

El Nopal

Ecofisiología del Nopal en México



Ernesto González Gaona
Leandris Argente Martínez
Lucila Perales Aguilar
Ofelda Peñuelas Rubio
Alberto Margarito García Munguía
Karla Vanessa De Lira Ramos

Compiladores



Pantanal Editora

2024

Ernesto González Gaona
Leandris Argentel Martínez
Lucila Perales Aguilar
Ofelda Peñuelas Rubio
Alberto Margarito García Munguía
Karla Vanessa De Lira Ramos
Compiladores

El Nopal: ecofisiología del nopal en México



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu
Prof. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Prof. Dra. Patrícia Maurer
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Prof. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

N821

El Nopal: ecofisiología del nopal en México / Organizadores Ernesto González Gaona, Leandris Argente Martínez, Lucila Perales Aguilar, et al. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024.
81p.

Outros organizadores: Ofelda Peñuelas Rubio, Alberto Margarito García Munguía, Karla Vanessa de Lira Ramos

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-21-1

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756211>

1. Ecología fisiológica. I. Gaona, Ernesto González (Organizador). II. Martínez, Leandris Argente (Organizador). III. Rubio, Ofelda Peñuelas (Organizador). IV. Título.

CDD 574.5

Índice para catálogo sistemático

I. Ecología fisiológica



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Prólogo

El presente libro constituye un tributo a una de las especies vegetales que identifican a los Estados Unidos Mexicanos. Es el resultado del esfuerzo de un gran grupo de investigadores que forman parte de la Red Nacional del Nopal en México. Aquí hemos recopilado información clásica y científica sobre la capacidad que tiene el nopal para desarrollarse en la mayoría de los climas y ecosistemas de México, así como formas de propagación y principales usos.

Ente las organizaciones que han colaborado con la redacción del documento se encuentran la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), cuyo secretario es el Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula, el Ing. Víctor Suárez Carrera, Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria, el Dr. Salvador Fernández Rivera, Coordinador General de Desarrollo Rural y el Lic. Ignacio Ovalle Fernández, Director General de Seguridad Alimentaria Mexicana.

Participaron además de manera activa un colectivo de directivos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), entre ellos Dr. Luis Ángel Rodríguez Del Bosque, Encargado del Despacho de los Asuntos de la dirección General del INIFAP, el Dr. Alfredo Zamarripa Colmenero Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación, el Dr. Luis Ortega Reyes, Coordinador de Planeación y Desarrollo y el Lic. José Humberto Corona Mercado, Coordinador de Administración y Sistemas.

Se destaca también la participación del Dr. José Antonio Cueto Wong, Director Regional del Centro de Investigación Regional Norte Centro, el Dr. Juan Bautista Rentería Ánima, director de Investigación, el Ing. Ricardo Carrillo Monsiváis, Director de Administración y Dr. Luis Reyes Muro, Director de Coordinación y Vinculación en Aguascalientes

Finalmente se hace mención especial al Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes y al Instituto Tecnológico Valle del Yaqui, del Tecnológico Nacional de México (TECNM), donde prestigiosos investigadores ofrecen acceso universal al conocimiento científico generado tras muchos años de investigación.

Los editores

Resumen

Prólogo.....	4
Capítulo I.....	7
Introducción al cultivo del Nopal.....	7
Capítulo II.....	15
Características de Los Nopales.....	15
Capítulo III.....	27
Selección del sitio y Plantación del Nopal.....	27
Capítulo IV.....	37
Manejo anual del Cultivo.....	37
Capítulo V.....	45
Usos y aprovechamiento de los Nopales.....	45
Capítulo VI.....	64
Generación de biogás y energía eléctrica.....	64
Índice.....	79
Sobre los compiladores.....	80

Introducción al cultivo del Nopal



Huerta de Nopal tunero. Foto: Dr. Jaime Mena Covarrubias, INIFAP-CEZAC.

Capítulo V

Usos y aprovechamiento de los Nopales

Recebido em: 01/12/2023

Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap5

Ernesto González Gaona 

Jaime Mena Covarrubias 

Roberto Sánchez Lucio 

Karla Vanessa De Lira Ramos 

Héctor Silos-Espino 

Lucila Perales-Aguilar 

Argelia García Munguía 

Es indudable la relación que siempre ha existido entre las plantas y el hombre; por ello, el hombre de todas las épocas ha obtenido formas de utilización tanto para alimentación, como en la herbolaria, en construcción y para la manutención de animales, etc.

El género *Opuntia* es extremadamente tolerante a las altas temperaturas y a la escasez de humedad, se adapta fácilmente a las zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y tierras pobres sujetas a erosión, gracias a que han desarrollado adaptaciones fenológicas, fisiológicas y estructurales con el fin de mantener su desarrollo en ambientes adversos (Sudzuki, 1995; Velázquez, 1998; Luna, 2010; Nobel, 1995).

El principal uso de los nopales es como alimento en diversas formas; sin embargo, los nopales no constituyen en sí un alimento completo, forman parte, al igual que otras verduras, del menú cotidiano de muchas familias de escasos recursos, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas de México (Barbera, 1995).

Composición nutricional del nopalito usado como verdura

Dentro de la composición química del nopal, se debe mencionar inicialmente el alto contenido de agua, que es del orden del 88 al 93% aunque varía con la variedad y las condiciones ambientales (Flores & Aguirre, 1992; Do Santos et al., 1998). Entre los principales minerales que contiene, se encuentran el calcio y el potasio, además del sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio, entre otros. El nopal es considerado como una buena fuente de calcio, ya que en 100g de nopal fresco hay cerca de 80 miligramos de este mineral, aunque deficiente en fósforo cuando se da de comer a los ovinos (Bravo & Scheinvar, 1995).

El nopal contiene, también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. El nopal es rico en fibras, vitaminas (A, B, B2, B6, C y K), clorofila y

proteínas. En una taza de nopales crudos (86 g aproximadamente) hay 2.9g de hidratos de carbono y 1.1g de proteína y solamente 17 kcal. Pero su principal atractivo es que contiene una gran cantidad de fibra dietética (soluble e insoluble, con una relación 30/70 entre ambas). En el Cuadro 8.1, se muestran los contenidos nutrimentales de 100 g de nopal fresco. Además, tiene los siguientes aminoácidos: Lisina 4, Isoleucina 4, Treonina 4.8, Valina 3.8, Leucina 5.2, triptófano 0.8, Metionina 0.7, Fenilalanina 5.4 (Ríos & Quintana, 2004).

En comparación con otras plantas, el nopal es muy alto en nutrientes que ayudan a reforzar el hígado y el páncreas. La salud de estos dos órganos es muy importante para poder convertir los carbohidratos en glucógeno que pueda ser utilizado como energía para el cuerpo. Con ello se genera la producción de insulina y la sensibilidad de las células del cuerpo hacia los órganos, misma que es necesaria para mover a la glucosa hacia las células del cuerpo donde se usa como energía.

Las vitaminas que se encuentran en el nopal (A, B1, B2, B3, y C), los minerales (Calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro) y las fibras (Lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, mucílagos y goma), junto con los 18 aminoácidos que se encuentran en él, ayudan a desintoxicar y a mejorar las funciones del hígado y el páncreas.

