

El Nopal

Ecofisiología del Nopal en México



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

Compiladores



Pantanal Editora

2024

Ernesto González Gaona
Leandris Argente! 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
Profª. MSc. Adriana Flávia Neu
Profª. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profª. MSc. Aris Verdecia Peña
Profª. 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
Profª. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profª. Dra. Denise Silva Nogueira
Profª. 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
Profª. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez
Profª. 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
Profª. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profª. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profª. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profª. Dra. Patrícia Maurer
Profª. 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*)
Profª. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profª. 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 I


Introducción al cultivo del Nopal

Recebido em: 01/12/2023


Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap1

Leandris ArgenteL-Martínez 

Ofelda PeñueLas-Rubio 

Catarino Perales-Segovia 

Ernesto González Gaona 

Alberto Margarito García Munguía 

José Aurelio Leyva Ponce 

Los nopales son originarios de América (Nieto-Garibay, 2003) y se les encuentra distribuidos en todo el continente desde los litorales hasta el Altiplano creciendo en forma silvestre en las planicies áridas del centro y norte de México, y aunque también se les reporta en climas subtropicales y tropicales, la mayor variación y diversidad se presenta en las zonas semiáridas (Pimienta, 1990). Se plantean dos centros de diversificación uno en América del norte y otro en América del sur, separados por el Istmo de Panamá, originados por un centro primitivo de diferenciación en el Golfo de México y El Caribe (Piña, 1977).

En México, el nopal es icono de las zonas rurales de las zonas áridas y semiáridas del norte del país. Culturalmente se le encuentra asociado a eventos primordiales de nuestra nación como el lugar de la Fundación de Tenochtitlán ubicado, donde Tenoch y los nueve caudillos aztecas encontraron un águila posada sobre un nopal devorando una serpiente (Figura 1A, 1B, y 1C).

Tenochtitlán en náhuatl proviene de la integración de Te (tl) “piedra” y noch(tli) tuna, que integradas a ti (estativo) y tlan “lugar en el que abundan las tunas”. El nopal tenía una connotación divina para los Aztecas entendiéndose que la tuna era el corazón de Copil sobrino de Huitzilopochtli que dio origen al nopal sobre la piedra tan grande y hermoso que el águila hace en el, su morada (Bravo-Hollis & Scheinvar, 1995; Velázquez, 1998; Wikipedia, 2010).

La palabra nopal, es un vocablo que deriva del náhuatl nopalli que significa mi bandera (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991, citados por González et al., 2001). México es la única nación que utiliza esta planta dentro de sus emblemas nacionales, resaltando la importancia que han tenido los nopales en el desarrollo del país como lo demuestra su inserción en el escudo de armas de Maximiliano y el actual escudo nacional (González et al., 2001; Martínez et al., 2010).

El nopal, está intrínsecamente relacionado con el desarrollo del pueblo mexicano en su historia, tradición, orgullo, “folcklore”, gastronomía (Velázquez, 1998), magia, religiosidad, medicina e identidad, a tal grado que existe un refrán que señala “tan mexicano como los nopales” (Garcés, 2009).

Las nopaleras silvestres en la República Mexicana ocupan una superficie cercana a los tres millones de hectáreas distribuidas principalmente en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco (Pimienta, 1990), aunque de estas solo unas 250 mil ha son usadas bajo explotación comercial mediante actividades de recolección (Badii & Flores, 2001), los principales estados productores son Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco, Hidalgo, Puebla y México (Pimienta, 1990).

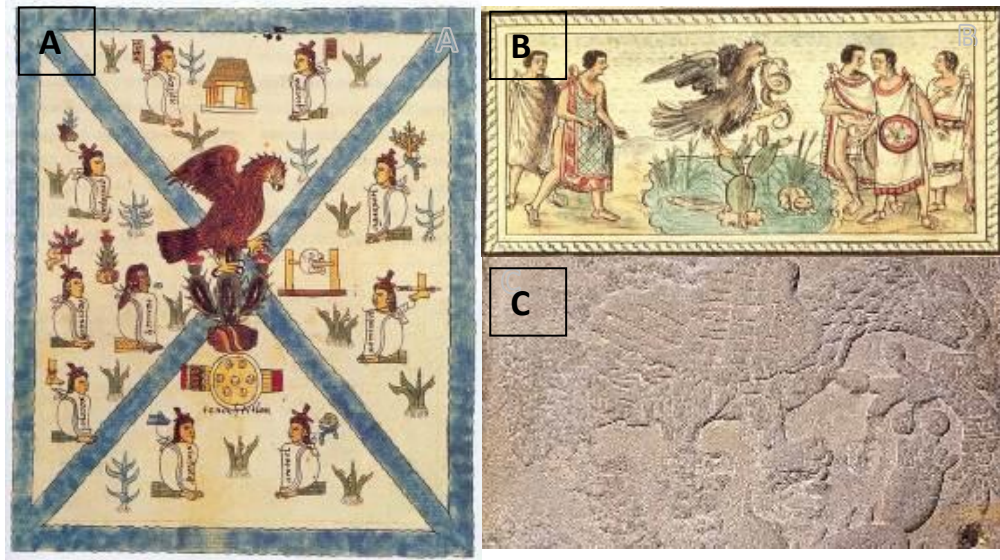


Figura 1. La representación prehispánica más conocida del lugar donde se fundaría Tenochitlán es la del Códice Mendocino de 1541(A). Se observa la ausencia de la serpiente que se agregó después, debido a una mala traducción de la leyenda y a las ideas cristianas de la serpiente como símbolo del mal (Wikipedia, 2010). La reinterpretación de la leyenda donde aparece la serpiente (B) se atribuye al padre Diego Duran en el Códice Duran de 1570 (Bustamante, 2008). Otra representación de dicho evento es la del “teocalli” de la guerra sagrada de los aztecas (C) (Velázquez, 1998; Matos, 2010).

Bajo cultivo se estiman cerca de 50 mil ha ubicadas en dos grandes regiones: la centro-norte que involucra a los estados de Zacatecas (con cerca del 28% de la superficie nacional), San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato con alrededor de 25 mil ha, con altitudes en esta región entre 1,840 a 2,200 msnm, con clima templado seco, lluvias de mayo a septiembre (350 a 500 mm) y temperaturas promedio de 16 a 18 °C, con periodo de heladas de octubre-marzo, las producciones varían de 3 a 15 ton/ha⁻¹ (Pimienta, 1990; Flores & Gallegos, 1993).

La región centro-sur, ubicada en los estados de Hidalgo, México, Tlaxcala y Puebla con una extensión aproximada de 18,750 ha. En la zona de Puebla es semi intensivo y se produce la variedad de tuna blanca Villanueva. El clima es fresco (13-15 °C) sin presencia de heladas, con precipitaciones de 600-750 mm, las producciones varían de 15-25 t ha⁻¹, durante abril-agosto, mientras que en los otros estados es intensivo y se produce principalmente la variedad Alfajayucan, con precipitaciones de 400 a 700 mm, las producciones se encuentran de 10-15 t ha⁻¹ en julio-septiembre. El resto de la superficie cultivada con nopal se ubica en áreas dispersas en Durango, Querétaro, Coahuila, Oaxaca, Guerrero, Sinaloa, Veracruz y Baja California (Flores & Gallégo, 1993).

En la zona norte-centro las huertas de nopal tunero producen de 3 a 15 ton ha⁻¹ debido a la baja precipitación (350 a 500 mm precipitación por año) y menor empleo de prácticas de manejo, mientras que las mejores producciones que van de 10 a 15 ton ha⁻¹ se logran en los estados de Hidalgo y México que tienen mejores precipitaciones y existe una mayor inversión en el cultivo; así como en Puebla donde las precipitaciones alcanzan los 600 a 750 mm por año y no existen riesgos de daños por frío (Barbera, 1995). La época de cosecha de tuna en Puebla es de abril-agosto, en Hidalgo y Estado de México de julio-septiembre y de agosto-octubre en la región centro-norte (Barbera, 1995).

Las principales especies cultivadas en México son: *Opuntia amyclaea*, *O. ficus-indica*, *O. xocostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*, mientras que las especies que se recolectan en su ambiente natural son *O. hypatiacantha*, *O. leucotricha* y *O. streptacantha* (Nobel, 1998).

En el Valle de Tehuacán, Puebla se encontraron vestigios de semillas de frutos y pencas de nopal con una antigüedad de 6,500 años antes de nuestra era y se cree que junto con el maíz formaban parte de la alimentación humana de los pueblos prehispánicos; como lo muestran las excavaciones de Tetila en donde se hallaron e identificaron 10 especies de nopales (*Opuntia amyclaea* Ten. “alfajayucan”, *O. cochineria* Griff. “cardón”, *O. lindheimeri* var. *Lucens* (Griff.) Scheinv. “cuija”, *O. matudae* Scheinv. “xocostle colorado”, *O. oligacantha* SD. “xocostle corriente”, *O. robusta* var. *guerrana* (Griff.) San-Me., ex Bravo. “nopal tapón”, *O. sarca* Griff. Ex Scheinv. “chamacuerito”, *O. spinulifera* SD. “ardilla”, *O. streptacantha* Lem. “cardon”, *O. tomentosa* var. *tomentosa* SD “San Gabriel”), de las cuales algunas son silvestres, otras son variedades de tunas finas todavía hoy muy apreciadas y de acuerdo a la distribución actual algunas son endémicas y otras introducidas (Adriano & Martínez, 2010). De los pueblos prehispánicos los que más emplearon el nopal en sus cultos religiosos fueron los aztecas y los otomíes (Smith, 1967 citado por Hoffman, 1995; Granados & Castañeda, 2000).

La importancia de los nopales se pone de manifiesto por la amplia cantidad de usos que tiene, entre los que se pueden citar: la alimentación humana ya sea por el consumo de nopalitos y/o tunas (Pimienta, 1990; De la Rosa y Santana, 2000; Granados & Castañeda, 2000) o como forraje para los animales (Flores y Aranda, 1997), medicinal (Mayer & Mc Laughlin, 1981; Basurto et al., 2010), ornamental (Nobel, 1998), elaboración de quesos, dulces y bebidas (Pimienta, 1990; Bravo-Hollis & Scheinvar, 1995; Arrizon et al., 2006), combustible o como base para obtención de energía alternativa (Retamal et al., 1987; García de Cortazar & Varnero, 1995; Méndez et al., 2009; Perales et al., 2009), y cría de insectos como la grana para la obtención de pigmentos (Flores-Flores & Tekelenburg, 1995; Méndez et al., 1999; Aldama-Aguilera & Llanderal-Cázares, 2003; Campos-Figueroa & Llanderal-Cázares, 2003) entre otros.

Los rendimientos comerciales de tuna en plantaciones jóvenes de cinco a siete años son de 0.5 a 1.4 ton ha⁻¹ mientras que en plantaciones maduras de 20 a 30 años van de 3.0 a 8.0 ton/ha⁻¹ (Pimienta, 1990), aunque se han registrado rendimientos experimentales de hasta 51 ton ha⁻¹ pero con una alternancia de producción muy marcada (Gutiérrez, 1987).

A pesar de que en México el nopal se le cultiva desde 500 años antes de nuestra era (Pimienta, 1990), los niveles tecnológicos de las explotaciones son muy bajos, debido a que por su rusticidad y a los bajos precios en el mercado, no se proporcionan los cuidados adecuados, porque económicamente no sería redituable. Por ejemplo, en Guanajuato se estimó que en el 16% de los huertos de nopal tunero, alrededor de 1,000 ha requerían realizar actividades de rehabilitación inmediatas, pero la gran mayoría de las plantaciones requerían de la solución de problemas que afectan la producción, como plagas y enfermedades, rendimientos bajos e inestables, sequía y maleza perenne (Mondragón, 1994).

En los primeros estudios realizados sobre la incidencia y daños ocasionados por insectos (p.e. García, 1965) se determinaron entre cinco u ocho especies problemas con amplia distribución; sin embargo, los problemas fitosanitarios se han incrementado debido al establecimiento de monocultivos utilizando cladodios provenientes de plantaciones con problemas fitosanitarios, lo cual ha ocasionado que en la actualidad se manejen hasta 18 especies de plagas causando daños económicos (Mena & Rosas, 2007). En la región de Pinos, Zacatecas, se determinó que el 85% de los productores señala tener problemas debido a los daños ocasionados por las plagas (Esparza et al., 1992), lo cual es una situación común a las plantaciones comerciales del centro norte de México.

En forma tradicional para controlar las plagas del nopal, la estrategia más utilizada por los productores es la aplicación de plaguicidas, aun y cuando no existe un plaguicida autorizado por la CICLOPLFEST para su uso en este cultivo, se pueden encontrar citas que mencionan varios productos (INIFAP, 1998; Badii & Flores, 2001); sin embargo, además de los problemas de contaminación y resistencia que se originan, existen cuestionamientos sobre la efectividad ya que se realizan recomendaciones de control con base en estudios con más de 30 años de antigüedad (Méndez, 1994).

En el caso de enfermedades el panorama se complica ya que existen controversias en el organismo causal, epidemiología, épocas y estrategias de combate.

Se considera que para que se logre la adopción de las estrategias de control integral de plagas y enfermedades existen las siguientes dificultades: 1) muchos productores reducen al máximo la inversión de insumos destinados a la producción por la inseguridad de obtener precios a sus productos que justifiquen la inversión realizada, 2) la escasez de agua limita la aplicación de agroquímicos y 3) la mayoría de los productores desconoce los métodos y normas que se deben seguir en la aplicación de plaguicidas (Pimienta, 1990). El objetivo de este escrito es proporcionar información actualizada sobre el cultivo del nopal y sus usos a través de la historia y su consumo.

