

# SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL

Región nororiente  
del Estado de México

THELMA BEATRIZ PAVÓN SILVA  
ADRIANA HERNÁNDEZ MANRIQUE

Coordinadoras



Universidad Autónoma  
del Estado de México



Doctora en Ciencias Sociales  
**Martha Patricia Zarza Delgado**  
*Rectora de la Universidad Autónoma del Estado de México*

Doctora en Ciencias Computacionales  
**Arianna Becerril García**  
*Secretaria de Ciencia*

Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales  
**Francisco Herrera Tapia**  
*Secretario Académico*

Doctora en Estudios Latinoamericanos  
**Cynthia Ortega Salgado**  
*Secretaria de Identidad y Cultura*

Doctor en Ciencias Sociales  
**Jorge Alejandro Vásquez Caicedo**  
*Secretario de Gobernanza Universitaria*

Doctora en Farmacia y Tecnología Farmacéutica  
**Mariana Ortiz Reynoso**  
*Secretaria de Vinculación, Extensión  
y Promoción de la Empleabilidad*

Maestra en Administración  
**Miriam Liliana Padilla Mora**  
*Secretaria de Gestión y Administración Universitaria*

Maestra en Hacienda Pública  
**Miriam Sierra López**  
*Secretaria de Finanzas*

Doctora en Humanidades  
**María de las Mercedes Portilla Luja**  
*Secretaria de Desarrollo y Fortalecimiento Institucional*

Doctora en Geografía  
**Norma Baca Tavira**  
*Secretaria de Igualdad Sustantiva y Cuidados*

Doctor en Ciencias e Ingeniería de Materiales  
**José Guadalupe Miranda Hernández**  
*Secretario de Centros Universitarios  
y Unidades Académicas Profesionales*

Maestrante en Derecho  
**Evangelina Sales Sánchez**  
*Consejera Jurídica Universitaria*

Doctora en Diseño  
**María Fernanda Valdés Figueroa**  
*Directora General de Comunicación Social Universitaria*

Doctor en Políticas Públicas  
**Bernardo Jorge Almaraz Calderón**  
*Jefe de la Oficina de la Rectoría*

Sustentabilidad en la producción de nopal  
*Región nororiente del Estado de México*

Dirección de Publicaciones Universitarias  
*Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México*

Doctora en Ciencias Sociales  
**Martha Patricia Zarza Delgado**  
*Rectora*

Doctora en Estudios Latinoamericanos  
**Cynthia Ortega Salgado**  
*Secretaria de Identidad y Cultura*

Maestra en Diseño  
**Ixchel Edith Díaz Porras**  
Encargada del Despacho de la  
Dirección de Publicaciones Universitarias

# Sustentabilidad en la producción de nopal

## *Región nororiente del Estado de México*

THELMA BEATRIZ PAVÓN SILVA  
ADRIANA HERNÁNDEZ MANRIQUE

Coordinadoras



Universidad Autónoma del Estado de México

*"2026, Conmemoración del ingreso de la científica y académica  
Elena Cárdenas Guerrero al Instituto Científico y Literario"*

Este libro fue positivamente dictaminado con el aval de dos revisores externos, conforme al Reglamento de la Función Editorial de la UAEMEX, y fue sometido a un proceso del identificación de duplicidad de la información mediante un *software* especializado.

Primera edición, marzo 2026

SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL

*Región nororiente del Estado de México*

Thelma Beatriz Pavón Silva

Adriana Hernández Manrique

Coordinadoras

Universidad Autónoma del Estado de México

Av. Instituto Literario 100 Ote., Col. Centro

Toluca, Estado de México

C.P. 50000

Tel: (52) 722 481 1800

<http://www.uaemex.mx>

Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt: 1800233)



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional. Los usuarios pueden descargar esta publicación y compartirla con otros, pero no están autorizados a modificar su contenido de ninguna manera ni a utilizarlo para fines comerciales. Disponible para su descarga en acceso abierto en: <http://ri.uaemex.mx>

ISBN: 978-968-9718-62-8

Hecho en México

Director del equipo editorial: Jorge Eduardo Robles Alvarez

Coordinación editorial: Ixchel Edith Díaz Porras

Corrección de estilo: Silvia Martínez García

Coordinación de diseño: Luis Alberto Maldonado Barraza

Formación: Elizabeth Vargas Albarrán

Diseño de portada: Martha Eugenia Díaz Cuenca



# CONTENIDO

PRÓLOGO 9

INTRODUCCIÓN 11

## DIFUSIÓN CULTURAL

CARTOGRAFÍAS DEL NOPAL: MEMORIA Y TERRITORIO,  
ZONA NORORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO  
*Adriana Hernández Manrique* 15