Cuadro 1. Contenido nutrimental del nopal en fresco.

Nutrimento	A *	B**
Porción Comestible (%)	78	
Agua (%)		
Energía (Kcal)	27.00	40
Proteína (g)	1.7	0.7
Grasa (g)	0.30	0.5
Carbohidratos (g)	5.6	9.6
Calcio (mg)	93.00	5.6
Hierro (mg)	1.60	8.5
Tiamina (mg) (Vit A)	0.03	0.01
Vitamina B1 (mg)		
Riboflavina mg (Vit B2)	0.06	0.06
Niacina (mg)	0.3	0.5
Ácido ascórbico (mg) (Vit C)	8.00	14.0
Vitamina B6 (mg)		0.06
Retinol mg (Vit A)	41.0	
Colesterol (mg)		0.0
Fibra dietética (g)		3.6
Fósforo (mg)		24
Potasio (mg)		220
Sodio (mg)		5.0
Folato (mg)		6.0
Minerales		
B caroteno mg		
Celulosa g		

*Ríos Quintana, 2004.

Se indica que tiene un alto contenido de acidez (100 mmol H + p/kg), mismo que se estima, imparte un sabor ácido que puede ser desagradable para un sector del consumidor.

Usos tradicionales de la planta del nopal

El empleo de esta planta cactácea se remonta a la época prehispánica, por lo que se tiene registrado que los Aztecas, lo usaban con fines medicinales (Hoffmann, 1995; Velázquez, 1998).

- Para las fiebres, bebían el jugo
- El mucílago o baba del nopal la utilizaron para curar labios partidos
- La pulpa les curaba la diarrea
- Las espinas, para la limpieza de infecciones
- La tuna era usada para bajar el exceso de bilis
- Empleaban las pencas del nopal como apósito caliente para aliviar inflamaciones
- La raíz, para el tratamiento de hernia, hígado irritado, úlceras estomacales y erisipela.

Posteriormente, desde la colonia hasta el México contemporáneo, se le han encontrado los siguientes usos y aplicaciones:

- Los colonizadores encontraron que estas cactáceas les eran útiles por sus frutos y por ser fuente importante de un material mucilaginoso que servía de ligamento a los adobes en la construcción de las misiones.
- Las pencas se utilizaban para mitigar el dolor y curar inflamaciones.
- Una pequeña plasta se empleaba para curar el dolor de muelas.
- La pulpa de las tunas usaba para controlar la diarrea.
- En el México antiguo, el jugo de las pencas era extraído y untado en las ruedas de los carros para impedir que se quemaran por el uso excesivo.

Cabe mencionar que uno de los usos más conocidos durante la colonia, fue la elaboración de pinturas de color carmín, el cultivo de la grana se considera se inició en Oaxaca y regiones adyacentes de Guerrero y Puebla por los pueblos mixtecos y zapotecas alrededor del siglo X de nuestra era (Granados & Castañeda, 2000). Aunque su cultivo decayó drásticamente con la invención de las pinturas sintéticas. Aunque todavía hoy se le cultiva en varios países como una fuente de colorante natural, convirtiéndose de nuevo en una alternativa económica para zonas semidesérticas (Flores-Flores & Tekelenburg, 1995; Condeña, 1997; Méndez et al., 1999; González et al., 2002; Aldama-Aguilera & Llanderal-Cázares, 2003; Campos-Figueroa & Llanderal-Cázares, 2003).

Propiedades medicinales (Terapéuticas)

Diversos estudios muestran las propiedades terapéuticas del nopal al ser una fuente de nutrientes y diversos elementos que apoyan al sistema inmunológico, glandular, nervioso, circulatorio, respiratorio y digestivo. Entre las más propiedades importantes para la salud humana se encuentran:

- Fortalecer el hígado y páncreas, y consecuentemente, sus funciones.

- Es un hipoglucemiante natural, por ello resulta un alimento recomendable para diabéticos y obesos (auxiliar para el control de peso). Con el consumo de nopales no se corre el riesgo de reducir el azúcar en la sangre a niveles no deseados, ya que únicamente los regula logrando una estabilidad satisfactoria para la persona. Controla los síntomas de la diabetes logrando una estabilidad satisfactoria del azúcar en la sangre y evitando llegar a niveles no deseados.
- Auxiliar eficiente para la eliminación del colesterol (nopalito y xoconostle) del sistema circulatorio, que lo hace un aliado muy importante del corazón al prevenir infartos u otras afecciones cardíacas (Abrajan-Villaseñor, 2008).
- El nopal contiene pectina y mucílago que controlan la producción excesiva de ácido gástrico, protegiendo la mucosa gastrointestinal beneficiando al sistema digestivo y la digestión general.
- Es fuente importante de fibra; la fibra soluble se ha usado en muchos padecimientos porque su presencia en el tubo digestivo retarda la absorción de nutrimentos y hace que estos no pasen a la sangre rápidamente (Índice glicémico bajo). También contribuyen a la regularidad del proceso digestivo, es una alternativa para quienes presentan sensibilidad o alergia al *Psidium plantago*. La fibra insoluble puede prevenir y aliviar el estreñimiento y las hemorroides al mismo tiempo que previene la aparición de cáncer de colon.
- Disminuye los niveles de azúcar (Glucosa), colesterol total y triglicéridos (ácidos grasos) sanguíneos.

Aprovechamiento comercial del nopal

Los nopales han sido una fuente alimenticia en México por cientos de años, actualmente también han ganado popularidad en los Estados Unidos, las pencas, como vegetal (nopalitos) y las tunas como fruta. Se estima que, en la actualidad, los principales empleos del nopal son como nopal de verdura (Olvera & Flores, 1995; Flores & Olvera, 1995), Tuna (De Luna et al., 1995; Flores & Gallegos, 1995) y como forraje que tiene una gran aceptación por su bajo costo. Según Flores et al. (1995), la superficie mundial cultivada con nopal (verdura, tuna, forrajero y para producción de cochinilla) fue 1.3 millones ha. Los principales productores son: Brasil, Sudáfrica y México con 36, 25 y 5% respectivamente. La mayoría se emplea como forraje, y en la producción de tuna (88 y 5.8 % respectivamente) otro rubro importante es la cría de cochinilla fina y producción de nopalito 1.1 %. En hortalizas, el nopalito aportó 1.8 % de la superficie nacional cosechada, 7.4 % del volumen producido y 3.7 % del valor de la producción en 2005. En frutales, la tuna ocupó 3.5 % de la superficie nacional cosechada, 2.2 % del volumen producido y 1.9 % del valor de la producción (Callejas-Juárez et al., 2009). Que lo ubica como el séptimo lugar en superficie y el décimo entre los frutales con un consumo per cápita del 3.72 kg al año. (Flores & Gallegos, 1995).