LITERATURA CITADA

Adriano, M. C., & Martínez-Yrizar, D. (2010). Un sustento que viene del pasado. <http://www.cienciorama.unam.mx/index.jsp?pagina=vida&action=vrArticulo&aid=231>. (16 de abril de 2010).

- Aldama-Aguilera, C., & Llanderal-Cázares, C. (2003). Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia*, 37, 11-19.
- Arrizon, J., Calderon, 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 & Biotechnology*, 33, 921-928.
- Badii, M. H., & Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in México. *Florida Entomologist*, 84, 503-505.
- Barbera, G. (1995). History, Economic and Agro-ecological importance. In: *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp 1-11.
- Basurto, S. D., Lorenzana-Jiménez, M., & Magos, G., G. A. (2010). Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. <http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no49-4/RFM49408.pdf>. Monografía. Laboratorio de fitofarmacología. Departamento de Farmacología. Facultad de Medicina. UNAM, México. 6 p. (19 de abril de 2010).
- Bravo-Hollis, H., & Scheinvar, L. (1995). El interesante mundo de las cactáceas. Sección de obras de Ciencia y Tecnología. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica. México. 231 p.
- Bustamante, D. P. (2008). ¿Qué parece? Como pregunta orientadora en el estudio de la topografía sagrada en la cultura Azteca. In: *rupestreweb*. <http://www.rupestreweb.info/queparece.html>. (19 de abril de 2010).
- Campos-Figueroa, M., & Llanderal-Cázares, C. (2003). Producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopidae) en invernadero. *Agrociencia*, 37, 149-155.
- De la Rosa, J. P., & Santana, D. A. (2000). El Nopal. Usos, manejo agronómico y costos de producción en México. Primera reimpression. Comisión Nacional de las Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. México 182 p.
- Esparza, G. S. de J., Méndez, G., & Figueroa, S. B. (1992). Principales problemas fitosanitarios del Nopal Tunero en el sureste de Zacatecas. In: *Resúmenes del XXVII. Congreso Nacional de Entomología*. pp. 243-244.
- Flores, C. A., & Aranda, G. (1997). El nopal como forraje en México. In: *Proceedings V International Congress on Nopal*. R. Vázquez, C. Gallegos, N. Treviño & Y. Díaz. (Eds.) Universidad de Nuevo León, México. pp. 219-220.
- Flores, V. C. A., & Gallegos, V. C. (1993). La producción de tuna en México. In: *Resúmenes del 6o Congreso Nacional y 4º Congreso Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. pp 274 -278.

- 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. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp. 167-185.
- Garcés, J. M. (2009). El nopal de los milapaltenses. In: Memorias del Foro: Avances tecnológicos en nopal verdura. Dirección General de Desarrollo Rural - Fundación Grupo Produce A. C. - Distrito Federal, México. pp. 8-14.
- García de Cortazar, V., & Varnero, M. T. (1995). Energy production. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp 186-191.
- García, M. T. (1965). Principales plagas del nopal en el Valle de México. Fitófilo XVIII núm. 47. pp. 15-28.
- González, A. D., Riojas, M. E., & Arreola, N. H. J. (2001). El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Universidad de Guadalajara-CONABIO. México. 135 p.
- Granados, S. D., & Castañeda, P. A. D. (2000). El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas. 3ra reimpresión. México. 227 p.
- Gutiérrez, F. A. (1987). Introducción y selección en nopal tunero. Mejores opciones de producción en temporal. Sandoval, Aguascalientes. SARH-INIFAP-CIFAP-CAEPAB, Aguascalientes. pp. 10-17.
- Hoffman, W. (1995). Ethnobotany. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta B. (Eds.). pp 12-20.
- INIFAP. (1998). Guía para la asistencia técnica agrícola del área de influencia del Campo Experimental Pabellón. SAGARPA-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, México. pp. 101-109.
- Martínez, M. V., Madera, J. G., Guzmán, C. B., & Vélez, F. L. M. (2010). Símbolos patrios. http://www.congreso.jalisco.gob.mx/biblioteca_Virtual/MuseoVirtual/folleto.pdf. Congreso del estado de Jalisco. LVIII legislatura. Comité de Biblioteca, archivos y editorial. Jalisco, México. 24 p. (19 de abril de 2010).
- Matos, M. E. (2010). El México prehispánico y los símbolos nacionales. Arqueología Mexicana. <http://www.arqueomex.com/S2N3nSimbolos100html>. (19 de abril de 2010).
- Mayer, B. B., & Mc. Laughlin, L. (1981). Economic uses of *Opuntia*. Cactaceae Succulent Journal, 53, 107-112.
- Mena, C. J., & Rosas, G. S. (2007). Guía para el manejo integrado de las plagas del nopal tunero. SAGARPA-INFAP-Campo Experimental Zacatecas. México. Publicación Especial Núm. 14. 34 p.

- Méndez, G. S. J. (1994). Principales plagas del nopal. In: Memorias de Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas. Esparza G., J. & S. J. Méndez G (Eds.). pp. 49-57.
- Méndez, G. S. J., Aquino, G. P., Puga, J. P., & Martínez, H. 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.
- Méndez-Gállegos, S. J., Rossel, D., Amante-Orozco, A., Gómez-González, A., & García-Herrera, J. E. (2009). El nopal en la producción de biocombustibles. In: Memorias del VIII Simposio-Taller Nacional y 1er Internacional de Producción y Aprovechamiento del nopal. Campus de Ciencias Agropecuarias. Vázquez-Alvarado R. E., F. Blanco-Macías & R. Valdez-Cepeda (Eds.) Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 73-86.
- Mondragón, J. C. (1994). Rehabilitación de huertos de nopal tunero. SARH-INIFAP-CIRCE Campo Experimental Norte de Guanajuato. Folleto Técnico Núm. 4, 26 p.
- Nieto-Garibay, A. (2003). Ecología del Nopal. In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 27 - 47.
- Nobel, S. P. (1998). Los incomparables agaves y cactus. Primera edición en español. Editorial Trillas, México. 211 p.
- Perales de la C., M. A., Perales, V. M. A., Santana, O. I., Cortéz, M. A., & Garibaldi M., F. (2009). Generación de energía a base de nopal. In: Memorias del Foro: Avances tecnológicos en nopal verdura. Dirección General de Desarrollo Rural - Fundación Grupo Produce A. C. - Distrito Federal, México pp. 19-25.
- Pimienta, B. E. (1990). El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. México. 246 p.
- Piña, I. L. (1977). La grana o cochinilla del nopal. Monografía Núm. 1. Laboratorio Nacional. Subsecretaría de Fomento Industrial. México. 54 p.
- Retamal, N., Duran, J. M., & Fernández, J. (1987). Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). Journal Science of Food and Agriculture, 40, 213-218.
- Velázquez, E. (1998). El nopal y su historia. La cocina mexicana a través de los siglos. Editorial Clío, libros y videos S.A. de CV. Primera edición. México. 95 p.
- Wikipedia. (2010). México-Tenochtitlán. <http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9xico-tenochtitlan>. (14 de abril de 2010).

Características de Los Nopales




Penca de Nopal tunero en Zacatecas. Foto: Dr. Jaime Mena Covarrubias, INIFAP-CEZAC.


Capítulo II

Características de Los Nopales

Recebido em: 01/12/2023


Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap2

Ernesto González Gaona 

Alberto Margarito García Munguía 

José Saúl Padilla Ramírez 

Argelia García Munguía 

Lucila Perales Aguilar 

Las cactáceas son nativas de América con 98 géneros y más de 1,500 especies. Conocidas como órganos, nopales, pitayos, garambullos, biznagas, peyotes, candelabros y cardenchas, son plantas con tallos carnosos, ramas con espinas o escamas en lugar de hojas y con vistosas flores, su nombre genérico deriva de la palabra “kaktos” que significa espinoso (Bravo-Hollis, 1997; Bartholt & Hunt, 1993; González et al., 2001; Aguilar-García, 2003).

Estas plantas se distribuyen preponderantemente en las regiones áridas, semiáridas y subtropicales, ya que el 70% de las especies se desarrollan en estos hábitats, aunque disminuyen considerablemente en desiertos con climas extremos como la cuenca “Great Basin” en Norteamérica, que presenta temperaturas frecuentes por debajo de 0 °C, donde sólo crecen algunas especies de *Escobaria* y *Opuntia* que logran soportar las nevadas (Arias, 1997). Para México se considera una diversidad de 54 géneros y 850 especies, de la cual, el 60% se encuentra en los desiertos Chihuahuense y Sonorense, así como en los valles intermontanos de Hidalgo y Querétaro; además, se estima que más de 400 especies son endémicas (Arias, 1997), aunque Roberts (1989) señala que 1,000 son reconocidas como especies mexicanas.

La característica que distingue a la familia de las cactáceas es la presencia de aréolas que pueden dar origen a espinas, hojas y frutos entre otros, así como tallos fotosintéticos esto debido a la ausencia de la lámina foliar, que se sustituyó por espinas, epidermis gruesa y cristales de oxalato de calcio en las células (González *et al.*, 2001), así como una estructura crasa y un metabolismo de tipo ácido crasuláceo, esta familia evolucionó en los últimos 80 millones de años a partir de plantas no suculentas con hojas bien desarrolladas incluidas en el orden *Caryophyllales* con fotosíntesis del tipo C3 como el género *Pereskia* que es considerado el más primitivo dentro de las cactáceas (Figura 1) (Arias, 1997; Bravo-Hollis, 1997).



Figura 1. *Pereskia lychnidiflora* DC., conocida como árbol del matrimonio o guititache crece en forma silvestre en las selvas subhúmedas de Chiapas y Oaxaca. Es una Cactácea primitiva parecida a un árbol con hojas laminares y espinas. Fuente: <http://cactiguide.com/>

El género *Opuntia*, denominado así por Tournefort en 1,700 por la semejanza con una planta espinosa que crecía en la población de Opus, Grecia (Bravo-Hollis & Scheinvar, 1995), es uno de los géneros de las cactáceas más ampliamente distribuidos (Nieto-Garibay, 2003), se le encuentra desde Canadá hasta la Patagonia, con más de 200 especies, de las cuales 114 se encuentran en México (Bravo-Hollis, 1978). En forma silvestre el nicho ecológico preferido es el matorral xerófilo, aunque también se le encuentra en el matorral espinoso, localizados en las zonas áridas y semiáridas de la República Mexicana donde forma densas poblaciones llamadas “nopaleras” que se extienden desde Aguascalientes y Jalisco hasta Durango; desde Coahuila y Chihuahua hasta el norte de Nuevo León y Tamaulipas, con un área cercana a los tres millones de hectáreas (Domínguez-Cadena, 2003).

Los nopales pertenecen al género *Opuntia* que presenta tres subgéneros 1) los que tiene artículos cilíndricos y espinas con vaina también llamados “cardenches” o “clavellinas” son *Cylindropuntia* (Figura 2A) los de artículos subcilíndricos discoides o aplanados conocidos como pencas y espinas sin vainas con estambres exertos son *Nopalea* (Figura 2B y 3) los que tienen las mismas características que los *Nopalea* excepto que los estambres no son exertos, son del subgénero *Opuntia* que es el más numeroso y son conocidos como nopales (Figura 2C) (González et al., 2001).

Las *Opuntias* son plantas que pueden ser de tipo arbóreas, arbustivas o rastreras, con tallos fotosintéticos llamados artículos que al fusionarse forman ramas de consistencia carnosa o leñosa adoptando formas cilíndricas o subcilíndricas o aplanadas de color verde amarillento a violáceo, los

artículos que son aplanados son llamados cladodios o pencas y presentan diversas formas desde ovada, abovada, circular, oval, oblonga hasta orbicluar.

La determinación de especies en *Opuntia* es algo difícil debido a la gran diversidad de ecotipos que muestran una plasticidad morfológica proveniente de su constitución genética y de la presión de selección del ambiente tan hostil en que se desarrollan y a los procesos de hibridación natural (Flores-Hernández y Reyes-Agüero, 2003). De manera tradicional, la clasificación se ha realizado con base en diferencias fenotípicas contrastantes, de acuerdo al sistema utilizado por Bravo-Hollis (1978), Sánchez-Mejorada (1982), Barthlott y Hunt (1993) y González et al. (2001).



Figura 2. Plantas de los diferentes subgéneros de *Opuntia* A) *Cylindropuntia*, B) *Nopalea* y C) *Opuntia* (Fotos: MC. Esperanza Quezada Guzmán, INIFAP- CEPAB).

Aunque se han realizado avances en la elaboración de descriptores y caracteres de interés específicos (Mondragón et al., 1995; Pimienta-Barrios & Muñoz-Urías, 1995), se considera que el uso de las técnicas moleculares es la mejor herramienta para la determinación varietal, en especial el uso de

isoenzimas, para la detección de polimorfismo en los sistemas enzimáticos de *Opuntia* (Flores-Hernández & Reyes-Agüero, 2003).

Epidermis

Presenta una cutícula gruesa y recubierta de una sustancia grasosa denominada “cutina”, que es suave al tacto y protege a la planta de la evaporación, al regular el proceso de transpiración, también la protege del ataque de hongos, insectos, luminosidad intensa y es auxiliar en la regulación de la entrada de dióxido de carbono y salida de oxígeno (Nieto-Garibay, 2003). En los nopales solo se pierde agua por los estomas, que son poros microscópicos que actúan como válvulas que se abren y cierran conforme se dan las necesidades de intercambio gaseosos y mantienen su balance hídrico, en caso de que sus reservas hídricas estén agotadas, las estomas, pueden permanecer cerrados indefinidamente (Vázquez-Yanes, 1997). También en esta zona se encuentra una capa de oxalatos de calcio que son refractantes y disminuyen la absorción de la energía luminosa.