## DIFUSIÓN CIENTÍFICA

COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL NOPAL Y SU IMPACTO SOBRE LA SALUD  
Alexis Ayala Niño  
*José Antonio Sánchez Franco* 33

COMPUESTOS QUÍMICOS DE VALOR AGREGADO DERIVADOS DE LAS SEMILLAS  
DE LOS FRUTOS DEL NOPAL  
*Juan Carlos Piña Victoria*  
*Alfonso Talavera López*  
*Yohuali Zarazúa Aguilar* 51

SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL: REGIÓN NORORIENTE  
DEL ESTADO DE MÉXICO  
*Víctor Alfonso Reyes Larios*  
*Alejandro Díaz García*  
*Floristela Luna Hernández* 65

EL NOPAL, CAMINO VERDE HACIA LA SOSTENIBILIDAD

*Adla Evelyn Escobar Cisneros*

*Álvaro Díaz Andrade*

*Georgina Gutiérrez García*

83

PROSPECTIVA DE USOS DEL NOPAL EN LA REGIÓN NORORIENTE  
DEL ESTADO DE MÉXICO

*Thelma Beatriz Pavón Silva*

105

## PRÓLOGO

Durante el México prehispánico existieron frutos, vegetales y cereales endémicos que nutrieron a sus habitantes. Actualmente, con la globalización, los ingredientes naturales en la cocina son diversos y de distintas regiones y países. Sin darnos cuenta, hemos elegido una dieta poco sustentable y saludable, lo que ha traído el desarrollo de una serie de enfermedades y malestares en la población.

Si bien se puede mencionar que la dieta de la milpa es sustentable y saludable, que rescata aquellos ingredientes de la cocina mexicana prehispánica, se hace énfasis en el uso de ingredientes regionales, como maíz, frijol, jitomate, chiles y nopal.

El nopal es una cactácea de origen americano que, como bien se menciona en los siguientes capítulos, contiene una serie de compuestos que pueden ser benéficos para la salud del consumidor y existen novedosos métodos para obtener y extraer estos elementos. Se enlistan algunos productos que utilizan y aprovechan este vegetal y se realiza una comparación sobre las distintas formas de producción, en las que se destaca al nopal por ser un producto sustentable. Se hace referencia a la composición nutrimental y de compuestos contenidos en las partes que integran al nopal, como los cladodios, la tuna y semillas, que si bien son una fuente importante de compuestos con bioactividad sobre la salud del consumidor, el papel notable de la publicación radica en dar a conocer que el consumo rescataría y ofrecería alternativas saludables ante la presencia de enfermedades presentes en la población.

Asimismo, se abordan temas y enfoques relacionados con la visibilidad e importancia de la sustentabilidad y la sostenibilidad en la producción de nopal en la región nororiente del Estado de México. Se destaca la participación de investigadores, docentes y personal administrativo de la Unidad Académica Profesional Acolman, en la que se dan a conocer temas de gran relevancia, como la breve historia e importancia del nopal en la sociedad mexicana desde tiempos prehispánicos.

Por otro lado, se destaca que existen varias funciones del nopal en el Estado de México, haciendo hincapié en la participación de productores a nivel regional y estatal; con ello se establece que el producto funge como un medio de producción de recursos económicos, el cual se ha empleado desde hace mucho tiempo en la organización y

en la gestión de empleos en los que familias dependen de la producción de dicho producto y de sus derivados.

Es interesante cómo se unen distintas visiones en la elaboración de este libro, en la que hacen equipo nutriólogos, ingenieros químicos y mercadólogos, dando como resultado un libro multidisciplinario, en el que se habla de un solo producto desde distintas vertientes.

## INTRODUCCIÓN

En la presente obra se aborda la sustentabilidad de la producción de nopal en la región nororiente del Estado de México. La sustentabilidad está enfocada en lograr prosperidad económica cuidando la naturaleza y ofreciendo calidad de vida a las personas. En ese contexto, la industria agroalimentaria ha buscado la forma en que esto se pueda lograr a partir de la producción de alimentos endémicos de México, entre los que destacan vainilla, cacao, agave, nopal, entre otros.