Alimento

El uso de los nopales silvestres se inicia con la llegada del hombre al territorio de la República Mexicana hace 25,000 años, aunque las evidencias históricas de su uso datan de 7,000 años; en las excavaciones de Tamaulipas y Puebla donde se encontraron en cuevas habitadas por el hombre, semillas y restos de fibras de cactus (Flores-Valdez, 1995). Aunque el consumo de los nopalitos fue preferentemente en los estados del centro y norte de México este se realizaba preferentemente para autoconsumo durante la temporada de desarrollo primavera-verano, no fue hasta los 1950's cuando los productores de Milpa Alta en el Distrito Federal le dieron un gran impulso a su cultivo, llegando a establecerse 10,000 ha bajo cultivo para suplir las demandas de nopalitos (Flores-Valdez, 1995). México aporta el 74% de la producción mundial de esta verdura y es también el principal consumidor tanto en fresco como procesado (Maki-Díaz et al., 2015)

Los cladodios jóvenes de este cactus son usados en la cocina mexicana para diferentes platillos, llegándose a registrar más de 240 platillos y productos derivados (Velázquez, 1998). Como vegetal se usa en ensaladas, sopas, guisos, asados, en fin, en una amplia gama de aplicaciones. Aparentemente la mayoría de las personas los prefieren cocidos y combinados con otros alimentos, como huevos, chile, camarones, en salsas e, incluso se llega a utilizar como ingrediente en la bebida alcohólica mexicana "Pulque" y se elaboran bebidas fermentadas como colonches (Arrizon et al., 2006).

Recientemente se ha popularizado mucho el consumo del nopal licuado combinado con algún jugo de frutas; sin embargo, para algunas personas les resulta un poco molesta la sensación que causa el mucílago (baba) del nopal, por lo que el polvo de nopal (deshidratado y molido) ha venido a ofrecer una solución para este inconveniente, y permite la elaboración de una gama más amplia de productos tales como dulces, panes, galletas, tostadas, tortillas, etc. Es tan versátil que hasta se utiliza para la elaboración desarrollo de dulces, postres y mermeladas. Además de su uso como fruta y verdura en fresco existen otros usos que están tomando relevancia:

El jugo concentrado de nopal, se comercia pasteurizado y en algunos casos, es esterilizado con calor (Quiguango, 2011) y el producto se refrigera una vez abierto. Por lo general los concentrados se venden para ser mezclados con agua o con el jugo de alguna fruta, en ocasiones el extracto de semilla de toronja se emplea como conservador. Se fabrica con *Opuntia ficus indica* y existen concentrados en el mercado 100% orgánicos. Se comercializa en tambos de 100 l para ser reenvasado o para otros procesos industriales que se le puedan dar al producto. Se producen bebidas artesanales llamadas "colonches" y alcohólicas.

Otra forma de utilizar el nopal, es como polvo. El proceso para la manufactura del polvo de nopal inicia desde la selección de las raquetas de nopal, mientras más grandes sean las que se utilicen, mejor será el resultado por el mayor contenido de nutrientes y de minerales en el producto (Algunas procesadoras emplean las raquetas que tienen un área de 50 cm² o más y que pesan hasta 2 kg). Por otro lado, algunas procesadoras utilizan raquetas sucias, podridas o enfermas, dando como resultado un

producto de mala calidad, y aunado a ello, no se realizan prácticas de higiene en el proceso, esto exige a muchas organizaciones de poder participar en el comercio de este producto hacia aplicaciones alimenticias, farmacéuticas y/o cosméticas en los mercados internacionales, y por ende, detiene el crecimiento en la utilización del nopal y sus derivados como insumos en esas importantes industrias.

Para la elaboración del polvo se debe utilizar la variedad *Opuntia ficus indica* y se requiere que tenga alto contenido de nutrientes, minerales y fibras para que el resultado sea un producto de calidad. El proceso de deshidratación varía de procesadora a procesadora. Algunos secan los nopales en pisos de concreto, otros en el piso, pero situando un plástico para cubrir el suelo para que el producto no esté en contacto directo con éste; algunos emplean sitios donde se realizan otros procesos, otros cultivos y/o otros productos, por lo que existe el riesgo de contaminación cruzada. Existen también procesos de deshidratación solar (exposición directa del producto al sol, con o sin mallas sombra o secadoras solares) (Gallegos et al., 2010) y otros que lo deshidratan al emplear calor directo al nopal por diversos medios, entre los que cuales están los hornos o métodos más artesanales.

El polvo de nopal se ha convertido en una de las formas principales para consumir nopal en muchos países del mundo y no sólo se utiliza en la industria de alimentos, sino también en la de cosméticos y en la de salud como insumo para la elaboración de derivados o subproductos.

Las pectinas del nopal son utilizadas ampliamente en la industria de alimentos como agentes hidrocoloides (gomas) gelificantes. Dependiendo del origen botánico y el proceso de extracción, los grupos carboxílicos están parcialmente esterificados con metanol y en ciertas pectinas los grupos hidroxilo están parcialmente acetilados. Comercialmente, se derivan de desechos de frutas, particularmente de desechos y subproductos de la manufactura de jugos (manzana y cítricos).

Forraje

A pesar de que el nopal es principalmente reconocido en el mundo por ser un cultivo frutícola por la producción de tuna, su mayor importancia realmente radica en la producción de forraje. Esto es si se considera la superficie total cultivada y las áreas silvestres en algunos países donde se considera nativa, hasta en los lugares en donde se ha naturalizado. La idea de utilizar la *Opuntia* para alimentar el ganado no es reciente. En el siglo XIX hubo un abundante comercio de este cactus en las zonas ganaderas de Texas en Estados Unidos. Para la utilización de nopales silvestres en pie, es necesario quemar las espinas con quemadores, para que las vacas puedan alimentarse y suplementar con Fe, Cu y Zn para evitar deformidades en los chamorros de las madres que solo se alimentan de nopales (Felker, 1995).

Las especies más importantes de uso forrajero son: *Opuntia leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindbeimeiri* y *O. phaeacantha*.

El nopal es un forraje interesante porque se obtiene energía digerible, de forma más eficiente que con los pastos y las leguminosas, responde bien a la fertilización, tolera una poda intensa y se puede suministrar al ganado como forraje fresco. Es necesario mencionar que el nopal no contiene todos los

nutrimentos que satisfagan una dieta completa. El nopal es rico en carbohidratos solubles y calcio, pero pobre en fósforo. Por lo tanto, es recomendable agregar melaza a la ración para evitar disminuir la actividad celulolítica del rumen; limitar la cantidad de grano en la dieta por la misma razón; y/o alimentar los animales con forrajes fibrosos (paja, heno, etc.) antes de suministrar el nopal. Adicionalmente, se requiere un suplemento mineral para proveer suficiente azufre para mantener un equilibrio de la tasa de Ca/P.

Las pencas del nopal contienen entre 80 a 95% de agua y una vez secas, contienen hasta un 33% de proteína, además de que se consideran bajos en fósforo y sodio (Bravo y Scheinvar, 1995). Los análisis también han mostrado un gran contenido de calcio y oxalatos, que podrían explicar el efecto laxante del nopal en los animales que lo consumen en grandes cantidades.

Aspectos importantes a considerar sobre el nopal como forraje son: conforme la edad del cladodio, aumenta, el contenido de materia seca y de fibra, mientras que la proteína cruda disminuye, además poseen un alto contenido de agua (90%), cenizas (20%), y calcio (1.4%), carbohidratos solubles y vitamina A, aunque son pobres en proteína cruda (4%) (Pinos et al., 2006; Flores-Hernández et al., 2019), y fósforo (0.2%). Su digestibilidad puede ser comparada a un buen forraje con valores cercanos a 70% (Mejía et al., 2010), el promedio varía del 60 al 70% de materia orgánica, 35 a 70% de proteína cruda y 40 a 50% de fibra cruda.

