntia streptacantha*.

En otros estudios realizados en animales, se reporta que la glucosa decrece en sinergia con la insulina (Yeh *et al.*, 2003). Un estudio etnobotánico realizado entrevistando a pacientes diabéticos y vendedores herbolarios de México, confirmaron que la planta *Opuntia spp.*, es utilizada tradicionalmente para el tratamiento de la diabetes no insulino dependiente. La parte medicinal son los cladodios tiernitos, a los cuales se les han retirado las espinas; estos son posteriormente lavados y cortados, para finalmente licuarlos con agua y consumirlos antes del desayuno. El resultado es una disminución de los niveles de glucosa (Andrade-Ceto y Wiedenfeld, 2011).

El efecto hipoglicemiante de dos extractos de *Opuntia streptacantha* (el primer extracto se obtuvo licuando cladodios con agua y, en el segundo extracto, utilizando el filtrado del licuado) se probó en ratas inducidas a la diabetes con estreptozotocina y comparados con glibenclamida (agente hipoglicemiante estándar). Los resultados mostraron que los extractos de *Opuntia* inhibieron la glucosa a los 30 minutos de la ingesta de carbohidratos, mientras que el estándar tiene efecto a los 60 minutos. De estos resultados se argumenta



Fuente. www.flickr.com

que los dos extractos provocan un efecto anti-hiperglicémico, es decir, que el filtrado no pierde el efecto hipoglicemiante que es atribuido por su alto contenido de fibra y pectina, las cuales ayudan a disminuir la absorción de los carbohidratos.

Por otro lado, la combinación de fibra dietética asociada a los fitoquímicos descritos en el nopal, en conjunto con sus propiedades nutraceuticas, hacen que el nopal pueda usarse como suplemento dietético y/o como ingrediente alimenticio. En años recientes, se inició la comercialización de fibra deshidratada de nopal como auxiliar en trastornos digestivos. La pulpa deshidratada del nopal constituye un material fibroso, cuya función medicinal se basa, como cualquier otra fibra natural, en favorecer el proceso digestivo reduciendo el riesgo de problemas gastrointestinales y ayudando en los tratamientos contra la obesidad. Adicionalmente, la fibra dietética insoluble absorbe agua y acelera el paso de los alimentos por el tracto digestivo, impidiendo o retrasando la absorción de azúcares, lo que provoca una sensación de saciedad, por lo que disminuye la ingesta de alimento; así mismo, ayuda a regular el movimiento intestinal, además de disminuir el nivel de lipoproteínas de baja densidad, y disminuye el colesterol en la sangre al interferir en la absorción de grasas que realizan los intestinos (Bensadón et al., 2010).

En cuanto a padecimientos gastrointestinales, la fibra y el mucílago (“baba”) controlan la producción en exceso de ácidos gástricos y protegen la mucosa gastrointestinal, sin olvidar



Fuente. www.flickr.com

que contribuyen a una buena digestión, evitando problemas de estreñimiento. Finalmente, es posible mencionar que los aminoácidos, la fibra y la niacina previenen que el exceso de azúcar en la sangre se convierta en grasa; por otro lado, metabolizan la grasa y los ácidos grasos reduciendo así los niveles de colesterol.

4. *El nopal como biocombustible*

Seguramente los combustibles fósiles seguirán predominando durante algunas décadas más como fuentes de energía en todo el mundo. Sin embargo, es claro que las fuentes de energía no fósiles (energía eólica, hidroeléctrica, biocombustibles y la geotérmica) podrán suministrar una significativa y creciente proporción de abastecimiento de energía del mundo a largo plazo. Éstas son muy competitivas en determinadas regiones, pero cada una de ellas se ve limitada en algún aspecto.



Fuente. <http://es.123rf.com>

La energía solar, la fuente potencial de energía más abundante, segura y duradera, es muy cara en la actualidad; pero parece razonable suponer que en el transcurso de las próximas décadas, la investigación y desarrollo la convertirán en una energía alternativa menos costosa y muy atractiva. Por fortuna, la energía solar que llega a nuestro planeta representa aproximadamente diez mil veces el consumo comercial de energía de nuestra sociedad global. Existe una inmensa cantidad de energía solar que

aprovechar y apenas se han dado los primeros pasos en esa dirección. Una de las muchas formas potenciales de energía solar es la de los biocombustibles, que se elaboran mediante la fotosíntesis.

En la actualidad se vive una explosión de entusiasmo por los biocombustibles, sobre todo del etanol obtenido a partir de cultivos como la caña de azúcar en Brasil o como el maíz en el medio oeste de los Estados Unidos. Entre estos cultivos para la obtención de biocombustibles se encuentra el caso del nopal. A nivel internacional, Chile es el país con mayor avance en el desarrollo de tecnologías para la generación de biocombustible a partir del nopal. Sin embargo y a pesar de contar con plantaciones de mayor escala que las mexicanas (predios de 70, 100, 200 y 300 has. plantadas), los suelos donde se ubican dichas plantaciones presentan baja productividad en relación con los de nuestro país, y sus rendimientos no sobrepasan las 150 toneladas. Por lo que, hasta el momento, sus plantas industriales han presentado dificultades de viabilidad técnica y económico-financiera.