Los estomas en las cactáceas son menores en número que en las especies no xerofitas del orden de 10 a 30 comparado contra 100 o 300 estomas por mm^2 , respectivamente (Conde, 1975) y se encuentran más o menos hundidos, lo cual ocasiona la formación de espacios aéreos que se saturan de vapor de agua, disminuyendo la transpiración (Bravo-Hollis, 1978).

En forma general, los cladodios maduros pueden tener de 1.0 a 5.0 cm de grosor del cual la mayoría es tejido blanco dedicado a almacenamiento de agua y solo existe una capa de 2.0 a 5.0 mm de color verde en cada cara de la penca, llamada clorénquima que es donde se lleva a cabo la fotosíntesis. En caso de sequía el agua se pierde preferentemente del parénquima blanco mientras que el clorénquima puede permanecer completamente hidratado (Nobel, 1995).

Las aréolas en los nopales son homologas a las yemas axilares de las otras dicotiledóneas y dan origen a hojas, espinas, glóquidas, flores, tallos y hasta raíces y pueden ser circulares o elípticas. Esta característica se usa para el establecimiento de nuevas plantaciones, al enterrar pencas maduras una vez que se ha cicatrizado el corte.

Para el establecimiento de nuevas huertas de nopal mediante la propagación vegetativa, se debe tener mucho cuidado en lo que respecta a la sanidad de la planta madre, puesto que se pueden llevar problemas a las nuevas plantaciones como ocurre con la enfermedad del engrosamiento de cladodios.

En el centro de cada aréola existe un meristemo de crecimiento formado por dos porciones: la abaxial o externa, que dará origen a las espinas y la adaxial o interna, que origina las flores, entrando primero en actividad la externa y en forma posterior la interna (Bravo-Hollis, 1978).

Las hojas verdaderas son pequeñas, cilíndricas o cónicas y carnosas y después de un tiempo se desprenden y quedan en las aréolas las espinas, que son hojas modificadas con reducción del parénquima y lignificación de los tegumentos, pueden estar solitarias o en grupos, redondas, aplanadas, desnudas o con vainas.

También en las aréolas se presentan las glóquidas o “ahuates” que son semejantes a las espinas, pero pequeñas rígidas y muy numerosas con una superficie retrobarbada, estas espinas son características de las *Opuntias* y especies afines (Arreola, 1997) y junto con las espinas ayudan a disminuir la tasa de transpiración y absorber energía solar de onda corta, lo cual modera los extremos de temperatura diurna (Pimienta, 1990; González et al., 2001).

Flores

Pueden ser hermafroditas o unisexuales, esto último cuando existe atrofia de los estambres o del estigma lo cual ocurre raras veces (Arreola, 1997). Se desarrollan en la porción superior de la penca, son sésiles, una por aréola, el color varía, después de la anthesis y los segmentos del perianto, varían de forma tanto en el contorno (espatulado, romboide, obovado), como en el ápice (acuminado, emarginado, obtuso).

La polinización en *Opuntia* es zoófila, generalmente por insectos de los órdenes Lepidóptera, Diptera, Hymenoptera, Hemíptera y Coleoptera (Bravo-Hollis, 1978).

En forma general la floración se presenta durante los meses de abril y mayo, en la región de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco, mientras que en los estados de México, Hidalgo y Puebla se inicia desde febrero. Un aspecto distintivo de la flor del nopal es que es efímera, es decir, se abre y se cierra el mismo día y de acuerdo a la hora del día en que abren se denominan como tipo “A” cuando el inicio ocurre a las nueve, el pico a las once de la mañana y el cierre a las seis de la tarde y las del tipo “B” se abren a las tres de la tarde, el pico es una hora después, el cierre a las siete de la tarde, y al otro día se abren como tipo “A”, los nopales maduros solo tienen un porcentaje muy bajo de este tipo de flores (Pimienta, 1990).

Ovario

Es ínfero, unilocular con el pericarpelo semejante al tallo y más o menos tuberculado, el cáliz y la corola se unen para formar el perianto que está conformado por segmentos verdes o coloridos en comparación con los segmentos interiores que son de color blanco, amarillo, anaranjado o rojo y los estambres son más cortos que los pétalos, a excepción del subgénero *Nopalea* en donde junto con el estilo son más largos que los pétalos.

Fruto

Es una baya comestible de forma globosa, ovoide y turbinada que llevan en el ápice la concavidad receptacular también llamada ombligo, desnuda después de la caída de los segmentos florales (Pimienta, 1990) y puede ser un indicador del grado de madurez del fruto (Robles, 1987) con pulpa variable desde blanca, verde hasta purpura, de forma globosa, ovoide a elipsoidal. Las especies que producen frutos comestibles son: *Opuntia ficus indica*, *O. streptachantha* y *O. lindheimeri*; sin embargo, la más común en

plantaciones y nopaleras de solar es *O. ficus indica* mientras que en las silvestres la más explotada es *O. streptachantha* (Pimienta, 1990).

En los países de habla hispana a los frutos de las *Opuntia* se les llama tunas, mientras que en los EUA se les llama peras de cactus “*cactus pear*” o peras manzana, “sabras” en Arabia y en Europa como higos de la india que es la forma hispana del nombre latín de la variedad más diseminada de nopal *Opuntia ficus indica* (Nobel, 1998).

La tuna presenta una curva de crecimiento tipo sigmoide, con frutos de ciclo corto, intermedio y tardío cuyo periodo entre la floración y madurez es de 120 a 140, 140 a 160 y 170 a 180 días, respectivamente. El crecimiento del lóculo en las primeras ocho semanas después de la floración es lento y en forma posterior se incrementan lo que ocasiona que el grosor de la cáscara se reduzca y la síntesis de azúcares se inicia cinco semanas antes de la maduración comercial (Robles, 1987). Se considera que es un fruto no climatérico, por lo que se puede almacenar por periodos largos de tiempo (Alvarado, 1978; Laksminarayana y Estrella, 1978).

El tamaño final de la tuna depende del número de semillas fecundadas y abortivas en su interior y aunque no se han determinado con precisión las causas que las ocasionan, por lo general se encuentran dos tipos de semillas estériles o vanas siempre predominando un tipo (Barbera *et al.*, 1994)

La pulpa comestible de las tunas es alrededor del 60 al 75% del peso fresco, con una concentración del 12 al 15% de azúcares, de los cuales, un tercio de este porcentaje es de fructuosa que es más tolerable para los diabéticos que la glucosa o sacarosa rica en vitamina C y baja en grasas. El único inconveniente de esta sabrosa fruta es que para comercializarlas es necesario remover los aguates o gloquídeas ya sea al rodar los frutos en el suelo, barrerlos con ramas secas o limpiarlos con cepillos mecánicos (Nobel, 1998).

Raíz

Es extensa y superficial, la mayoría se encuentra en los primeros 30 cm, debido a que las raíces se originan a partir de las aréolas ubicadas en la porción enterrada del cladodio y como son varias, no existe dominancia de una raíz (Pimienta, 1990). Durante la época de lluvia se ha observado la presencia de numerosas raicillas blancas “raíces de lluvia”, provistas de pelos absorbentes en el extremo de las raíces, lo que aumenta la absorción en esos periodos y después desaparecen (Bravo-Hollis, 1978; Sudzuki, 1995). Se determinó que en nopaleras cultivadas, donde se realizan aplicaciones de estiércol y pasos de rastra, la extensión de las raíces solo llega a los 15 a 65 cm de separación del tronco, en comparación con los cuatro a ocho metros de extensión que alcanzan las raíces en las plantas no cultivadas, lo cual da una idea de la capacidad de adaptación a condiciones adversas de escasez de humedad (Hernández, 1978).

En general los nopales presentan las raíces muy cerca de la superficie. El 80 % en los primeros 10 cm (Luna, 2010), ya que de esta manera aprovechan el agua de lluvias muy ligeras, cuya humedad penetra muy poco en el suelo, en épocas secas las raíces se contraen reduciendo su diámetro y separándose del suelo que las rodea, en estos periodos solo se mantienen las raíces maduras que presentan una cubierta

impermeable formada por una sustancia denominada como “suber” que las capacita para no perder agua al estar en contacto con el suelo seco. Una vez que se inician las lluvias las raíces recobran su diámetro y forman raicillas desnudas para absorber eficientemente el agua presente en el suelo, estas pueden desaparecer o cubrirse de “suber” en cuanto se inicia el siguiente periodo seco (Vázquez-Yanes, 1997).

El agua absorbida por las raíces de los nopales, llega a la parte aérea de la planta para que sea utilizada o almacenada en el tejido parenquimatoso formado por grandes células isodiamétricas; durante la temporada de lluvias este tejido se satura capacitando a la planta a resistir condiciones adversas de humedad en la temporada de secas (Vázquez-Yanes, 1997).

Las plantas del género *Opuntia* presentan una especie de carbohidrato indigestible mucilaginoso llamado baba, cuya función se cree es absorber y almacenar agua ya que es altamente higroscópico, aunque existe controversia en esta función (Mauseth, 1991; Sutton et al., 1981; Sudzuki, 1995).

Las adaptaciones morfológicas, estructurales y bioquímicas han hecho que este tipo de plantas puedan sobrevivir y desarrollarse bajo condiciones extremas de las zonas áridas y semiáridas de México sobre todo ante la escasez de agua y los cambios bruscos de temperatura (González et al., 2001; Pimienta, 1990).

El proceso fotosintético llamado Metabolismo Ácido Crasuláceo (CAM), distingue a las cactáceas de la mayoría de las plantas. En los nopales, los estomas, se encuentran cerrados durante el día y abiertos en la noche cuando la temperatura y el déficit de presión de vapor son bajos. Durante la noche el CO² es fijado a ácido málico y almacenado en las vacuolas de las células de la corteza y liberado en el siguiente periodo de luz y descarboxilado en el citoplasma para liberar CO₂ que es de nuevo fijado y reducido en los cloroplastos por medio del ciclo de Calvin este proceso abate las pérdidas de agua por transpiración (Whitting et al, 1979 citado por Pimienta, 1990).

Otra ventaja de los nopales es que requieren un menor gasto de energía para adquirir y conservar el agua del suelo, debido a su potencial hídrico (-0.3 a -0.6 Mega pascales (MPa) en comparación con especies tolerantes a la sequía (-1.0 a -3.0 MPa), este potencial siempre es negativo debido a que el agua que se mueve dentro de las plantas no está libre de solutos y su movimiento obedece a un gradiente negativo (Turner y Jones, 1980).

Para guardar los ácidos producidos en el periodo de oscuridad, las plantas CAM, presentan grandes cantidades de tejido parenquimatoso no fotosintético, que también les sirve para almacenar agua, por lo que son obligadamente suculentas. Este tejido proporciona ventajas y costos adaptativos, ya que sobrevive a partir de carbohidratos que producen las células que fotosintetizan y el balance entre los dos tipos de células, en los nopales es desfavorable para las que fijan la luz y por ello las plantas con metabolismo CAM son de menor crecimiento neto respecto a las plantas comunes (Ezcurra, 1997).

Los nopales se desarrollan mejor bajo las siguientes condiciones: temperatura de 11.2 a 27.1 °C, precipitación anual de 116 a 1,800 mm y altitudes de 1.0 a 2,675 msnm, aunque se les puede encontrar hasta altitudes de 5,100 msnm como en el Perú. No crecen sólo en las zonas áridas, sino también en las

selvas, tropicales, planicies, a lo largo de las costas y en las montañas (Badii y Flores, 2001; Aguilar-García, 2003).

Es importante recalcar que los tejidos cargados de agua de los nopales les impide soportar temperaturas por debajo del punto de congelación por periodos prolongados ya que se forma hielo en los tejidos internos y al descongelarse la temperatura del tejido aumenta (exotermia); sin embargo, la temperatura del clorénquima disminuye en forma continua ocasionado la muerte de las células y se ocasionan los daños por frío, esto ocurre cuando la baja de temperatura es repentina porque cuando la temperatura disminuye gradualmente en un periodo de varios días o semanas como durante el otoño e invierno se crea un fenómeno de aclimatación o acondicionamiento por ejemplo una disminución de la temperatura del aire de 10 °C durante dos semanas conduce a un acondicionamiento de la planta a tolerar temperaturas de 1.5 °C (Vázquez-Yanes, 1997; Nobel, 1998).

Se considera que las huertas de nopal para tuna y forraje pueden sufrir daños por temperaturas frías de -5 a -10 °C, como el caso de *O. ficus indica* y *O. streptacantha* (Nobel, 1998). Aunque la sensibilidad a bajas temperaturas varía entre especies de tal manera que *O. humifusa* que se encuentra desde EE.UU. hasta Ontario, Canadá, puede tolerar hasta -24 °C y *O. fragilis* que se ubica en Alberta, Canadá, puede tolerar hasta -40 °C, lo cual es una adaptación debido a temperaturas que decrecen gradualmente (Nobel, 1995). Respecto al mejoramiento genético en búsqueda de tolerancia al frío, Felker et al. (2009) seleccionaron en Argentina, cinco híbridos (clones 42, 46, 80, 83 y 150) de *Opuntia lindheimerii* (padre) por *Opuntia ficus indica* (madre) que presentaron mayor tolerancia al frío que *O. ficus indica* y el clon 46 no presentó daños por frío comportamiento similar al de *Opuntia ellisiana* que es el clon sin espina más resistente al frío que se conoce.

Respecto al estrés por calor, el nopal altera su metabolismo para disminuir el efecto. Flores-Hernández (2003), evaluó las características bioquímicas del aparato fotosintético y del sistema de síntesis de proteínas de plantas contrastantes en cuanto a porcentaje de supervivencia en zonas áridas sometidas a estrés por calor, señala que con fines de selección, las plantas tolerantes son aquellas que expresan una reducción en el contenido de clorofila, aumento en la actividad de la enzima PEP'Case y del contenido prolina, disminución de la proteína soluble y ausencia de proteínas de bajo peso molecular (32 y 36 kDa) entre otros, parámetros medidos en brotes de nopal y explantes de raíz de cladodios enraizados.