Cuando se suministra a los animales, estos muestran algunas diferencias con los forrajes y se comportan más como si estuvieran consumiendo alimentos ricos en carbohidratos (similar a los cereales y melazas); cuando el nivel de nopal en la dieta se incrementa, hay un incremento del consumo de alimentos fibrosos, aumento de ácidos grasos volátiles y se incrementa el consumo de agua, la actividad celulítica del rumen y de la proporción de ácido acético/ácido propiónico. Los cladodios de nopal son altamente palatables, mostrando consumos diarios promedio de 6 a 9 kg por ovinos y de 50 a 80 kg en bovinos.

Valor nutricional de la semilla del fruto

En un análisis proximal sobresalieron los siguientes genotipos: Proteína (8.69 %) “Amarilla Montesa”, grasas (16.77 %) el genotipo “Cardona”, carbohidratos (10.50 %) de “Xoconostle cuaresmeño” y cenizas (1.81) en el genotipo “Sanjuanera”. En el aceite se encontraron 5 tipos de ácidos grasos, Palmítico y Esteárico (Saturados), Oleico (Monoinsaturados), Linoleico y linolénico (Poliinsaturados), siendo en ácido linoleico el de mayor proporción (73.09 %) encontrado en el genotipo “Xoconostle cuaresmeño”, seguido por Oleico (16.75 %) del genotipo “Cardona”, el ácido palmítico (14.28 %) en el genotipo “Rosa de Castilla”. Los de menor proporción fueron el ácido linolénico (5.59 %) y Esteárico (3.79 %) en el genotipo “Rojo vigor”, “Selección Hidalgo” y “Tapón aguanoso” respectivamente. En la determinación de fenoles totales el genotipo “Xoconostle cuaresmeño” sobresalió con (141.81 mg EAG/100 g) y en capacidad antioxidante, el genotipo “San Juanera” sobresalió con 51.68

mMol TE/L. De acuerdo a lo anterior, se encontró que la semilla presenta una buena calidad en cuanto al contenido de proteína y el aceite es de excelente calidad por la proporción Ácido Oleico a Linoleico (1:1, 3:1) de ácidos grasos poliinsaturados que contiene y que son benéficos para la salud humana (Amador-Rodríguez et al., 2019).

Medicinal (Terapéutico)

Por más de 7,000 años se ha consumido nopal y una de las principales razones del consumo estriba en sus cualidades nutricionales y medicinales. Sin embargo, la ciencia y la investigación, tienen poco tiempo de sumarse a un interés real de conocer las propiedades e investigar los alcances de esta planta. En la medicina naturista, se emplea como: cataplasma para golpes, contusiones, hinchazones, quemaduras, analgésico, diurético y antiespasmódico. En forma de polvo se usa como auxiliar para tratamientos para la diabetes, hiperlipidemias y para disminuir peso corporal, esto cuando se ingiere previamente a los alimentos. Si se emplea como jugo, ayuda a potenciar el sistema inmunológico y es auxiliar en detener el crecimiento de tumores, también se usa como diurético e antiinflamatorio y para reducir los dolores en el sistema urinario.

El análisis de la composición química de un extracto de *Opuntia ficus* indica reveló que consistía de azúcares reductores, principalmente glucosa. Los estudios realizados por el IMSS han mostrado que la administración en ayunas de cladodios de nopal a individuos sanos y diabéticos causa una disminución en los niveles de glucosa. Mientras que la fibra deshidratada de nopal es usada como auxiliar en trastornos digestivos y se puede emplear también como recubrimiento de las paredes del estómago para evitar las úlceras gástricas.

Los diabéticos pueden consumir frescos los tallos o pencas, si se consumen 1,500 g en 10 días, son excelentes para combatir la diabetes al reducir en promedio: 31.0 mg/dll (miligramos por decilitro) de Colesterol; 93.5 mg/dll de Triglicéridos y 4.0 mg/dll de Glicemia.

El nopal verde (*Opuntia indica*) ha sido recomendado para una gran variedad de desórdenes de tipo circulatorio, cardíaco, digestivo, e inflamatorio (Magloire-Feugang et al., 2006; Guevara-Figueroa et al., 2010) entre los que se encuentran: la regulación de azúcar en la sangre, los 17 aminoácidos presentes en el nopal proveen más energía y reducen la fatiga ayudando a reducir el nivel de azúcar en la sangre. El nopal refuerza las funciones del hígado y páncreas al incrementar la sensibilidad a la insulina, la que estimula el movimiento de la glucosa en las células del cuerpo donde es usada como energía, regulando así, el nivel de azúcar de la sangre. También disminuye la digestión de carbohidratos por lo que reduce la producción de insulina.

Estudios e investigaciones recientes muestran que existe un efecto hipoglicémico significativo en los pacientes diabéticos de tipo II a las 4 o 6 horas de haber ingerido nopal (Velázquez, 1998; Basurto et al., 2006; Fabella-Illescas et al., 2015). Los efectos colaterales peligrosos a los que se enfrentan los pacientes de Diabetes tipo II residen en los daños que se pueden generar por tener niveles altos de azúcar,

tales como desordenes visuales, en las venas y arterias y en los tejidos nerviosos. Todos estos síntomas se ven disminuidos por el consumo de nopal debido al contenido de Beta Caroteno (Vitamina A, C, B1, B2 y B3). Se ha comprobado científicamente el poder hipoglicémico del nopal (Wolfram et al., 2002), es decir, como un efectivo tratamiento para la prevención de la diabetes.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN), documentó que la ingestión de nopal antes de cada alimento, durante 10 días, provoca la disminución del peso corporal y reduce las concentraciones de glucosa, colesterol y triglicéridos en la sangre. Esto se observó en pacientes con diabetes tipo II que son resistentes a la insulina, pero para las personas que tienen diabetes tipo I, (que no producen insulina), el consumo de nopal no sustituye las inyecciones de ésta.

Los ingredientes activos que se encuentran en el nopal, ayudan en la prevención de la absorción del exceso de grasa y carbohidratos, por lo que se mantiene un balance apropiado en el nivel de sangre y se controla la obesidad.

Al ser una planta fibrosa, el nopal contiene altos niveles de fibras solubles e insolubles. Las fibras solubles apoyan la absorción de la glucosa hacia el intestino mientras que las fibras insolubles reducen el exceso de bilis y los cancerígenos potenciales que puedan presentarse en el colon, mediante la absorción y excreción, ayudando a mantener este órgano limpio y en buen estado. Además, estas fibras contribuyen a una buena digestión evitando problemas de estreñimiento.

Por último, se sabe que las fibras vegetales y los mucílagos controlan el exceso de ácidos gástricos y protegen la mucosa gastrointestinal previniendo así, las úlceras gástricas y todo ese tipo de afecciones. Este efecto potencializador del pH y de encubrimiento del sistema gástrico se ha estudiado para poder prevenir los daños que puedan ocurrir por la ingesta de comida con muchas especias, las aspirinas y otros productos que generalmente dañan a los intestinos.