La obtención de biocombustibles a partir de la biomasa genera beneficios económico-sociales y ambientales, ya que contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Ante el reto de responder a las necesidades del país en la búsqueda de nuevas fuentes energéticas, el nopal (*Opuntia spp*) presenta ventajas en relación a otras especies, principalmente debido a su alta eficiencia productiva, amplio rango de adaptación, rápido crecimiento y bajos requerimientos de insumos. Constituye una opción energética viable, ya que de sus tallos y frutos es posible obtener biogás, biodiesel y bioetanol o productos intermedios que pueden ser empleados directamente, tales como abonos y fertilizantes líquidos (efluentes).

Hoy en día, a través del desarrollo de tecnologías más avanzadas y eficientes, así como de la infraestructura y equipo, la biomasa del nopal representa una fuente renovable de gran potencial, con la capacidad de brindar biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser utilizados en la producción de calor, electricidad y combustibles para el transporte, los cuales tienen la particularidad de ser de autoconsumo y de manera

descentralizada o autónoma. México cuenta con un potencial muy alto en materia de recursos energéticos renovables, resultado de su gran diversidad agrícola y de sus condiciones climáticas y geográficas, cuyo desarrollo permitiría al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía (SAGARPA, 2009), tal como lo muestra el caso del nopal.

En la Figura 5 se muestra un diagrama que resume el proceso necesario para la transformación de nopal en biogás útil para la generación de electricidad.

Michoacán se suma a la producción de biogás

A nivel industrial y en nuestro país, los principales competidores en materia de bioenergéticos a base de nopal se encuentran en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Michoacán y, más recientemente, Sinaloa. Cabe señalar que únicamente en Zitácuaro, Michoacán, se tiene un biodigestor industrial funcionando como empresa privada, en proceso de alcanzar su óptima escala comercial y rentabilidad económica-financiera. Sin embargo, una institución de nivel superior del estado, el Instituto Tecnológico Superior de Puruándiro (ITESP), dentro de sus prioridades ha iniciado un proyecto en materia de energía renovable para lograr la transferencia de tecnología de la obtención de biogás a través de la fermentación del nopal.

Como parte de los objetivos estratégicos de la línea prioritaria de investigación de Energías Renovables, dentro del ITESP, se han desarrollado acciones dirigidas a la obtención de biogás a partir de biomasa de nopal (Figura 6). Dentro de las primeras etapas del proyecto a cargo del Ing. Xicotencatl Díaz Villaseñor e Ing. Francisco Luis Sánchez Alfonso, ambos docentes del ITESP, surge la necesidad de seleccionar la especie idónea que se adapte a las condiciones climáticas y de suelo, propias del municipio de Puruándiro, logrando de esta manera establecer una parcela de media hectárea de la variedad Copena V1. Aunado a lo anterior, se encuentran en estudio los cultivos silvestres del municipio de Puruándiro para determinar si algunas de las especies endémicas pueden aportar mayores ventajas para la obtención del biogás.



Figura 5. Figura 5. Proceso de producción de biogás para la generación de electricidad.



Fuente. www.flickr.com

Otras de las etapas trabajadas, a cargo del M.C Gonzalo Soria Melgarejo, es la estandarización del proceso de fermentación. Dicho proceso puede arrojar resultados óptimos en la producción de biogás si se controla la temperatura del proceso, la edad del cladodio de nopal y la fuente de bacterias metanogénicas inmersas en el estiércol de ganado bovino o porcino, principalmente. Como etapa final del proyecto, el M.C Jorge Zamora Magaña, director general del ITESP, contempla la construcción e instalación en la institución educativa de una planta productora de biogás de nopal a nivel industria.

Dentro de los alcances de la producción de biogás de manera industrializada, se pretende favorecer a las comunidades del municipio de Puruándiro. En primera instancia, la demanda

de nopal incentivará el cultivo de esta planta para satisfacer las necesidades que demande la producción de biogás; esto, sin duda alguna, abrirá el camino para el desarrollo del municipio y de nuevas fuentes de empleo.

Hasta el momento se ha logrado mantener el cultivo (Figuras 7 y 8) y ha sido posible realizar algunas pruebas de laboratorio para la estandarización del proceso de fermentación de biomasa de nopal. Además, se trabaja en la producción de biogás a escala piloto para abastecer las necesidades de las instalaciones de la institución; con base en ello se contempla sustituir el gas LP empleado en el laboratorio para la realización de las prácticas, así como emplear el gas obtenido para la elaboración de los alimentos en la cafetería de la institución; finalmente, se pretende alimentar una pequeña generadora eléctrica para contribuir en la iluminación de la institución.