Nobel (1998) señala que los nopales en general tienen una baja tolerancia a la salinidad por lo cual es necesario tener precaución de no acumular sodio en la zona de anclaje de la planta cuando se riegan por goteo las nopaleras. Se ha determinado que el crecimiento de raíces se inhibe con concentraciones de 12 g de NaCl por litro de agua, disminuyendo la cantidad y calidad de los nopalitos a partir de 5 deciSiemens/m (dS m⁻¹) (Murillo-Amador y Cortés-Ávila, 2003).

LITERATURA CITADA

- Aguilar-García, M. de J. (2003). La familia de las Cactáceas. In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 3-18.
- Alvarado, S., L. (1978). Fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto del nopal tunero (*Opuntia amyklaes* Tenore). Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, México. 73 p.
- Arias, M., S. (1997). Distribución general. In: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. pp. 17-26.
- Arreola, N., H. J. (1997). Formas de vida y características morfológicas. In: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CVS Publicaciones S. A. de C. V. México. pp. 27-35.
- Badii, M. H., & Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. Florida Entomologist, 84, 503-505.
- Barbera, G., Inglese, F., & La Mantia, T. (1994). Influence of seed content on some characteristic of the fruit of cactus pear (*Opuntia ficus-indicus* Mill.). Scientia Horticulturae, 58, 161-165.
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. Segunda edición. Volumen I. UNAM, México. 719 p.
- Bravo-Hollis, H., & Scheinvar, L. (1995). El interesante mundo de las cactáceas. Sección de obras de Ciencia y Tecnología. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica. México. 231 p.
- Bravo-Hollis, H. (1997). Introducción. In: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. pp. 10-12.
- Conde, L., F. (1975). Anatomical comparisons of five species of *Opuntia* (Cactaceae). Annals Missouri Botanical Garden, 62, 425-473.
- Domínguez-Cadena, R. (2003). Aspectos Biológicos y Ecológicos de los nopales silvestres de Baja California Sur. In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 49-68.
- Ezcurra, E. (1997). De árboles leñosos a suculentas espinosas. In: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. pp. 43-47.
- Felker, P., Bunch, R. A., & Guevara, J. C. (2009). Nuevos híbridos de *Opuntia lindheimerii* x *O. ficus indica* forrajeros sin espinas resistentes al frío. In: Memorias del VIII Simposium-Taller nacional y 1er Internacional. Producción y aprovechamiento del nopal. Vázquez Alvarado R. E., F. Blanco-Macías & R. Valdez-Cepeda (Eds.). Universidad Autónoma de Nuevo León. México. pp. 49-57.
- Flores-Hernández, A. (2003). Bioquímica del nopal (*Opuntia* spp). In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 69-92.

- Flores-Hernández, A., & Reyes-Agüero, A. (2003). Clasificación taxonómica de nopal. In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 19-25.
- González, D. A., Riojas, M. E., & Arreola, N. H. J. (2001). El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Universidad de Guadalajara-CONABIO. México. 135 p.
- Hernández, R., L. (1978). Distribución del sistema radical del nopal (*Opuntia amyclaeae* Tenore) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 115p.
- Lakshminarayana, S., & Estrella, I. B. (1978). Postharvest respiration behaviour of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill). Journal of Horticultural Science, 53, 327-330.
- Luna, R. J. 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. Silos, E. H., L. L. Valera, M., C. Perales, S., A. Nava, C., J. Méndez, G., A. Amante, O., & D. Rossel, K. (comp.) Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes-Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. México. pp 62-69.
- Mauseth, J. (1991). Anatomía de los cactus. Quepo, 5, 15-28.
- Mondragón, J. C., Fernández, M. R., Rodríguez, A. J., & Flores, V. C. (1995). Propuesta de descriptores para el registro de variedades de nopal. In: Memorias del VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional. Conocimiento y Aprovechamiento del nopal. E. Pimienta B., C. Neri L., A. Muñoz U. & F. M. Huerta M. (Comp.). Guadalajara, Jalisco, México. pp. 127-131.
- Murillo-Amador, B., & Cortés-Ávila, H. A. (2003). Efecto de la salinidad en la producción de nopal-verdura (*Opuntia ficus indica* L. Mill.). In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., & J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 213-215.
- Nieto-Garibay, A. (2003). Ecología del Nopal. In: El Nopal. Alternativas para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Murillo A., B., E. Troyo D., y J. L. García H. (Eds.). Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz B.C.S. México. pp. 27-47.
- Nobel, S. P. (1995). Environmental Biology. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp. 36-48.
- Nobel, S. P. (1998). Los incomparables agaves y cactus. Primera edición en español. Editorial Trillas, México. 211 p.
- Pimienta, B. E. (1990). El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. México. 246 p.
- Pimienta-Barrios, E., & Muñoz-Urías, A. (1995). Domestication of *Opuntias* and cultivated varieties. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp 58-63.

- Roberts, N. C. (1989). Baja California plant field guide. Natural History Publishing Company. La Joya. EE.UU. 309 p.
- Robles, E. F. J. (1987). Crecimiento y desarrollo del fruto (tuna) del nopal (*Opuntia ficus indica* (L) Miller) tunero. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 38 p.
- Sánchez-Mejorada, H. (1982). Consideraciones generales sobre la clasificación de las Cactáceas. Cactáceas y Suculentas Mexicanas, 27, 3-9.
- Sudzuki, H., F. (1995). Anatomy and Morphology. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta, B. (Eds.). pp 28-35.
- Sutton, G. B., Ting, I. P., & Sutton, R. (1981). Carbohydrate metabolism of cactus in a desert environment. Plant Physiology, 68, 784-787.
- Turner, N. C., & Jones, M. M. (1980). Turgor maintenance by osmotic Adjustment: a Review and evaluation. In: Adaptations of plants to water and high temperature stress. Turner N. C. & P. J. Kramer (Eds.). John Wiley & Sons Inc. Australia. 496 p.
- Vázquez-Yanes, C. (1997). Extraordinarias administradoras de agua. In: Suculentas mexicanas, Cactáceas. CVS Publicaciones S. A. de C.V. México. pp. 49-54.

Selección del sitio y Plantación del Nopal




Panorámica de una huerta de nopal tunero en Zacatecas. Foto: Dr. Jaime Mena Covarrubias, INIFAP-CEZAC

Capítulo III

Selección del sitio y Plantación del Nopal

Recebido em: 01/12/2023

Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap3

Catarino Perales Segovia 

Roberto Sánchez Lucio 

Lucila Perales Aguilar 

Carlos Alberto García Munguía 

Jaime Mena Covarrubias 

El sitio de plantación y la especie de nopal a cultivar están muy relacionados entre sí, ya que la selección de la especie depende en gran medida de las características edáficas y climáticas del sitio, así como del destino de la producción; estos factores deben ser analizados detalladamente antes de tomar decisiones respecto del sitio donde se establecerá la plantación. Al respecto Orona-Castillo et al. (2003) mencionan que la ubicación del sitio de plantación es importante, debido a que influye en la sobrevivencia y el crecimiento de las plantas, y recomiendan evitar sitios de “bajos” u hondonadas, debido a que presentan un alto riesgo de acumulación de humedad durante el período de lluvias o de bajas temperaturas durante el invierno, que afectarán la supervivencia y productividad del cultivo de nopal.

Es necesario tener en cuenta que los nopales se pueden establecer en áreas con inviernos benignos con temperatura anual promedio de 14 a 18 °C, con un óptimo de 16 a 28 °C, aunque prospera de > 10 hasta 35 °C. Las temperaturas frías dañan a la planta sobre todo a los nopalitos, aunque si la intensidad y duración de la helada es prolongada se puede dañar la estructura de la planta y por ende morir. La temporada de secas debe coincidir con la presencia de días cortos y la precipitación anual en verano ubicarse >300-800 mm, se le cultiva desde los 800-2,400 msnm, aunque puede desarrollarse hasta los 3,000 msnm; El tipo de suelo en que se desarrolla va desde volcánico hasta el calcáreo, ya sean de textura franca; franco-arenosos, arcillosos con un pH de 6.5 a 8.5 (CONAZA-INE, 1994; Ingles, 1995; ASERCA, 2001).

La ubicación del huerto depende de los objetivos que persiga la plantación comercial; por ejemplo, para el caso de plantaciones para producción de biomasa y obtención de energía, es necesario contar con el historial de precipitación, evaporación y temperaturas mínimas y máximas cuando se requiere una rápida producción de biomasa.

También es necesario considerar las condiciones del suelo respecto a su profundidad, contenido de nutrientes, así como la disponibilidad de agua para riego, y como la distancia a la fuente de procesamiento (Perales-Vega & Perales, 2012). Una parte importante en este análisis es determinar las vías de acceso y la distancia a los puntos de recepción y/o puntos de venta, lo cual permitirá comparar las características de cada sitio y las necesidades de la especie. En este punto es importante considerar las áreas plantadas con una variedad específica en la zona con la finalidad de conformar áreas compactas que permitan el establecimiento de un centro de acopio para facilitar su venta y distribución, así como para conformar una organización de productores para la solicitud de apoyos económicos (García et al., 2008).

PREPARACIÓN DEL SITIO

Una vez determinado el sitio donde se realizará la plantación, la primera práctica es considerar la preparación del terreno que, de acuerdo a García et al. (2005) es uno de los factores decisivos en el desarrollo de la plantación, resaltando que estas labores se deben realizar para crear las condiciones apropiadas para mejorar la sobrevivencia, establecimiento y buen desarrollo de la planta, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Reducir y/o eliminar la vegetación que puede entrar en competencia con el nopal y/o dificultar actividades como la cosecha o pudiera ser una fuente de inóculo y/o diseminación de plagas y enfermedades.
- b) Reducir la compactación del suelo y/o mejorar el drenaje.
- c) Crear un micrositio favorable para el desarrollo del sistema radicular.

La forma de acondicionar el terreno influye directamente en el desarrollo del cultivo y debe ser la mejor en función de los objetivos que se persigan; en algunos casos la preparación del terreno rebasa la finalidad de plantar, ya que en ocasiones existen problemas de erosión y con la plantación de la noplera se busca controlarla y estabilizar el suelo (Brown et al., 1999 citados por Monarres, 2000). Algunas de las acciones que se emplean en esta práctica son:

Eliminación de la vegetación

La vegetación natural se debe eliminar, para evitar competencia por agua, luz, nutrientes y facilitar las actividades dentro de la plantación. La vegetación puede eliminarse en puntos específicos, en franjas o de manera total si no se tiene el objetivo de brindar protección al suelo. La selección del método de eliminación de la vegetación nativa depende de la topografía del terreno, del tipo de vegetación, de la disponibilidad de equipo o de mano de obra y del objetivo de la plantación. A continuación, se muestran algunas opciones.

Quema de matorral en pie

Es la destrucción de la parte aérea de la vegetación por medio del uso del fuego. Este método es sencillo; sin embargo, se debe evitar cuando la vegetación es desuniforme, existan vientos fuertes y sobre todo descartarla durante períodos de sequía. Los materiales empleados son: lanzallamas, antorchas, diesel, petróleo.

Roza y tumba manual

Es la destrucción de la parte aérea de la vegetación, mediante su corte al ras del suelo con herramienta manual y es fácil de realizarse ya que sólo requiere de equipo sencillo como azadones, hoces, hachas, serrotes, machetes y motosierras, pero tiene el inconveniente de que requiere mano de obra abundante y es costosa su aplicación, aunque puede ser realizada por el productor y su familia en etapas. Cabe mencionar que con este método se presentan rebrotes de maleza leñosa y árboles.

Roza y derribo mecanizado

Consiste en la eliminación de la parte aérea de la vegetación al ras del suelo a través del uso de maquinaria. En sitios pedregosos no funciona, además la pendiente debe ser menor al 40 % y el área requiere tener accesibilidad para maquinaria. El equipo utilizado es: desbrozadoras, tractores agrícolas, tractores de oruga y motosierras.

PREPARACIÓN DEL TERRENO PARA PLANTACIÓN

Para la preparación del terreno existen varias opciones y la selección de la técnica depende de diversos aspectos (Pimienta, 1986). A continuación, se exponen en forma resumida las principales características de algunas alternativas que pueden aplicarse en el Norte-Centro de México.

Subsoleo total

Consiste en el paso de subsoladores paralelos enterrados entre 60 y 80 cm de profundidad, los cuales rompen las capas superficiales del suelo. La planta se acomoda sobre la línea de subsolado. Se utiliza en zonas de precipitación escasa, de preferencia en suelos arenosos y donde la vegetación arbustiva es escasa. Existen otras modalidades de subsolado, como el de contorno o a nivel. El equipo empleado, son tractores D5 a D8 con subsoladores. Evitar subsolar cuando el suelo este húmedo, ya que no rompe las capas de suelo (Lindstrom et al., 1997).

Barbecho, rastra y subsuelo

Es un método que se sugiere utilizar cuando se van a establecer plantaciones de nopal en terrenos de bajo potencial agrícola, ideal para plantaciones que contribuyan a la reconversión de terrenos (Perales-Vega & Perales, 2012).

Es un método totalmente mecanizado que consiste en realizar un barbecho profundo para eliminar la compactación y voltear el suelo, seguido por el paso de rastra; si es necesario se hace un paso más para desmenuzar los terrones y uniformizar las partículas del suelo y finalmente aplicar el subsoleo en cada línea de plantado a una profundidad de 50 a 80 cm (CODAGEM, 1979).