El Nopal presenta tanto vitaminas (A, complejo B y C) como minerales (Calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro), así como fibras (lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina) y mucílagos, que junto con los aminoácidos ayudan a eliminar toxinas y da soporte al hígado, otros órganos y al cuerpo en general. Las toxinas ambientales, conocidas como radicales libres, provocadas por el alcohol y el humo del cigarro, entre otros, inhiben el sistema inmunológico del cuerpo; sin embargo, el consumo del nopal elimina su presencia en el cuerpo (Romero, 2018).

Los fotoquímicos presentes en el nopal son aliados poderosos para el sistema inmunológico, por lo que el cuerpo puede defenderse óptimamente ante cualquier ataque de los patógenos.

El nopal actúa de muy diversas formas para reducir el riesgo de cualquier enfermedad del corazón. Primero, debido a que la fibra que se encuentra en el nopal, actúa para absorber y eliminar el colesterol; luego, los aminoácidos, la fibra y el niacina, que se encuentran en el nopal previenen la conversión de azúcares en grasa, mientras que reduce los niveles de triglicéridos y de colesterol malo. Finalmente, el niacina, convierte el colesterol malo en colesterol bueno, los aminoácidos y las fibras actúan de manera conjunta con efectos antioxidantes y las vitaminas presentes previenen la formación de paredes en las

venas y la formación de placas grasosas en las arterias. Las proteínas vegetales presentes en el nopal, por medio de los aminoácidos, ayudan a que el cuerpo recupere sus fluidos de los tejidos hacia la mejora del sistema circulatorio, por lo que disminuye la celulitis y la retención de líquidos (García, 2018).

Los fitoquímicos que se encuentran en las plantas (conocidos como alimentos funcionales o nutraceuticos) actúan de cuatro maneras para promover la salud y asistir al ser humano en la resistencia a las enfermedades: 1) La primera es como antioxidantes, que ayudan a erradicar las moléculas deficientes en oxígeno, conocidas como “radicales libres”, que de no eliminarse, causan daños celulares que pueden llevar al desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes, cáncer, enfermedades del corazón, artritis y otros desórdenes, 2) como desintoxicante, ya que apoya los procesos normales que permiten al cuerpo reconocer y destruir o eliminar las sustancias tóxicas ingeridas o producidas en el cuerpo humano, 3) moduladores hormonales que permiten la producción de hormonas para reducir el exceso de la presencia de éstas en el cuerpo. Ese exceso puede generar daños celulares que lleven a varios tipos de cáncer y 4) reguladores de células donde se puede asistir al cuerpo humano en el control del crecimiento de diferentes tumores (Nunes, 2011; Sumaya Martínez et al., 2011; Armijos, 2013; Gentile et al., 2014).

Los aminoácidos, la fibra y la vitamina B3 ayudan a prevenir a el exceso de azúcar en la sangre y la conversión de esta en grasa, por lo que se reduce el colesterol total, los triglicéridos y los niveles de colesterol y Lipoproteína de baja densidad (LDL), por medio del metabolismo de la grasa y de los ácidos grasos, así como de la eliminación de los ácidos biliares, que se convierten en colesterol. En personas con colesterol elevado. El consumo de nopal, ayuda a eliminarlo evitando que se absorba y no se acumula en venas y arterias (García, 2018).

Los aminoácidos, la fibra y el niacina, contenida en el nopal, previenen que el exceso de azúcar en la sangre se convierta en grasa, y promueven el metabolismo de la grasa y los ácidos grasos, reduciendo así el volumen de colesterol en la sangre.

El contenido de LDL en el nopal se cree que es la principal causa de que el colesterol sea expulsado del cuerpo, ya que actúan a nivel del hígado removiendo y retirando el colesterol que el cuerpo tiene en exceso. Al mismo tiempo se ha visto que esta cantidad de LDL no afecta a las HDL (Lipoproteínas de alta densidad) o “colesterol bueno”. Otros estudios muestran que el niacina (B3), realiza efectos de conversión del colesterol malo (LDL) al colesterol bueno (HDL) y ayuda a disminuir el riesgo de enfermedades del corazón (García, 2018).

El nopal tiene una cantidad suficiente de aminoácidos y fibra, incluyendo los antioxidantes vitamina C y A, los cuales, previenen la posibilidad de daños en las paredes de los vasos sanguíneos, así como también la formación de plaquetas de grasa, y es así como también tiene un poder preventivo en relación a la arteriosclerosis (los efectos de los aminoácidos y de las fibras, e incluso de los antioxidantes presentes en el nopal por medio de la Vitamina A y la C, previenen el daño potencial a las venas y a la

formación de placas grasas dentro de las arterias) (Betancourt-Domínguez et al., 2006). Se reportan contenidos de 37 mg de ácido ascórbico por cada 100 gr de nopalito (Guzmán & Chávez, 2007).

El consumo de nopal es la forma más natural de apoyar la pérdida de peso. Su alto contenido de fibras disminuye el apetito y la acumulación de grasa, mientras apoya a que se incremente la frecuencia de la excreción. Además, disminuye la retención de líquidos (García, 2018).

Se ha puesto de moda que en todas las dietas se tome un jugo de nopal con toronja o alguna otra fruta. Esto se fundamenta en que gracias a la gran cantidad de fibra que tiene esta planta, ayuda a retardar el tiempo de absorción de los nutrimentos y su entrada a la sangre y por lo tanto, facilita su eliminación. También, las fibras insolubles que contiene, crean una sensación de saciedad, haciendo que disminuya el hambre de las personas y ayudan a una buena digestión debido a que apoya en la regulación del movimiento intestinal.

Los nopales tienen antibióticos naturales, esta propiedad está relacionada con el metabolismo ácido crasuláceo (CAM) de las plantas, el cual, en las cactáceas inhibe o suspende el crecimiento de varias especies bacterianas. De ahí que tanto el consumo del nopal como la aplicación de cataplasmas de pencas de nopal, tengan efectos benéficos en heridas e infecciones de la piel.

En un experimento realizado con ratones con tumores cancerígenos, se administraron extractos acuosos de *Opuntia máxima* y se encontró la prolongación del periodo de latencia de dichos tumores malignos. No curó el cáncer, pero lo detuvo. Aún no se sabe la causa, pero se están realizando varios estudios al respecto.

El nopal contiene una gran cantidad de fibras dietéticas, tanto solubles como insolubles. La fibra dietética insoluble absorbe el agua y apoya al paso de los alimentos a través del tracto digestivo y contribuye significativamente a regular los movimientos del sistema en su totalidad. A su vez, la presencia de estas fibras dietéticas ayuda a diluir la concentración de células potencialmente cancerígenas que se presenten en el colón, con lo que se previene, en cierta medida, la aparición de este padecimiento (Revoreda, 2019).