Es importante mencionar que los docentes y alumnos de las carreras de Ingeniería en Desarrollo Comunitario e Ingeniería en Industrias Alimentarias, del ITESP, han colaborado aportando grandes esfuerzos para establecer y mantener el cultivo de nopal, permaneciendo comprometidos en las actividades de siembra, poda, fertilización y control de plagas; además, se tienen logros en la estandarización del proceso de fermentación del nopal para producción de biogás, ya que se sabe la edad adecuada del cladodio, el tiempo necesario de fermentación y la cantidad de gas producido por las variedades estudiadas.

Vale la pena resaltar que el potencial bioenergético del nopal será importante en la medida que pueda ser empleado como una fuente de energía renovable en aquellas zonas de escasa precipitación y con restricciones de agua, brindando autonomía energética y mejorando el bienestar de los pobladores de las áreas rurales de Michoacán y del resto del país.



Fuente. latino.matecanela.com

Referencias bibliográficas:

- Andrade-Ceto, A. y Wiedenfeld, H. H. (2011). Anti-hyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem. J. Ethnopharmacol. 133: 940-943.
- Anderson E. F. (2001). The cactus family. Timber. Portland, OR, EEUU.
- Bravo H. H. (1978). Las cactáceas de México. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Sáenz, C. H. Berger, J.C. García, L. Galletti, V.G. de Cortázar, I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, M.T. Varnero (2006). Utilización agroindustrial de nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 162. Roma.
- Bensadón, S.; Hervert-Hernández, D.; Sáyago-Ayerdi, S. G. and Goñi, I. (2010). By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. Plant Food Hum. Nutr. 65:210-216.
- Blanco-Macías, F., R. D. Valdez-Cepeda; R. E. Vázquez-Alvarado, y P. Almaguer Sierra. (2008). Establecimiento y manejo de nopalito para verdura. En VII Simposium-Taller “Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México”.
- Castañeda Pérez, A. (1986). Sistemas de Producción Agrícola del Nopal para Verdura (*Opuntia ficus indica*) en la Delegación Milpa Alta, Distrito Federal, p.p. 46-48.
- Colunga, G.M.P.; Hernández, X.E.; Castillo, A. (1986). Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío guanajuatense. Agrociencia 65: 7-49.
- Murray Prisant, G. (2000). El poder curativo del nopal. Editorial Selector.
- Fрати-Munari, A.C.; Vera Lastra, O.; Ariza-Andraca, C.R. (1992). Evaluation of nopal capsule in diabetes mellitus. Gaceta Médica de México, 42 (2), 431-436.
- Gómez Cruz, M. A., et. al., (2002). Frutas y Hortalizas. Estado Actual y Nuevas Alternativas en México. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- González Quintero, L. (1976). Las cactáceas subfósiles de Tehuacán, Cactáceas y Suculentas Mexicanas. México.
- Gurrieri S., L. Miceli, C. M. Lanza, F. Tomaselli, R. Bonomo, and E. Rizzarelli (2000). Chemical characterization of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. J. Agric. Food Chem. 48: 5424-5431.
- Guzmán U., Arias S., Dávila P. (2003). Catálogo de cactáceas mexicanas. Univ. Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Referencias bibliográficas:

Granados Sánchez, D. (1991). El nopal: Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas, México.

Miranda, F. y X.E. Hernández (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación, México: Boletín de la Sociedad Botánica de México 28: 29-179.

Loayza, G. D. y J. Chávez (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. Rev. Soc. Quím. Perú 73(1): 41-45.

Piga, A. (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. Journal of the Professional Association for Cactus Development.

Reyes-Agüero, J. A. (2005). Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) y su relación con la domesticación en la altiplanicie meridional de México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Rodríguez-Felix, A. y Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Food Hum. Nutr. 38:83-93.

Rzedowski J. (1978). La vegetación de México. Limusa. México.

Scheinvar, L. (2009). Base de datos: “Especies Silvestres de Nopales Mexicanos”, Proyecto GE005 CONABIO. Laboratorio de Cactología del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2014.

Stintzing, F., K. Herbach, M. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C. Akoh, R. Bunch, and P. Felker. (2005). Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp) clones. J. Agric. Food Chem. 53: 442-451.

Sun, T., P. Simon, and S. A. Tanumihardjo (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. J. Agric. Food Chem. 57: 4142-4147.

Yeh, G.Y.; Eisenberg, D. M.; Kaptchuk, T. J. and Phillips, R. S. (2003). Systematic review of herbs and dietary supplements for glycemic control in diabetes. Diabetes Care. 26:277-1294.



Editado por el Consejo Estatal de Ciencia,
Tecnología e Innovación de Michoacán.

Se terminó de imprimir en el mes de abril de 2015,
en los Talleres Gráficos de -----,
ubicados en -----
-----, Tel. -----, Morelia, Michoacán.

La edición estuvo al cuidado de la Subdirección de
Difusión del CECTI, en su composición se utilizó
tipografía Trebuchet MS y se imprimió en papel
bond de 90 grs.

El tiraje constó de ----- ejemplares.