Época de plantación

Para que la plantación de nopal prospere adecuadamente, se requiere que al menos durante los primeros 45 días de establecimiento y arraigo exista suficiente humedad en los primeros 30 cm del suelo, para que se establezca apropiadamente; por ello, si la plantación se conduce bajo condiciones de temporal, esta actividad debe realizarse durante la primera mitad del período de lluvias, basados en los estudios de la probabilidad de lluvias de cada región al 70 % (Pimienta, 1986; De la Rosa & Santana, 1998).

Para esto, se considera que cuando la precipitación (P) es mayor a la evapotranspiración (ETP) existen excedentes de agua en el terreno. Cuando la estación lluviosa termina y la P representa el 0.50 de la ETP, el período de crecimiento de las plantas llega a su etapa final, aquí se supone que la planta ha arraigado y no tendrá problemas para su desarrollo.

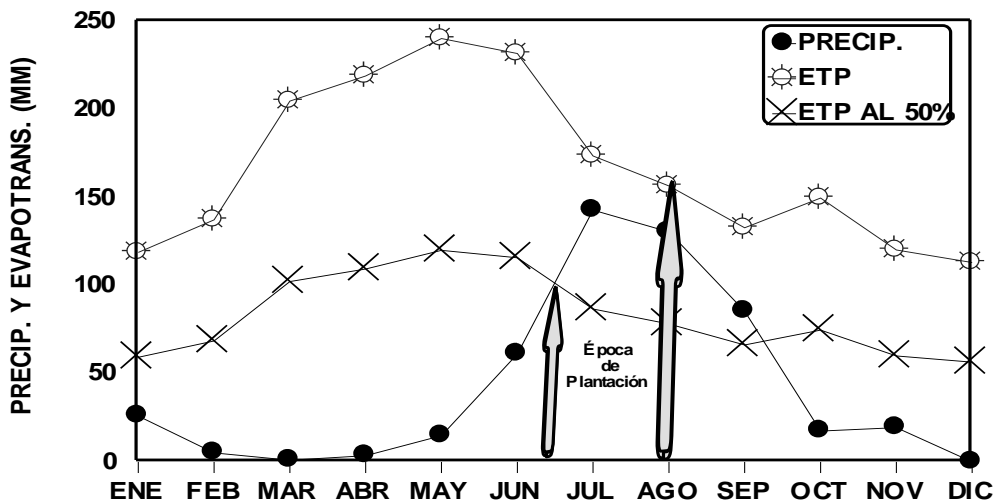


Figura 2. Época de plantación del nopal en el Valle del Guadiana, Durango, con base en la precipitación y evapotranspiración. CEVAG-CIRNOC-INIFAP.

En las Figuras 2 y 3 se ilustran dos ejemplos con información proporcionada por Merlín (1994), correspondientes al Valle del Guadiana, Durango y El Rosario, Ocampo, Durango, donde se gráfica la P y la ETP que equivale al 80 % de la evaporación y la ETP al 50 %. Como se observa solo en la estación de El Rosario existe un período donde la P supera a la ETP; sin embargo, el período de lluvias comprende desde que la P supera a la ETP al 50 %, lo cual ocurre entre mediados de junio y mediados de septiembre. Por ello, el período de plantación recomendable para estos casos comprende desde mediados de junio

hasta julio, con ello existe humedad suficiente hasta mediados de septiembre, lo que permite que las plantas se arraiguen apropiadamente.

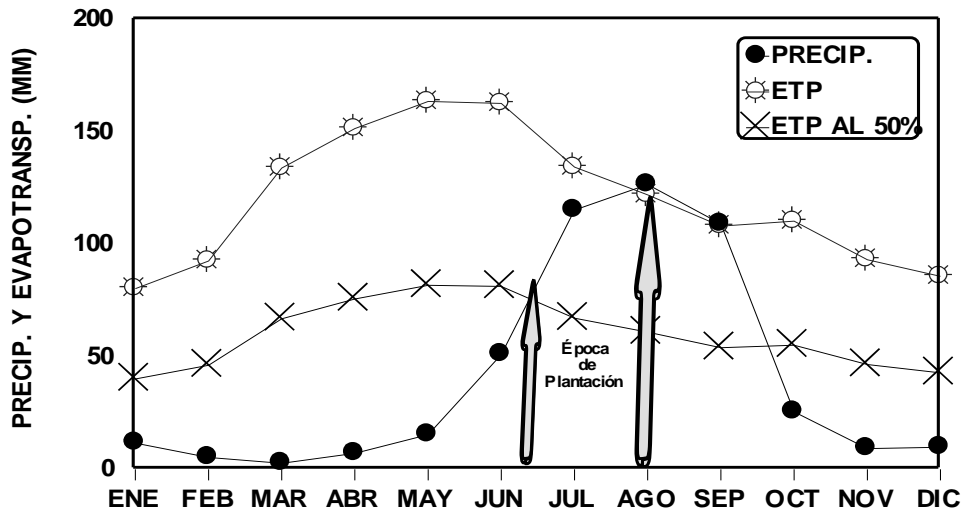


Figura 3. Época de plantación del nopal en El Rosario, Ocampo, Durango, con base en la precipitación y evapotranspiración. CEVAG-CIRNOC-INIFAP.

Otro criterio para definir la época de plantación es considerar el nivel de la actividad metabólica de las plantas, prefiriéndose que esta sea mínima para que su funcionamiento se mantenga sin alteración, esta condición se cumple en invierno; por lo cual Sánchez et al. (2001) y Perales et al. (2002) encontraron que la mejor fecha de plantación del nopal en Aguascalientes, es del 15 de febrero al 30 de marzo, donde se tiene la mayor sobrevivencia y los mayores crecimientos anuales a partir de la plantación, con riego de auxilio en abril y mayo.

Transporte de planta

Se refiere al movimiento de las pencas del huerto donde se ubica la plantación madre (donadora) al sitio de la nueva plantación. Esta etapa tiene relevancia debido a que es necesaria una coordinación entre el encargado de la plantación y el proveedor para evitar un desecamiento excesivo o maltrato de pencas al subirlas al transporte. Se sugiere poner las pencas en contenedores que faciliten la carga y descarga y se reduzcan los daños debido al manejo de la planta. Sin embargo, la decisión de emplear cajas o carretillas como contenedores, está sujeta a los costos y durabilidad de las mismas, sugiriéndose emplear cajas de plástico o carretillas con capacidad 25 plantas por viaje (Figura 4). La planta debe ser transportada conforme se necesite; por ello se debe evitar que la planta esté en campo más de cuatro días sin plantarse, puesto que estará expuesta a los factores ambientales y a la depredación o daño por agentes bióticos.

Plantación

La plantación es uno de los últimos pasos que se realizan, por ello debe cuidarse que este proceso se realice bien; puesto que una vez plantado no podrán realizarse cambios respecto a la forma de plantado, de espaciamento y de distribución de la planta.



Figura 4. Transporte de planta madre al sitio de plantación. Foto Miguel A. Perales de la Cruz

Selección de material vegetativo

Se sugiere siempre seleccionar como huerta madre una plantación que garantice la sanidad y calidad del material vegetativo que se obtendrá. La penca debe presentar buenas características morfológicas y de sanidad, para poder ser seleccionada como material de propagación (Pimienta, 1990; De la Rosa y Santamaría, 1998), entre las que se mencionan:

- Buen vigor
- Libre de plagas y enfermedades
- Sin malformaciones físicas
- 1 a 2 años de edad
- Tamaño mínimo de las pencas 30 cm de largo y 20 cm de ancho
- Buen grosor y succulencia
- Que presenten el corte en la parte de unión con la planta madre

Tratamiento del material vegetativo

El material vegetativo seleccionado, se corta de la planta madre en la unión entre ambas y la herida debe ser desinfectada con caldo bordelés al 2 % (2 kg de cal, 2 kg de sulfato de cobre tribásico y 100 L de agua) (Perales-Vega & Perales, 2012), las pencas se colocan en una media sombra por un periodo de 15 a 20 días para lograr la cicatrización de la herida, las pencas se colocan de canto al suelo. Esta actividad se puede hacer en la huerta de procedencia, o bien donde se va a realizar la plantación.

Densidad y marco de plantación

Tradicionalmente se ha empleado una densidad comercial de 10 mil plantas por hectárea con apoyos gubernamentales; sin embargo, se ha observado que la mejor densidad para obtener mayor producción de biomasa es a una densidad de 50 mil plantas por hectárea, para lo cual se sugiere dejar 10 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, distribuidas en un marco de plantación a tresbolillo, para facilitar la formación de las estructuras de producción.

Técnica de plantación

El material vegetativo se distribuye en el terreno, se coloca en cada lugar donde se va a plantar. Se recomienda utilizar una pala recta o pala jardinera para hacer una pequeña cepa donde habrá de plantarse la penca o bien azadones recortados tipo “talacha”. Se enterrará solamente la tercera parte inferior de la penca, con la finalidad de que en caso de pudriciones pueda disponer de 2/3 partes para replantarla, de ésta forma queda buena superficie de reproducción y la parte enterrada representa a un área con raíces adecuada para el arraigamiento y estabilidad de la planta. Considerando que se requiere establecer la plantación lo más uniforme posible, se sugiere además utilizar un trazo con líneas que definan las líneas de plantación y sobre ellas distribuir la pencas que formaran los tallos futuros, como se ilustra en la Figura 5.



Figura 5. Técnica de plantación de huertos de nopal en altas densidades. Foto Miguel A. Perales de la Cruz

LITERATURA CITADA

ASERCA (2001). Nopal, Leyenda, Comercio y Futuro en México. In: De nuestra Cosecha. Revista Claridades Agropecuarias. <http://www.infoaserca.gob.mx>. pp3-21.

- CODAGEM (1979). Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. México. Folleto informativo No. 158.
- CONAZA-INE (1994). Nopal tunero *Opuntia* spp. Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de Zonas Áridas - Instituto Nacional de Ecología. México. 60 p.
- De la Rosa, H. J. P., & Santana, A. (1998). El Nopal. Usos, manejo agronómico y costos de producción en México. Primera reimpression. Comisión Nacional de las Zonas Áridas - Universidad Autónoma Chapingo - Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. México. 182 p.
- García, H. J. E., Méndez, S. J., Rossel, K. D., Talavera, M. D., & Hernández R. I. (2008). El nopal tunero en San Luis Potosí. Folleto para productores núm. 2. ISBN 978 968 839 6087. Colegio de Posgraduados. Montecillos México. 35 p.
- García, R. E., Sotomayor, A., y Valdebenito, G. R. (2005). Establecimiento de plantaciones forestales. Instituto Forestal. Fondo de Desarrollo e Innovación. Chile. 22p.
- Inglese, P. (1995). Orchard planting and management. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection paper 132. Barbera, G., P. Inglese & E. Pimienta B. (Eds.). pp 78-91.
- Lidstrom, O. M., Moorhead, D. J., & Kent, G. W. (1997). Propagation and care of *Leyland cypress* as Christmas trees. <http://bugwood.org> (12 febrero de 2015).
- Merlin, B. A. (1994). Estadísticas de precipitación y evaporación, de las estaciones climatológicas de Durango y El Rosario, Ocampo, Durango. SEDESOL. Durango, Dgo. (Comunicación personal).
- Monarres, G. J. C. (2000). Guía para el establecimiento, manejo y comercialización de plantaciones especializadas en árboles de navidad. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Edo de México. 94p.
- Orona-Castillo, I., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., & Beltran-Morales, L. F. (2003). Capítulo 6. Uso de riego de alta tecnología en la producción de nopal. 95-116. In: Murillo, A. B., E. Troyo D. & J. L. García F. 2003. El Nopal. Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. CIBNE. La Paz, Baja California. México. 293 p. ISBN:968-5715-00-9.
- Perales, C. M. A., Narváez F. R., & Prieto, R. A. (2002). Fenología de pino para la producción de árboles de navidad en regiones semiáridas. En: Perales, S. C.; F. Nieto, M.; H. Silos, E. & M. A. Santana, G. 2002. Memoria del Noveno Simposio de Investigación y Desarrollo Tecnológico. ITA 20. Aguascalientes, Ags. p28.
- Perales-Vega, M. A., & Perales, C. M. A. (2012). Establecimiento del cultivo del Nopal en Aguascalientes. Comité Estatal Sistema Producto Nopal del Estado de Aguascalientes A.C. SAGARPA-Fundación Produce Aguascalientes A.C. Despegable No. 2.
- Pimienta, B. E. (1986). Establecimiento y manejo de plantaciones de nopal tunero en Zacatecas. CIANOC-SARH-INIFAP. Publicación especial 5:1-34.

Pimienta, B. E. (1990). El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. México. 246 p.

Sánchez, S. S., Perales, C., M. A., Narváez, F. R., & Prieto, R. J. A. (2001). Influencia de la fecha de plantación sobre la fenología de pinos para la producción de árboles de navidad. En: Molina, M. M., M. G. Rodríguez, P. & S. Vázquez, C. 2001. Memorias del Octavo Simposio de Investigación y Desarrollo Tecnológico. 10 al 14 de septiembre. Aguascalientes, Ags. p 22.

Manejo anual del Cultivo




Cosecha de nopalitos en huertas de Zacatecas. Foto: Dr. Jaime Mena Covarrubias, INIFAP-CEZAC.

Capítulo IV


Manejo anual del Cultivo

Recebido em: 01/12/2023


Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap4

Karla Vanessa De Lira Ramos 

Lucila Perales Aguilar 

Catarino Perales-Segovia 

Ernesto González Gaona 

Jaime Mena Covarrubias 

En México la producción de nopal se ha clasificado en nopaleras silvestres, huertos de traspatio y plantaciones como monocultivo estos son los sistemas más diseminados en las zonas áridas y semiáridas del país con cerca de 3 millones de ha, ocupando casi el 50% del territorio nacional (Sarvia, 2004). El nopal establecido en sistemas de producción intensiva con altas densidades de población, enfrenta serios problemas para maximizar el rendimiento biológico, dentro de los principales problemas de manejo se pueden mencionar el control de maleza, plagas y enfermedades, nutrición, poda, riego y cosecha, los cuales requieren del conocimiento técnico-científico para ser controlados adecuadamente (Murillo et al., 2003).