Cabe aclarar que actualmente no se conoce ningún riesgo serio o complicación que pueda ser asociado con la ingestión de nopal. La ingestión de hierbas con un contenido muy alto en fibra puede, bajo algunas circunstancias, originar excremento suave, evacuaciones frecuentes u otra alteración gastrointestinal. Es posible que el nopal empleado junto con fármacos contra la diabetes produzca una disminución demasiado pronunciada de azúcar en la sangre, conocida como hipoglucemia. Esto es indeseable y por eso los niveles de azúcar deben ser medidos frecuentemente

Obtención de cosméticos

El nopal tiene muchas propiedades dentro de su composición química que pueden ser utilizadas para el desarrollo de cosméticos. Evidentemente, su utilización aporta todas sus propiedades nutrimentales para beneficiar la piel y el cabello de los seres humanos. Se han utilizado diferentes procesos

para obtener jabones, cremas para diversas aplicaciones y utilidades (manos y cuerpo), shampoo, enjuague, acondicionadores, mascarillas (humectantes, o estimulantes y limpiadoras), crema de noche, loción astringente, gel para baño, gel para estilizado de cabello, pomadas, sombras para ojos y otros productos derivados de las raquetas o paletas del nopal.

Además, el nopal goza de una excelente propiedad para el desarrollo de cosméticos y esto es que tiene la propiedad de retener la humedad, esto es debido a que los compuestos de la baba del nopal, constituyen un hidrocoloide. Aunado a productos para embellecer o para mantener el estado del cabello y la piel del cuerpo, el nopal ha sido aplicado externamente para tratar heridas y quemaduras leves, por lo que los productos derivados para la cosmética, pueden incluso tener al mismo tiempo aplicaciones de tipo terapéutico. Sin embargo, para validar esto, hace falta más investigación clínica y profundizar en el desarrollo de productos para comprobar estos resultados.

El uso del nopal en la industria cosmética ha crecido debido a que la demanda ha aumentado considerablemente gracias al incremento de los patrones naturistas de consumo a nivel mundial. Algunos ejemplos de su uso en este ramo son: base para obtención de pigmentos de uso múltiple, shampoos, enjuagues capilares, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, pomadas, sombras para ojos y rubor.

Usos alternativos

Además de los usos mencionados previamente, se han localizado otros que es probable que sea interesante investigar para identificar su valor económico real, su potencialidad de beneficios al usuario y/o consumidor, su viabilidad y factibilidad de negocio y la competitividad con respecto a los demás productos que pudieran ser utilizados para estas aplicaciones con la meta de poder sustituirlos donde sea un negocio potencialmente atractivo. Algunos de los usos alternativos que se han detectado son los siguientes:

El nopal espinoso se utiliza tradicionalmente como cerco, para limitar huertos familiares o terrenos y esto se realiza desde tiempos muy antiguos (Velázquez, 1998).

Por las propiedades adhesivas del nopal se agrega a la cal para que se adhiera con mayor firmeza a la pared de construcciones o proteger árboles contra enfermedades o que sean atacadas por roedores o estabilizar y dar más firmeza a bloques de adobe (Ramsey, 1999). Estudios recientes proponen la utilización del polvo de nopal para la construcción con el fin de aumentar la dureza de las estructuras de concreto, habiendo logrado resultados sorprendentes con adiciones de 5g de mucílago de nopal liofilizado por cada 1,200g de materiales secos a utilizar, con lo que se logra una dureza del 56% mayor que la del concreto normal (Cardenas et al., 1998; Hernández y Serrano, 2003; Acosta et al., 2004)

A partir de la baba del nopal, se puede fabricar pintura que actúa como impermeabilizante, el cual puede ser aplicado a cualquier construcción con tierra, cemento u otros materiales, para protegerla. La

protección de la construcción se da contra el frío, la humedad del ambiente, del agua, de los insectos y otros. Así como también se obtiene el colorante rojo carmín de la grana cochinilla (Velázquez, 1998).

El tronco y las pencas secas se pueden utilizar como combustible en zonas desérticas. Las raquetas de los nopales tienen una gran cantidad de lignina, son leñosas, y se pueden usar como leña, en zonas donde no hay disponibilidad de electricidad, petróleo o energía comercial.

La siembra de grandes superficies de nopaleras permite la recuperación y regeneración del suelo; pero, además permite la preservación de biodiversidad de zonas desérticas y semidesérticas, en donde habitan víboras, coyotes, zorrillos, conejos, liebres y una gran diversidad de aves, como halcones, zopilotes, auras, águilas, búhos, entre otros (Riojas & Mellink, 2005). El nopal es una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático y desertificación (Calabro, 2016). Debido a que el nopal crece en tierras severamente degradadas, su uso es importante por su abundancia en áreas del semidesierto donde muy pocos cultivos pueden lograrse (Velázquez, 1998; Reyes-Agüero et al., 2005).

En la industria, es usado como anticorrosivo, fuente de pigmentos y como colorante natural.

El cultivo del nopal frena la desertificación e impide la erosión del suelo (Abrajan-Villaseñor, 2008), pero además consume grandes cantidades de CO₂ por las noches, por lo que ayuda a disminuir significativamente la contaminación del aire. Por ello se recomienda la plantación de este vegetal en los camellones de las grandes ciudades. También se le usa como planta ornamental en casas, camellones, jardines públicos y junto con otras plantas del semidesierto se crean paisajes de este tipo que rememoran la aridez de gran parte de nuestro país. Además de todo lo anterior, se han estado estudiando sus capacidades para actuar como un agente anticontaminante para limpiar el agua sucia y también como una fuente sustituta del petróleo (Abrajan-Villaseñor, 2008). En el sector de servicios ambientales se le emplea como barrera ecológica de conservación, en la estabilización de dunas, así como en la reforestación con fines comerciales y restauración de terrenos.

Se reportan trabajos sobre propagación *in vitro* de cactáceas, donde la parte de multiplicación se lleva a cabo mediante la activación de areolas (De la Rosa-Carillo et al., 2012). Esta herramienta biotecnológica permite generar grandes cantidades de plantas y además estudiar su respuesta ante la presencia de contaminantes, en corto tiempo, al contrario del uso de plantas enteras. Los riesgos ambientales se evalúan basándose en el efecto del contaminante sobre organismos vivos como los nopales. Las especies del género *Opuntia* como *O. amyclaea*, *O. basilaris*, *O. cochenillifera*, *O. ficus-indica*, *O. macrocentra* y *O. robusta* se clasifican como fitoestabilizadoras, exclusoras, hiperacumuladoras e indicadoras ante la presencia de metales pesados como Cu, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb y Zn (Perales-Aguilar et al., 2021). Esto se debe a que los nopales tienen mecanismos de defensa, cuando se presentan uno o varios contaminantes, para minimizar el daño en las células. Las zonas áridas cubren el 54.3 % de la superficie total de México, en Aguascalientes cubre gran parte de la superficie del estado. Se presenta contaminación por metales pesados debido a las actividades mineras. Los nopales pueden servir para restaurar estos sitios contaminados, en donde se ha perdido la cubierta vegetal. Las investigaciones sobre la vegetación de

zonas áridas, que crece en suelos afectados por la actividad minera, puede proporcionar información útil sobre la tolerancia, acumulación y translocación de metales pesados y puede servir para la rehabilitación del paisaje y/o restauración (Perales- Aguilar, 2019).

Amenazas a los beneficios del nopal en sus aplicaciones

Se debe señalar que el nopal, es un complemento para tratar ciertas enfermedades y no es propiamente un medicamento, debe ser ubicado como un auxiliar para controlar o prevenir los padecimientos y que sus beneficios, en muchos casos, no han sido ratificados científicamente.

El mayor mito que existe sobre el nopal está relacionado con la diabetes. Aunque existen estudios que demuestran que su consumo disminuye el nivel de glucosa en la sangre. Se debe tener mucho cuidado en la promoción de los productos comerciales y en las cuestiones que son comprobables científicamente y generan los resultados promovidos por cada producto ya que incluso, puede generar algún problema legal al proveedor de ese producto.

LITERATURA CITADA

- Abrajan-Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Depto. De Tecnología de Alimentos, España.
- Aldama-Aguilera, C., & Llanderal-Cázares, C. (2003). Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia*, 37, 11-19.
- Amador-Rodríguez, K. Y., Cerralta Macías R., Valera-Montero, L. L., Flores-Benítez, S., Gallégo Vázquez C., Guzmán Maldonado H. S., & Silos-Espino, H. (2019). Chemical and potentially functional compounds of selected prickly pears seeds (*Opuntia* spp.). *Meitteilungen Klosterneuburg*, 69, 141-143.
- Armijos, L. A. G. (2013). Actividades antiinflamatorias del nopal y la tuna en el crecimiento de células endoteliales (HUEVC). (Tesis Licenciatura en Ingeniería en Agroindustria Alimentaria). El Zamorano, Honduras.
- Arrizon, J., Calderón, C., & Sandoval, G. (2006). Effect of different fermentation conditions on the kinetic parameters and production of volatile compounds during the elaboration of a prickly pear distilled beverage. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 921-928.
- Barbera, G. (1995). History, Economic and Agro-ecological importance. In G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B. (Eds.), *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear* (pp. 1-11). FAO, Plant Production and Protection paper 132.

- Basurto, S. D., Lorenzana-Jiménez, M., & Magos Guerrero, G. A. (2006). Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 49(4), 157-162.
- Betancourt-Domínguez, M. A., Hernández-Pérez, T., García-Saucedo, P., Cruz-Hernández, A., & Paredes-López, O. (2006). Physico-chemical changes in cladodes (nopalitas) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 61, 115-119.
- Bravo, H., & Scheinvar, L. (1995). *El interesante mundo de las cactáceas*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica.
- Calabro, P. S., Pontoni, L., & Porqueddu, I. (2016). Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results. *Waste Management*, 48, 440-447.
- Callejas-Juárez, N. J.A. Matus Gardea, J. A. García Salazar, M. A. Martínez, Damián, J. M. Salas González. 2009. situación actual y perspectivas de Mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el estado de México, 2006. *Agrociencia* 43: 73-82.
- Campos-Figueroa, M., & Llanderal-Cázares, C. (2003). Producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopidae) en invernadero. *Agrociencia*, 37, 149-155.
- Cardenas, A., Argüelles, W. M., & Goycoolea, F. M. (1998). On the possible rol of *Opuntia ficus-indica* mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.*, 3, 64-71.
- Condeña, A., F. (1997). Manejo integral de la tuna y la cochinilla para los valles interandinos de la sierra peruana. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú. 66 p.
- De la Rosa-Carillo, M. de L., Domínguez-Rosales, M. S., Pérez-Reyes, M. E., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2012). Cultivo y propagación in vitro de cactáceas amenazadas del género *Turbincarpus*. *Interciencia*, 37(2), 114-120.
- De Luna, J. M., Flores, V. C., & Gallegos, V. (1995). La comercialización de la tuna en México. In: 6° congreso nacional y 4° Congreso Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del nopal (pp. 151-158). Guadalajara, Jalisco, México.
- Dos Santos, D. C., Lira, M. A., & Dos Santos, M. V. F. (1998). Competicao de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). In: *Anais 35ª Reuniao da Soc. Bras. De Zoot.* (pp. 37-39). Botucatu, Brazil.
- Fabella-Illescas, H. E., Ávila-Domínguez, R., Hernández-Pacheco, A., Ariza-Ortega, J. A., & Betanzos-Cabrera, G. (2015). Efecto de una bebida a base de nopal (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dyck) en pacientes de una población rural de Hidalgo, México: ensayo clínico piloto. *Nutricion Hospitalaria*, 31(6), 2710-2714.
- Felker, P. (1995). Forage and fodder production and utilization. In: *FAO, Plant Production and Protection paper 132* (Eds. G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B.), 144-154.
- Flores, V. C. A., & Aguirre, J. R. (1992). *El Nopal como forraje*. 1ra. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 60 p.

- Flores, V. C. A., & Gallegos, V. (1995). La producción de tuna en México. In: 6° congreso nacional y 4° Congreso Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del nopal (pp. 274-278). Guadalajara, Jalisco, México.
- Flores, V. C., & Olvera, M. J. (1995). La producción de nopal verdura en México. In: 6° Congreso Nacional y 4° Congreso Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal (pp. 282-289). Guadalajara, Jalisco, México.
- Flores-Flores, V., & Tekelenburg, A. (1995). Dacti (*Dactylopius coccus* Costa) Dye production. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132 (Eds. G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B.), 167-185.
- Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., Esparza-Ibarra, E. L., Quiñones-Zaldívar, A., Murillo-Amador, B., García Hernández, J. L., & Rueda-Puente, E. O. (2019). Evaluación del nopal forrajero (*Opuntia* spp.) en el norte de México como opción para su enriquecimiento proteico. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Agrotecnia Num 5 (pp. 1471-1489). Link
- Flores-Valdez, C. A. (1995). “Nopalitos” Production, Processing and Marketing. In: FAO, Plant Production and Protection paper 132 (Eds. G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B.), 92-99.
- Gallegos, M. S., García, H. E., Dietmar, K., & Ríos, R. (2010). Desarrollos tecnológicos del Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí en la producción y utilización de nopal. In: Biotecnología para el semidesierto. Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey (Eds. E. H. Silos, M. L. Valera, S. Perales, C. Nava, G. Méndez, O. Amante, & K. Rossel) (pp. 70-73). Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes y Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, México.
- García, Q. I. (2018). Propiedades medicinales del Nopal. Link Consultado el 15 de marzo de 2020.
- Gentile, C., Tesoriere, L., Allegra, M., Livrea, M. A., & D'Alessio, P. (2004). Antioxidant Betalains from Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Inhibit Endothelial ICAM-1 Expression. Annals New York Academy of Sciences, 1028, 481-486.
- González, M., Méndez, J., Carnero, A., Lobo, M. G., & Alfonso, A. (2002). Optimizing conditions for the extraction of pigments in cochineals (*Dactylopius coccus* Costa) using response surface methodology. Journal Agricultural Food and Chemistry, 50, 6968-6974.
- Granados, S. D., & Castañeda, P. A. (2000). El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas. 3ra reimpresión. México. 227 p.
- Guevara Figueroa, T., Jiménez Islas, H., Reyes Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., ... Barba de la Rosa, A. P. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.) Journal of Food Composition and Analysis, 23, 525-532.
- Guzmán, L. D., & Chavez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus indica*) para el consumo humano. Revista Sociedad Química del Perú, 73(1), 41-45.