Manejo de arvenses

Se da el nombre de “malezas” o “malas hierbas” a plantas que crecen en la parcela, con la planta cultivada, que compiten con el cultivo por espacio, luz y nutrimentos. El término correcto para designar este tipo de plantas es “arvenses”, que se refiere a plantas que crecen en lugares donde no son deseadas por el hombre, pero no son malas hierbas, ya que muchas de ellas tienen usos como alimento o como plantas medicinales. Muchas de ellas son hospederas de plagas y enfermedades (pueden usarse como cultivos trampa); de acuerdo con algunos autores, se conoce como “maleza” a aquellas plantas que interfieren con las actividades humanas, dañando sus cultivos, animales o sus propiedades, afectando directa o indirectamente los intereses o actividades de los productores (García et al., 2008). Sin embargo, estas plantas, además de los usos ya mencionados, también sirven de refugio y sitios de oviposición a los artrópodos benéficos, que pueden ser usados en programas de control biológico de plagas o para elaborar extractos vegetales para el manejo de plagas y enfermedades de los cultivos. Otra forma sustentable del manejo de arvenses e incremento de la biodiversidad del agroecosistema nopal, es la siembra en callejones donde se siembran líneas de nopal de 6 a 8 m de ancho y en medio se siembra algún cultivo anual de bajo

porte como cebada en invierno y frijol en verano, lo cual ayuda en el manejo de las “malas hierbas” y convierte al agroecosistema en un policultivo (FAO, 2018).

En la práctica, el control más común de malezas es el control manual, con azadón o alguna otra herramienta adecuada, donde se busca que el cultivo se mantenga libre de algunas plantas que afecten al nopal durante todo el año; sin embargo, por el costo que representa se recomienda realizar al menos de dos a tres deshierbes al año, preponderantemente durante la época de lluvias, que es cuando prolifera la maleza y si no se controla, además de la competencia puede también dificultar la cosecha.

Aunque se pueden emplear herbicidas de contacto como (Paraquat) o sistémicos (Glifosato) se debe evitar que la aspersión moje a la planta y/o emplear campanas en las boquillas para dirigir la aspersión lo más posible; sin embargo, la tendencia y los requerimientos del mercado son hacia el empleo de las buenas prácticas agrícolas y la inocuidad alimentaria, para obtener una producción sin residuos de plaguicidas, sobre todo en nopal verdura y nopal tunero.

Nutrición

En las regiones de México donde se cultiva el nopal en forma intensiva, se alcanzan producciones elevadas de biomasa, debido principalmente a las altas densidades de plantación y a la aplicación de abono orgánico fresco en capas gruesas que van de 25 a 40 cm de espesor (Perales-Vega & Perales, 2012; Pimienta, 1986). Tal aplicación significa además de la adición de nitrógeno, la incorporación de 600 u 800 t ha⁻¹, de estiércol fresco, esto se hace con la finalidad de proporcionar humedad a la planta, ya que es una zona donde no se cuenta con riego. El nitrógeno resulta indispensable para la brotación y crecimiento de renuevos. Blanco-Macías y colaboradores (2006) señalan que el rendimiento de biomasa depende de la concentración de N, K y Mg. Los nutrimentos que presentan sinergia en la producción son: P-K, K-Mg y Mg-Ca y antagonismo son N-Ca, N-Mg y además citan que los contenidos (%) deben ser del orden de 1.29±0.47, 0.36±0.08, 4.24±0.88, 4.96±1.73, 1.61±0.27 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, para obtener rendimientos de 46.7 kg planta⁻¹ en suelos calcáreos.

En el nopal para la producción de biomasa para biogás se obtienen buenos resultados cuando se aplican 200 gramos de sulfato de amonio o 100 gramos de urea por planta, estos resultados son mejores si el fertilizante químico se aplica junto con el abono orgánico. Se recomienda aplicar de 2 a 3 meses después de establecida la plantación y en presencia de humedad. En la región de Calvillo se ha encontrado buena respuesta aplicando 550 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio y 200 kg ha⁻¹ de sulfato de calcio simple, fraccionada en 12 aplicaciones, una cada mes.

Para nopal verdura y para nopal tunero se presentan buenos resultados con la fertilización orgánica, al aplicar 10 Kg de estiércol seco al momento de la siembra y posteriormente hacer lo mismo antes del temporal de lluvias (Luna-Vázquez et al., 2012), lo cual incrementa sensiblemente los rendimientos de nopalitos y de tunas. También se recomienda la aplicación de vermicomposta u otro tipo

de compostas, que junto con la aplicación de bioinsecticidas permiten desarrollar plantaciones de nopal sustentables bajo el esquema de la inocuidad alimentaria (Márquez Berber et al., 2012).

Podas

Las podas se realizan con la finalidad de dar a la planta una buena forma y así hacer más sencillo su manejo, evitando la reducción de calles para facilitar el acceso al interior; Además, con la práctica de poda se estimula la brotación de renuevos. Es aconsejable eliminar aquellos cladodios que se localizan en posición y ángulos inadecuados a la iluminación solar, que se encuentran muy juntos o en la base del tallo. En general, en el nopal para la producción de biomasa se recomiendan cuatro tipos de poda: Poda de formación, sanitaria, rejuvenecimiento y de estimulación de raíces (Perales Vega & Perales, 2012).

La poda de formación. Tiene por objetivo inducir la estructura a la planta bajo cultivo, para lo cual se eliminan las pencas que no se encuentren en condiciones ideales para obtener la bifurcación (como orejas de ratón), también se elimina aquellas pencas que no tuvieron un desarrollo normal y que son improductivas (tocones) o bien aquellas que fueron dañadas o enfermas, pero siempre teniendo en cuenta dejar la base de la planta libre para reducir el sombreo entre pencas.

Poda de producción. El criterio técnico fundamental a tomar en el caso de producción máxima de biomasa es la edad de la penca (CODAGEM, 1979), en este caso específico, se poda toda la biomasa que se produce en el tercer banco sobre las pencas orejas de ratón cada tres meses o en caso extremo pencas de cuatro meses.

Poda sanitaria. En conjunto con la poda de formación y producción, se debe realizar la poda sanitaria, que consiste en la eliminación de pencas enfermas y con daños físicos por insectos o cualquier otro factor. La eliminación de estas pencas debe realizarse durante todo el año, al momento de la aparición de los síntomas iniciales de alguna enfermedad o daño de insecto. Las pencas dañadas por insectos pueden ser picadas e incorporadas al suelo y las dañadas por enfermedad, se sugiere que sean destruidas mediante quema para la eliminación de los patógenos causantes de la enfermedad y reducir los riesgos de infecciones posteriores (García-Hernández & Valdes-Cepeda, 2003).

Riego

El nopal es una planta que en México sobrevive tan solo con el agua de lluvia, pero cuando se somete a cultivo es necesaria una mayor cantidad de agua para obtener mayor producción (Borrego & Burgos, 1986).

Un aspecto importante es qué mediante la aplicación de riego, la productividad puede ser incrementada y el rendimiento puede ser aún mayor si se combina con la adición de fertilizantes. La frecuencia y la lámina de riego recomendada varía de acuerdo a la zona de producción, aunque la literatura señala la aplicación desde cada seis días en los meses más cálidos del año (mayo-agosto) hasta un riego al mes (Bravo, 1978; García et al., 2008) Aunque no existe información suficiente sobre los requerimientos

de agua, algunos estudios indican que en California la lámina de agua consumida por el nopal fue de 3.3 mm día⁻¹ (Nobel & Hartsock, 1984) y en el estado de México (Milpa Alta) de 1.7mm día⁻¹ (Flores, 2001).

En el caso del nopal para producción de biomasa para biogás, es semejante al cultivo de nopal verdura, donde se requiere una emisión constante de brotes, por lo que los requerimientos de agua también son constantes. Durante los meses de sequía es importante realizar riegos ligeros por gravedad. De preferencia, el riego debe ser con goteros de 4 L h⁻¹, para aplicar al menos 1,500 m³ ha⁻¹ al año, en zonas con precipitaciones promedio de 500 mm y de ser riego por gravedad la plantación se debe ubicar cerca de una fuente de agua para aplicar riegos ligeros cada 8 o 15 días, dependiendo de las necesidades de la plantación.

En nopal tunero, la aplicación de riego más 800 ppm de Thiadozuron (TDZ) permite atrasar y alargar el periodo de floración de nopal y por lo mismo incrementar la producción de tuna de fuera de temporada (Víctor-Gómez et al., 2020).

Cosecha

Para el caso de producción de energía con biomasa de nopal, la mayor cantidad de producción se obtiene durante la época de mayor humedad y temperatura (mayo a septiembre), lo cual corresponde al periodo de lluvias. La primera cosecha se lleva a cabo a los cuatro meses y posteriormente cada tres meses, cosechando un promedio de 200 ton/corte, con un peso promedio de 900 gr por penca. El corte del nopal con fines de biomasa se realiza manualmente con un cuchillo filoso o quebrando y girando la penca en la hendidura y posteriormente se lanza a un remolque donde es trasladada la biomasa a la planta de biodigestión (Figura 1); sin embargo, se sugiere que la cosecha se realice de manera mecánica en superficies mayores a 20 hectáreas.



Figura 1. Cosecha manual de biomasa de nopal en Las Tinajas, Calvillo, Ags. Foto Miguel A. Perales de la Cruz.

En nopal tunero, la cosecha se realiza de manualmente y la producción tiene una vida de anaquel muy corta, de 9 a 15 días, por lo que una alternativa serían los Centros de Acopio o Consolidación en las regiones productoras (Granillo-Macias et al., 2019). La alternativa para darle valor agregado a la tuna, sería su industrialización para producir, tintes, dulces y bebidas, como las gomitas de tuna que se producen en algunos lugares del estado de México (Anónimo, 2017).

El corte se debe hacer sin lastimar la penca que forma la rama de producción, porque puede provocar heridas que ocasionan el inicio de alguna enfermedad. De realizar el corte con una cosechadora mecánica, se recomienda aplicar un desinfectante para proteger a las plantas dañadas y facilitar una pronta cicatrización de la penca.

Especies y variedades

Se puede afirmar que gran parte de las especies de nopal, silvestres o cultivadas, son aptas para el consumo como verdura fresca (nopalitos); este tipo de verdura corresponde a brotes tiernos que producen las plantas de nopal en diferentes épocas del año, sobre todo en épocas de lluvias (Barrientos & Brauer, 1965). México es el país donde existe la más amplia diversidad de nopales, tanto silvestres como cultivados, lo cual se manifiesta en gran número de variedades de nopalitos en el mercado (Flores, 2001). Entre las variedades utilizadas en el cultivo para verdura se puede mencionar:

- Chicomostoc y Esmeralda
- Criolla tipo italiana
- Tlaconopal
- Copena F1
- Atlíxco
- Milpa Alta
- Sel. 6 CEPAB

Para la generación de biogás y sobre todo para el centro de México, se sugiere utilizar Sel. 6 CEPAB y milpa alta como opción alterna.

Para nopal tunero se recomiendan variedades de pulpa blanca, amarilla y roja; la Alfajayucan o Reyna de pulpa verde es la más sembrada, la Cristalina pulpa verde, la Roja Lisa de pulpa roja y la Amarilla Montesa de pulpa amarilla. La variedad Alfajayucan tiene maduración temprana, produce frutos muy dulces, tiene pocas semillas y cáscara delgada, por lo que es la variedad más buscada por los productores, pero tiene la desventaja que es la menos tolerante a la sequía (Luna-Vázquez et al., 2012).

Volumen y rendimiento por hectárea

Luna (2008), reporta rendimientos de nopal verdura bajo condiciones controladas superiores a las 400 ton/ha⁻¹, cosechando nopales tiernos de 20 a 25 cm de longitud en promedio.

En condiciones de campo con un manejo adecuado del cultivo se pueden obtener de 600 a 800 ton ha⁻¹ al año, el cual es susceptible de elevarse con la incorporación de técnicas apropiadas de manejo de cultivo. En el caso específico de dos ranchos cultivados con nopal evaluados durante junio de 2014 a junio de 2015 en el municipio de Calvillo, Ags. registraron los volúmenes de cosecha que se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Volúmen de cosecha de biomasa de nopal de dos ranchos cultivados con nopal en el municipio de Calvillo, Ags.

RANCHO	VOLUMEN COSECHADO (ton ha ⁻¹)				TOTAL
	2014		2015		
	Sept	Dic	Mar	Jun	
Las Tinajas	125	230	318	315	998
El Refugio	97	210	330	320	957
Promedio	111	220	324	317.5	997.5

De nopal tunero se producen entre 4 y 30 Toneladas de fruta por ha, dependiendo de la disponibilidad de agua y el manejo del cultivo; 4 t ha⁻¹ en el cultivo de temporal y 30 t ha⁻¹ en cultivo de riego, con buena fertilización, manejo fitosanitario (Luna-Vázquez et al., 2012).