- Hernández, J. B., & Serrano, G. R. (2003). Uso del nopal en la industria de la construcción. In: Memorias. IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, Zacatecas. México (pp. 286-289).
- Hoffmann, W. (1995). Ethnobotany. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132 (Eds. G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B.), 12-19.
- Luna, R. J. (2010). Ecofisiología del género *Opuntia* con énfasis en Nopal (*Opuntia ficus indica*). In: Biotecnología para el semidesierto. Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey (Eds. E. H. Silos, M. L. Valera, S. Perales, C. Nava, G. Méndez, O. Amante, & K. Rossel) (pp. 62-69). Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes y Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, México.
- Magloire Feugang, J., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11, 2574-2589.
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G., & Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49, 31-51.
- Mejía H. I., Cruz V., C., Tirado E., G., & Medina R., M. (2010). Valor nutricional del nopal forrajero y algunos aspectos biotecnológicos. In: Biotecnología para el semidesierto. Tópicos sobre el cultivo de nopal y maguey (Eds. E. H. Silos, M. L. Valera, S. Perales, C. Nava, G. Méndez, O. Amante, & K. Rossel) (pp. 12-26). Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes y Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, México.
- Méndez, G., Aquino, P. P., Puga, J., & Martínez, J. J. (1999). El cultivo de la grana o cochinilla fina (*Dactylopius coccus*). Mimeografiado. Curso de capacitación a técnicos CODAGEA. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, México. 17 p.
- Nobel, S. P. (1995). Environmental Biology. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132 (Eds. G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B.), 36-48.
- Nunes, S. A. (2011). Modulation of inflammatory mediators by *Opuntia ficus-indica* and *Prunus avium* bioproducts using an in vitro cell-based model of intestinal inflammation. Tesis de Master en Biotecnología. Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Nueva de Lisboa. 99 p.
- Olvera, M. J., & Flores, V. C. (1995). Comercialización de Nopal verdura en México. In: 6° congreso nacional y 4° Congreso Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal (pp. 166-175). Guadalajara, Jalisco, México.
- Perales-Aguilar, L. (2019). Evaluación in vitro de la susceptibilidad a metales pesados en plantas de zonas áridas. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Tesis de doctorado. 109 pp.
- Perales-Aguilar, L., Esquivel-Rivera, J. A., Silos-Espino, H., Carillo-Rodríguez, J. C., & Perales-Segovia, C. (2021). Tolerancia de plantas de zonas áridas a metales pesados. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-8 pp.

- Pinos, R. J. M., Duke, B., Reyes, J. A., Aguirre, R. J. R., García, L. J. C., & González, M. (2006). Effect of species and age on nutrient content and in vitro digestibility of *Opuntia* spp. *Jour. Appl. Anim. Res.*, 30, 13-17.
- Quiguango, Y. W. K. 2011. Utilización de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*) para la elaboración de jugo. Tesis Ingeniero Agroindustrial. Universidad del Norte. Facultad de ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Ecuador. 108 p.
- Ramsey, J. E. (1999). Evaluación del comportamiento del adobe estabilizado con cal y goma de tuna. Tesis Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima.
- Revoreda, E. (2019). 7 beneficios del nopal esta planta muy presente en la cocina mexicana. Directo al paladar. México. <https://www.directoalpaladar.com.mx/ingredientes-y-alimentos/7-beneficios-nopal-esta-planta-muy-presente-gastronomia-mexicana>. Consultado el 14 de enero de 2020.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre R., J. R., & Hernández, H. M. (2005). Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*, 39, 395-408.
- Riojas, L. E., & Mellink, E. (2005). Potential for biological conservation in man-modified semiarid habitats in northeastern Jalisco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14, 2251-2263.
- Ríos, R. J., & Quintana, M. V. (2004). Manejo general del cultivo de Nopal. Manual del participante. Fondo de tierras e Instalación del joven emprendedor. SRA-CP, México. 81 p.
- Romero, V. R. (2018). Nopal, auxiliar en el control de la diabetes y la hiperglucemia: IMSS Hospital General Regional No 1 Tijuana Baja California, México. Doc: 265/2018. <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201810/265>
- Sudzuki, H. F. (1995). Anatomy and morphology. In: *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Roma Italia. Pp 28 – 35.
- Sumaya-Martínez, M. T., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillán, E., García-Paredes, J., Cariño-Cortés, R., Cruz-Cansino, N., Valadez-Vega, C., Martínez-Cárdenas, L., & Alanís-García, E. (2011). Betalain, Acid Ascorbic, Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Purple, Red, Yellow and White Cactus Pear. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 6452-6468.
- Velázquez, E. (1998). El Nopal y su historia. La cocina mexicana a través de los siglos. Editorial Clío. 95 p.
- Wolfram, R. M., Kritz, H., Efthimiou, Y., Stomatopoulos, J., & Sinzinger, H. (2002). Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose-and lipid metabolism in nondiabetics with hyperlipidemia: a pilot study. *Wien Klin Wochenschr*, 114(19-20), 840-6. www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&Cmd=ShowDetailView&TermToSearch=12503475&ordinalpos=7&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed

Generación de biogás y energía eléctrica



Planta piloto generadora de biogás en Calvillo, Aguascalientes. Foto: Dr. Jaime Mena Covarrubias, INIFAP-CEZAC.

Índice

	C	México, 1, 4, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 18, 20, 28, 36, 37, 38, 40, 44, 46, 47, 48, 56, 64, 79, 80
Cactáceas, 79		
	E	
Especies, 40		
	L	
lindheimeri, 8, 18		
	M	
Metabolismo, 20		
	O	
		Opuntia, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 44, 48, 49, 51, 54, 56, 64
	S	
		streptachantha, 18
	T	
		Tuna, 47

Sobre los compiladores



Dr. Ernesto González Gaona. Investigador Titular del Programa de Sanidad Forestal y Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Pabellón en Aguascalientes desde 1984, Miembro del SNII Nivel 1. Líneas de Investigación: Manejo orgánico biológico de plagas y enfermedades en Guayaba, Nopal, Vid, Maíz, así como plagas forestales con énfasis en defoliadores de la familia Diprionidae.



Dr. Leandris Argente Martínez. Profesor Investigador Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Líder del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular del estrés.



Dra. Lucila Perales Aguilar. Profesora Investigadora del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, miembro del SNII candidata, con experiencia en biotecnología de plantas del semidesierto y remediación de suelos contaminados con metales pesados. Profesor con perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública. Línea de investigación sobre Producción de Cactáceas y Agavaceas in vitro y remediación de suelos del semidesierto.



Dra. Ofelda Peñuelas-Rubio. Profesora Investigadora Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesora Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Miembro del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular de sistemas terrestres y costeros.



Dr. Alberto Margarito García Munguía. Profesor Investigador Titular C, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII) Nivel 2. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Miembro del Cuerpo Académico Protección Vegetal. Línea de investigación: Manejo Integral de Plagas, Manejo de agroquímicos y biológicos, Autodiseminación de Entomopatógenos.



MC. Karla Vanessa De Lira Ramos. Investigadora Titular del Programa de Sanidad Forestal y Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrita al Campo Experimental Pabellón en Aguascalientes desde 2014. Líneas de Investigación: Manejo orgánico biológico de plagas y enfermedades en Guayaba, Nopal, Vid, Maíz, así como plagas forestales y resistencia a *Begomovirus* en Chile.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br