LITERATURA CITADA

- Anónimo (2017). Caracterización del SIAL nopal verdura y fruta en el estado de Hidalgo, México. <http://www.iica.int> y <http://www.elcolegiodehidalgo.edu.mx> Consulta, 19 de septiembre 2020.
- Barrientos, P. F., & Brauer, H. O. (1965). El Nopal y su utilización en México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 26: 87-94.
- Blanco-Macías, F., Lara-Herrera, A., Valdez-Cepeda, R. D., Cortes-Bañuelos, J. O., Luna-Flores, M., & Salas-Luevano, M. A. (2006). Fracciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller). *Revista Chapingo serie Horticultura*, 12(2), 166-175.
- Borrego, E. F., & Burgos, N. V. (1986). El nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. 2ª ed. Vol. 1. U.N.A.M. México.
- CODAGEM (1979). Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. México. Folleto informativo No. 158.
- FAO (2018). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. 2ª Edición, FAO, Roma, Italia. 229 p.
- Flores, C. A. (2001). Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. Reporte de investigación 58. Universidad Autónoma de Chapingo CUESTAAM. Chapingo Edo. de México.
- García, H. J. E., Méndez, S. J., Rossel, K. D., Talavera, M., & Hernández, I. (2008). El Nopal Tunero en San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Folleto para productores No. 2. Salinas, San Luis Potosí. Noviembre del 2008. ISBN 978-968-839-6087.

- García-Hernández, J. L., & Valdes-Cepeda, R. D. (2003). Plagas y enfermedades del nopal. En: Murillo A., B., E. Troyo D. & J. L. García F. 2003. El Nopal. Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. CIBRNE. La Paz, Baja California. México. ISBN: 968-5715-00: 137-176.
- Granillo-Macías, R., González-Hernández, I. J., Santana-Robles, F., & Martínez-Flores, J. L. (2019). Estrategia de centros de consolidación para la distribución de tuna en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 265-276.
- Luna, V. J. (2008). Producción intensiva de nopal verdura. SAGARPA-INIFAP. Folleto para productores No. 28. San Luis Potosí, S.L.P. 22p.
- Luna-Vázquez, J., Zegbe-Domínguez, J. A., Mena-Covarrubias, J., & Rivera-Lozano, M. T. (2012). Manejo de plantaciones de nopal tunero en el Altiplano Potosino. Folleto para Productores No. MX-0-310305-32-03-17-10-59. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental San Luis. 23 p.
- Márquez-Berber S. R., Torcuato-Calderón, C., Almaguer-Vargas, G., Colinas-León, M. T., & Khalil-Gardezi, A. (2012). El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México. Problemática y alternativas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1), 81-93.
- Murillo, A., Troyo, D., & García, F. (2003). El Nopal. Alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. CIBRNE. La Paz, Baja California. México. 293 p. ISBN: 968-5715-00.
- Nobel, P. S., & Hartsock, T. L. (1984). Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. *Physiol. Plant.* 60: 98-105.
- Perales-Vega, M. A., & Perales, M. A. (2012). Establecimiento del cultivo del Nopal en Aguascalientes. Comité Estatal Sistema Producto Nopal del Estado de Aguascalientes A. C. SAGARPA-Fundación Produce Aguascalientes A. C. Despegable No. 2.
- Saravia, T. P. L. (2004). Programa fundamental para el desarrollo económico del Estado de México hacia el 2005 y de competitividad visión 2020. Cluster Nopal. Tecnológico de Monterrey, México.
- Víctor-Gómez Emmanuel, A., López-Jiménez, A., Cortes-Flores, J. I., Jaén-Contreras, D., & Suárez-Espinoza, J. (2020). Estimulación floral en nopal tunero en respuesta al efecto de Thidiazurón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 519-529.

Usos y aprovechamiento de los Nopales




Tortillas hechas a base de nopal. 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 *Psilbium 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. cantabriagensis*, *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 *Turbinicarpus*. *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.


Capítulo VI


Generación de biogás y energía eléctrica

Recebido em: 01/12/2023


Aceito em: 08/12/2023

 10.46420/9786585756211cap6


Miguel Ángel Perales de la Cruz 

Ernesto González Gaona 

Catarino Perales-Segovia 

Héctor Silos-Espino 

Miguel Ángel Perales Vega 

Otilio García Munguía 

Actualmente el planeta se enfrenta incertidumbre en la seguridad energética, debido a la fluctuación drástica en el precio del petróleo y al inminente agotamiento de los recursos fósiles. Además, la combustión de los hidrocarburos provoca un gran impacto nocivo en el medio ambiente y derivado de ello se ha generado el fenómeno ambiental conocido como calentamiento global, que es una consecuencia directa de las emisiones a la atmósfera de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) (Cortez & Garibaldi, 2009).

La combustión de carbono fósil secuestrado en la tierra por millones de años principalmente en los hidrocarburos, ha provocado que en los últimos 50 años las concentraciones de GEI en la atmósfera haya pasado de 280 a 400 ppm, de las cuales, el 74% está en forma de CO₂ como un producto directo de la combustión, mientras que otros gases como el metano (CH₄) representa el 21% de las emisiones de GEI, sin embargo, éste gas posee 23 veces mayor efecto invernadero que el CO₂.

La demanda de energía se incrementa a un ritmo del 3.4% promedio anual global; sin embargo, en algunos países industrializados como China, la demanda alcanza valores de incremento a la demanda hasta del 10% anual, lo cual marca la necesidad de abastecerse con recursos energéticos, siendo el petróleo el combustible por excelencia, ya que tiene una mayor eficiencia energética y se encuentra al alcance de prácticamente toda nación. El petróleo abastece aproximadamente el 52% de la demanda energética, principalmente en forma de combustible para el transporte, seguido de otro recurso fósil que es el gas natural el cual abastece el 21% de la demanda para usarse como calor (Carbajal, 1998; Contreras & Toha, 1984).

Para cubrir el abasto energético mundial, se ha tratado de disminuir el uso de combustibles fósiles, como respuesta al problema actual que representa la extracción y distribución de hidrocarburos de los yacimientos explotados comercialmente en el ámbito mundial.

Recientemente, para producir combustibles se ha considerado como una opción viable y emergente el uso de biomasa, lo cual ha propiciado el auge los denominados “biocombustibles” que se originan a partir de la energía solar convertida por las plantas en energía química mediante el proceso de fotosíntesis. Estos son recursos que han sido estudiados intensamente en los últimos 30 años y se han descubierto algunos resultados prometedores.

Los biocombustibles se denominan de primera generación debido a que ocupan el primer eslabón en la producción de biomasa. Actualmente el bioetanol obtenido a partir de la caña de azúcar en Brasil y del almidón del grano de maíz en E.U.A. es el biocombustible de mayor uso, tanto Brasil como E.U.A. y concentran el 50% de la producción de bioetanol. Este biocombustible es oxigenante de la gasolina en sustitución del éter metil ter-butílico (MTBE), aunque también se puede utilizar solo como combustible en motores de combustión interna modernos (Clarck, 1995; López-Cruz, 2012).

La investigación de bioenergía se ha orientado recientemente a la búsqueda de especies vegetales con mayor eficiencia energética como es el caso del nopal, del que se puede obtener una alta producción de biomasa, aún bajo condiciones erráticas de precipitación, permitiendo además utilizar tierras marginales de bajo potencial productivo para cultivos alimentarios, destinándolas a la producción de biocombustibles, teniendo así bioenergéticos de primera generación sustentables, con la ayuda de los microorganismos presentes en el estiércol del ganado bovino que se utiliza como complemento de la biodigestión.

La primera etapa de las medidas adoptadas por México para asegurar el abasto energético, incluye la exploración de fuentes de biomasa de áreas de riego del centro y sur del país; sin embargo, el 52% del territorio nacional corresponde a zonas áridas y semiáridas del centro norte, las cuales no fueron tomadas en cuenta para el programa energético (Perales, 2009; Perales et al., 2009).

En las zonas áridas y semiáridas, excluidas originalmente del programa energético por ser consideradas como tierras marginales de bajo potencial productivo para cultivos tradicionales, se tienen las condiciones adecuadas para el establecimiento de plantas suculentas como el nopal *Opuntia* spp., el cual tiene una alta eficiencia en la producción de biomasa bajo las condiciones agroclimáticas que prevalecen en dichas zonas, visualizándose como una opción viable para la producción de biocombustibles de primera generación (Acevedo, 1983; García & Varnero, 1995; Perales et al., 2011a).

La producción de bioenergía a partir de la biomasa de nopal es una alternativa (Varnero & Arellano, 1990; Varnero et al., 1992; García & Varnero, 1995; Beshir & Yimam, 2018) que se ha implementado en otros países de América del Sur, como el caso de Chile, donde corporativos de la iniciativa privada han establecido Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) a través del uso de biomasa de nopal para la producción de biogás y por tanto de energía eléctrica (Guzmán, 1981; Picken, 1981; Baeza, 1995; Perales et al., 2011b).

Descripción de la fábrica de Bioenergía de Calvillo, Aguascalientes

La descripción que aquí se hace, corresponde a las instalaciones, infraestructura y equipo básico que integra el prototipo de una planta piloto para generar 1Mwh de energía eléctrica a partir de biomasa de nopal (Figura 1), la cual consta de área de oficinas, patio de recepción y maniobras, triturador, lavado de estiércol, homogeneizador, biodigestores, tanques de sedimentación, laguna de oxidación, mechero, medidor de flujo, filtro de piedra porosa, motor generador, regulador, cuarto de mando y cuarto de baterías.



Figura 1. Vista aérea de la planta piloto para la generación de biogás y energía eléctrica a partir de biomasa de nopal en Calvillo, Aguascalientes.

Patio de recepción y maniobras

En la Figura 2 se ilustra el área de ingreso del nopal, la cual está constituida por una superficie de 2,500 m² donde se recibe la biomasa de nopal, e inmediatamente se registra en una bitácora de almacén el peso del material que se recibe y el estado físico que presenta al momento de la llegada; posteriormente la biomasa se deposita en orden cronológico de recepción en uno de los dos patios de almacenamiento, con la finalidad de triturarlos en el orden de ingreso, asegurando una reserva de biomasa en caso de presentarse algún imprevisto como lluvias o algún otro factor inesperado que pueda impedir las labores de cosecha y no se afecte la producción diaria de biogás y generación de eléctrica.

1



Figura 2. Patio de recepción de biomasa de nopal para la generación de biogás.

En la misma área se recibe y almacena el estiércol fresco de bovino que se empleará en el proceso de biodigestión, manteniendo en el patio entre 5 a 15 ton tapado con una lona de protección, con la finalidad de garantizar la eficiencia biológica del estiércol fresco.

En caso de que el estiércol llegue a las instalaciones con menos del 50% de humedad, se debe hidratar con una mezcla de agua no clorada, adicionada con 2% de suero de leche de vaca para favorecer de manera inmediata la fermentación.

Triturador

En la secuencia fotográfica que se muestra en la Figura 3, se aprecia la tolva principal de este dispositivo con una entrada de 3.81 m de ancho con dos reducciones cónicas posteriores; la primera reducción tiene una abertura de 2.4 m de ancho y la segunda de 1.24 m, la cual desemboca directamente en el área de trituración accionada por un rotor giratorio de martillos.



Figura 3. Esquema de trituración de biomasa de nopal.

La tolva es abastecida con pencas de nopal mediante la ayuda de una pala mecánica de tractor que alimenta el área del rotor de martillos donde se trituran entre 15 a 18 toneladas de biomasa de nopal por hora. El material triturado es expulsado por la escotilla de salida frontal como una mezcla líquida viscosa integrada por partículas de nopal de 3 a 5 mm de ancho.

Sistema de lavado de estiércol

El sistema de lavado de estiércol se diseñó en mampostería de 2 m de ancho por 3 de largo, con tres canaletas provistas de un sistema de circulación de agua a presión que permite sedimentar la arena, piedras y material sólido ajeno al estiércol (Figura 4), dejando pasar a la maya final solo estiércol líquido que es depositado en la fosa de homogenización.



Figura 4. Descripción del sistema de lavado de estiércol para la biodigestión de biomasa de nopal.

Homogeneizador

Un tanque cónico tipo cisterna de 30 m³ cubierto con geomembrana sirve de contenedor para recibir la biomasa triturada y el estiércol lavado donde el sustrato se mezcla y homogeniza con agua antes de bombearlo hasta sistema de biodigestores.

La recepción de la mezcla debe tener una proporción de 99% de biomasa de nopal y 1% de estiércol, a la cual posteriormente se le adiciona un promedio de 30% de agua para diluirla y reducir su viscosidad, con la finalidad de facilitar el posterior bombeo al interior del biodigestor.



Figura 5. Homogeneizador de biomasa de nopal triturada y estiércol lavado.

La homogenización se logra forzando a que la mezcla circule durante un período de 10 a 12 minutos a través de un sistema de circulación a presión de dos bombas de 3 HP, que generan un sistema de turbulencia semejando un remolino que permite integrar la biomasa de nopal, el estiércol de bovino y el agua en una solución homogénea.

Biodigestores

El sistema de biodigestión está integrado por cuatro cámaras de fermentación de geomembrana, con una capacidad de almacenamiento de 1,000 m³ cada una, adaptadas con una salida inferior de 12 pulgadas para desalojar lodos o sedimentos y una salida superior de 10 pulgadas para el desalojo de bióles líquidos, brindando una funcionalidad semejante al flujo continuo.

Cuenta además con un sistema interno de recirculación y un sistema de agitación de biodigestato basado en uso de bombas centrífugas sumergibles de 3 HP y flujo de 9 L por segundo. El interior del biodigestor se debe mantener a una temperatura constante entre 32 a 35 °C, una capacidad buferante de pH entre 7.0 a 7.2 y una CE en el rango de 5 a 7.5 dS/m.



Figura 6. Serie de biodigestores adecuados para la generación de biogás a partir de biomasa de nopal.

El control de la temperatura en un sistema de biodigestión mesofílica de biomasa de nopal, es considerado como endógeno, ya que se genera a través del movimiento, alimentación y respiración de los microorganismos presentes en la biomasa y solo se puede afectar si el pH baja a valores iguales o inferiores de 6.5. Si esto ocurre, la biomasa se estabiliza nuevamente con la adición de una solución alcalina preparada con 5 kg de cal diluida en 50 L de agua por cada decima del valor de pH que se pretenda incrementar.

En el interior de cada biodigestor existe un sistema de agitación horizontal que se activa para mover la mezcla contenida en cada cámara de fermentación desde las 8:00 am hasta las 16:00 pm, permitiendo de esta manera que en el biodigestato trabajen en condiciones ambientales por un periodo de 16 horas los microorganismos metanogénicos, cubriendo así el TRH requerido por la biomasa de nopal.

El sistema opera mediante la acción de una bomba centrífuga de 3 pulgadas con salida a ocho ramales que generan una circulación lenta de la biomasa, lo cual favorece la actividad de los microorganismos metanogénicos.

El proceso se complementa con un sistema de recirculación que al momento de la carga de biomasa fresca se opera mediante un panel de control como el que se ilustra en la Figura 7, haciendo circular mediante turbulencia el biodigestato de tal manera que permite invertir los lodos y residuos de biomasa digerida de la parte baja hacia la parte alta, al mismo tiempo que la biomasa fresca flotante de la parte superior se coloca en la parte baja, y en el transcurso de las 8 horas de trabajo de agitación se homogeniza el sustrato desde la base hasta la altura máxima, distribuyendo de manera uniforme los microorganismos con la finalidad de colonizar la mayor área posible del biodigestato.



Figura 7. Tablero de control de biodigestores de flujo continuo para la generación de biogás a partir de biomasa de nopal.

Producción de biogás

El resultado final del proceso de biodigestión en el interior de la cámara de fermentación, es el biogás, el cual está compuesto principalmente por metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2). El biogás que se genera en la planta piloto de Calvillo, Ags., tiene una concentración de metano entre 60 a 63%, lo que garantiza la eficiencia de conversión en el trabajo del motogenerador de esta planta, pues para el encendido de un motor se requiere una concentración mínima de 48% de metano.

Respecto a la medición del volumen de biogás producido en la planta piloto, esta se realiza mediante un medidor de flujo de biogás Proline-mass 65 (Figura 8), provisto de un sensor de gas que registra en tiempo real el volumen contenido en el biodigestor en Nm^3 , el cual está colocado 2 m antes de la salida al mechero utilizado para la quema del biogás generado.

El medidor de la planta piloto de Calvillo, Ags., registra valores de producción de biogás entre 620 a 680 Nm^3 por tonelada de nopal en base seca, con flujos volumétricos de 210 a 450 Nm^3/h , lo cual

se considera actualmente como el valor más alto de biogás obtenido en el mundo, seguido por los valores obtenidos en Chile que oscilan entre los 450 a 500 Nm³.



Figura 8. Medidor de flujo de biogás operado mediante sensor.

Filtro de biogás

Debido a que el biogás generado en la cúpula de los biodigestores induce una temperatura de salida de hasta 68 °C y a que existe la probabilidad de que contenga trazas de ácido sulfhídrico, se requiere que este sea filtrado para asegurar su pureza química.

El filtro diseñado para la planta piloto de Calvillo Ags., consta de un sistema de entrada de biogás por la parte inferior del filtro donde se encuentra una base de agua y posteriormente el 50% de su capacidad es llenado con piedra tezontle para eliminar el ácido sulfhídrico y enfriar el biogás en su ascenso a la salida del filtro por la parte superior como se ilustra en la Figura 9.



Figura 9. Filtro de agua y piedra tezontle para biogás de biomasa de nopal.

Al final de la línea de salida existe un soplador con válvula check de un solo sentido, el cual tiene la función de suministrar un flujo constante de biogás para el funcionamiento continuo del motor generador de electricidad.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Motor generador

La planta piloto cuenta con un equipo de moto generación de energía eléctrica CATERPILAR (CAT MR) cabinado (Figura 10), provisto de un motor de combustión interna de 16 pistones en V, con capacidad de trabajo a 1,335 Kva. Cuando el motor recibe el biogás generado en las cámaras de fermentación, enciende e inmediatamente inicia el movimiento del cigüeñal y pistones que generan sinergia y presión para inducir la secuencia de trabajo del generador eléctrico.



Figura 10. Motor generador de 1Mwh operado con biogás de biomasa de nopal.

Para que el motor comience a trabajar, el sistema demanda un flujo de biogás con una concentración mínima promedio de metano de 48% y un flujo de biogás de 350 a 400 Nm³/hr; sin embargo, los biodigestores de la planta piloto de Calvillo, Ags., tienen la capacidad de suministrar biogás con un contenido promedio de 62% de metano y bajo esta concentración, el sistema de la planta piloto demanda mantener un flujo de biogás de 250 a 300 Nm³/hr que será el responsable de generar 1,000 kwh en 480 volts.

Transformador

Adjunto al motor generador se encuentra un transformador de voltaje (Figura 11), el cual recibe 480 volts de energía producidos por el generador eléctrico y se encarga de incrementarlos hasta 13,200

volts que es el valor mínimo de energía requerida para poder tener el acceso al suministro eléctrico de una línea de media tensión administrada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El voltaje transformado se deposita en una línea de tensión media de la subestación “El Salitre”, y una vez que pasa al sistema de transferencia de energía se usa para el consumo en la planta procesadora de cemento Cruz Azul Hidalgo, mediante el pago por el servicio de porteo a la CFE.



Figura 11. Vista del generador para elevar de 480 a 13200 volts.

Cuarto de baterías

En un sistema de generación de energía eléctrica, siempre se debe considerar una fuente de energía alterna que proteja al motor generador de un daño severo ante la presencia de alguna eventualidad de falla en sistema de suministro eléctrico por parte de la CFE, por lo cual se diseñó un cuarto de baterías como el que se muestra en la Figura 12, con un bloque de baterías en serie, que durante un periodo de 10 segundos suministra la energía necesaria para inducir el apagado de emergencia en el motor generador.



Figura 12. Vista externa del cuarto de baterías y el interior con las baterías en serie.

Mechero

En el caso de que la planta piloto de Calvillo Ags., tuviera una sobre producción de biogás, se diseñó un mechero de 12 pulgadas de diámetro como el que se muestra en la Figura 13, con la finalidad de quemar los excedentes de biogás producidos en el sistema de biodigestión y para evitar la contaminación ambiental en caso de tener la necesidad de liberar el citado biogás por motivos de seguridad.

El mechero cuenta con un piloto de ignición con sensor automático, para encenderse al momento de detectar la presencia de biogás y es activado mediante la chispa generada por una batería alimentada por un panel solar que provee de energía permanente al piloto de encendido durante las 24 horas del día; el mechero tiene la capacidad de quemar un flujo de hasta 850 Nm³/hora.



Figura 13. Ilustración de mechero utilizado para la quema de excedentes de biogás.

Tanques de sedimentación

El proceso de generación de biogás y energía eléctrica a partir de biomasa de nopal en la planta piloto de Calvillo, Ags., obliga a tener diariamente un volumen de entrada de biomasa cruda a los tanques de fermentación y un volumen de salida de biomasa procesada semejante desde el interior de los biodigestores.

La biomasa de nopal procesada sale de los biodigestores por gravedad y es conducida por tubería al tanque de sedimentación inicial (Figura 14), que recibe bióles con un contenido promedio de 90 a 95% de material líquido y el resto sólido en partículas finas, que sirven como base para elaborar biofertilizantes líquidos y sólidos de uso agrícola.



Figura 14. Sedimentador 1 para residuos del sistema de biodigestión mesofílica de biomasa de nopal.

El sedimentador inicial se conecta al sedimentador secundario mediante un sistema de tubería de PVC de 6 pulgadas a una altura de 90 cm, lo cual permite que los materiales sólidos se queden en el fondo del sedimentador inicial y el material líquido pase por gravedad al sedimentador secundario.

Mediante un sistema de bombas centrífugas para sólidos, el material del fondo del sedimentador inicial es adsorbido y pasado por un separador de fibras cortas que se encuentra entre los dos sedimentadores, como se ilustra en la Figura 15.



Figura 15. Sedimentador 2 y separador de fibras finas para residuos del sistema de biodigestión mesofílica de biomasa de nopal.

Laguna de oxidación

La laguna de oxidación es una excavación en el suelo recubierta con geomembrana (Figura 16), y se diseñó para almacenar temporalmente los bióles resultantes de la digestión de biomasa de nopal, de donde se obtendrá el material base para la formulación de biofertilizantes líquidos y sólidos como subproducto del nopal.

En la laguna de oxidación receptora de los bióles de nopal, se emplea un sistema de oxigenación mediante la circulación continua de lanchas de pilas recargables, estas lanchas favorecen el incremento del oxígeno en los bióles, permitiendo la eliminación de la carga de microorganismos de origen anaeróbico y asegurar así que el material base para los biofertilizantes contiene al final solo microorganismos aeróbicos que un futuro próximo serán fortificados con microorganismos de cepas cultivadas que servirán de inóculo para mejorar el trabajo de los biofertilizantes formulados.



Figura 16. Fosa de oxidación final de bióles generados a partir de la biodigestión de biomasa de nopal.

Beneficio económico del proyecto

Los resultados obtenidos en la generación de energía eléctrica a partir de la biodigestión de biomasa de nopal, revelan que el costo de producción por kw, es en promedio de \$0.60 a \$0.63, el cual, comparado con el costo comercial de \$1.85 por kw que paga la industria, representa un ahorro entre 293.65 a 308.33% y permite tener un periodo promedio de recuperación de la inversión entre 18 a 24 meses.

Impacto ambiental

La planta piloto de generación de biogás y energía eléctrica de Calvillo, Ags., descrita en el presente documento demuestra categóricamente que es un proyecto ecológico sustentable con cero generación de residuos nocivos para el medio ambiente, ya que el manejo integral de la planta de nopal permite aprovechar el biogás en la generación de energía eléctrica y los bióles resultantes de la

biodigestión son utilizados como complemento en el agua de riego de las plantaciones de nopal y en la elaboración de biofertilizantes líquidos y compostas enriquecidas. Únicamente se genera basura comercial que es depositada en contenedores de residuos que posteriormente una empresa de servicios de limpieza especializada traslada a sitios de confinamiento autorizados.

Impacto social

La implementación del proyecto en la región, es un detonador del empleo para la zona El Salitre-La Rinconada en el municipio de Calvillo, Ags, ya que generó un promedio de 90 empleos diarios en las áreas de cultivo de nopal y 15 empleos en la planta de generación de energía eléctrica, todos con las prestaciones de seguridad médica y sociales que marca la legislación actual más incentivos internos que la Cooperativa la Cruz Azul destina al desempeño de sus trabajadores.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. (1983). Biomasa y energía. *Simiente*, 53, 3-13.
- Baeza, J. (1995). Aprovechamiento del desecho del cultivo de la cactáceas. *Opuntia ficus cacti* para la producción de biogas. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago.
- Beshir, B. J., & Yimam, A. (2018). Study on the biogas energy potential of cactus *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. *Ethiopian Journal of Science and Sustainable Development*, 5(2), 83-92.
- Carvajal, M. (1998). Estudio ambiental de la utilización de GNC y CLP como combustible en vehículos livianos duales en uso. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago, Chile.
- Clark, N. N. (1995). Emissions for Alcohol, Natural Gas, Diesel and Biodiesel Buses. *Proceedings of the Fifth CRC On-Road Vehicles Emissions Workshop*.
- Contreras, S., & Toha, C. (1984). Biogas Production from suspension of Homogenized Cladodes of the cactus *Opuntia cacti*. *Journal of Fermentation Technology*, 62(6), 601-605.
- Cortez, C. M. A., & Garibaldi, F. M. (2009). Construcción de biodigestores a pequeña escala. In J. López Gómez, M. A. Perales de la Cruz, & E. González Gaona (Eds.), *Memoria. V Curso Taller de Actualización de Productores Rurales para el Desarrollo de las Zonas Áridas* (pp. 19-22). Ojo Caliente, Zac. México.
- García, De C., V., & Varnero, M. T. (1995). Energy production. In G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta B. (Eds.), *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear* (pp. 186-211). FAO Plant Production and Protection paper 132.
- Guzmán, J. (1981). Recursos energéticos no tradicionales para la década del 80. Departamento de Química de la Universidad Católica de Chile. Núm. 81, Santiago, Chile.
- López-Cruz, J. (2012). Evaluación de cinco mezclas nopal/estiércol para la generación de biogás bajo condiciones de campo en el estado de Aguascalientes. Tesis de licenciatura, ITEL, El Llano, Ags.

- Perales C. M. A., Beas, R. C., Mendoza, M., Perales V., M. A., & Silos E. H. (2011a). Evaluación de mezclas de nopal/estiércol para la generación de biogás en las zonas áridas de México. In R. J. J. Martínez, N. Vázquez, R. Santana, A. Martínez, R., & J. Fuentes, G. (Eds.), Memorias de la XXIII Semana Internacional de Agronomía (pp. 1109-1112). Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Dgo.
- Perales, C. M. A. (2009). Sistemas de producción de energía alternativa. In J. López Gómez, M. A. Perales de la Cruz, & E. González Gaona (Eds.), Memoria. V Curso Taller de Actualización de Productores Rurales para el Desarrollo de las Zonas Áridas (pp. 23-36). Ojo Caliente, Zac. México.
- Perales, C. M. A., Perales V., M. A., Garbaldi M. F., & Cortes Ch. M. A. (2011b). Validación de la generación de biogás a partir de biomasa de nopal (*Opuntia ficus indica*). In Congreso Internacional sobre biocombustibles 2011. Boca del Río, Ver. Perales, V. M. A., Perales, M. A., Ramos, L. R., & Perales, C. (2009). Evaluación de la producción de biogás en zonas áridas a partir de biomasa de nopal (*Opuntia ficus indica*). In Memoria de la 55 Reunión Anual del PCCMCA. Campeche, Méx. Septiembre del 2009.

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