El nopal es una cactácea originaria del continente americano que se ha cultivado y consumido desde tiempos prehispánicos. Existen muchas variedades de nopal: se conocen 200 especies, sin embargo, solo 101 se encuentran en México. En nuestro país, el nopal es utilizado en la industria farmacéutica y cosmética, en la ganadería, en la alimentación, entre otras industrias.

La producción agroalimentaria de nopal en México se divide en cinco zonas: noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit), noreste (Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas), centro occidente (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro y San Luis Potosí), sur-sureste (Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán) y centro (Ciudad de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Estado de México).

En el Estado de México, específicamente en la zona nororiente, donde se encuentran los municipios de Teotihuacán, San Martín de las Pirámides, Axapusco, Nopaltepec y Otumba es donde se produce una gran cantidad de nopal, por lo que este estado ocupa el tercer lugar en producción de nopal.

El libro está dividido en dos secciones, la primera se ha denominado: Difusión cultural y se integra por el capítulo “Cartografías del nopal: memoria y territorio. Zona nororiente del Estado de México”, en el cual se abordan dos conceptos que permiten pensar en las cartografías como espacios que resguardan *memoria y territorio*. Asimismo, hace un recorrido por las regiones del Valle de Teotihuacán donde se cultiva el nopal.

En la segunda sección: Difusión científica, se presentan cinco capítulos. La apertura de la sección se hace con: “Compuestos bioactivos del nopal y su impacto sobre la salud”, en donde se abordan las propiedades biológicas del nopal y sus beneficios en la salud de quienes lo consumen.

En el segundo capítulo: “Compuestos químicos de valor agregado derivados de las semillas de los frutos del nopal” se hace una revisión bibliográfica de los nopales tuneros (*Opuntia ficus indica*) y los nopales xoconostle (*Opuntia joconostle*); principalmente, se abordan las propiedades fisicoquímicas de los compuestos químicos de la cáscara, pulpa y semillas de las tunas y xoconostle, los métodos de extracción de dichos compuestos y sus posibles aplicaciones.

En el capítulo tres: “Sustentabilidad en la producción de nopal: Región nororiente del Estado de México” se presentan los resultados de una evaluación realizada para determinar la viabilidad de la elaboración de queso de tuna en la región noroeste del Estado de México, para consumo nacional y de exportación. El estudio se le realizó a una población de 20 productores de la zona, llegando a la conclusión de que puede ser rentable la producción de queso de tuna en esta región.

En el capítulo cuatro: “El nopal, camino verde hacia la sostenibilidad” se analiza la producción de nopal mediante una investigación cualitativa de revisión documental; además, se relaciona dicha producción con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 (ODS 2) Hambre Cero, y se llega a la conclusión de que el nopal cumple con el ODS 2, ya que es una especie que se puede cultivar en espacios pequeños durante todo el año, lo que permite su acceso a toda persona.

Finalmente: “Prospectiva de usos del nopal en la región nororiente del Estado de México” aborda la elaboración de productos a partir del nopal, como el queso de tuna, harina, así como actividades estratégicas para la comercialización de dichos productos, mediante un trabajo colegiado entre profesores universitarios de la Unidad Académica Profesional Acolman.

En general, el libro proporciona una perspectiva sobre el nopal: cómo se cultiva, sus propiedades químicas y nutricionales, así como sus usos; asimismo, se brinda a los productores de la zona alternativas de uso y comercialización para darle valor agregado a sus productos. Con lo anterior, esta obra ofrece beneficios a la población en general, a productores y consumidores, así como a la economía del lugar y al medio ambiente.

# DIFUSIÓN CULTURAL



# CARTOGRAFÍAS DEL NOPAL: MEMORIA Y TERRITORIO. ZONA NORORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

*Adriana Hernández Manrique<sup>1</sup>*

*La cartografía es la ciencia, arte y tecnología que se encarga  
del estudio y la elaboración de los mapas.*

*La cartografía es la más científica de las artes  
y la más artística de las ciencias.*

PAUL THEROUX

Este documento, metodológicamente, aborda dos conceptos que me permiten pensar a las cartografías como espacios subjetivos y afectivos que resguardan memoria y territorio. La *memoria*, como registro de lo inmediato y del acontecimiento; el *territorio*, como espacio que se habita y crea memoria. Para ello, reviso los planteamientos de Nora (2008), Rubiano (2015), García (2014) y Marchant (2020).

Para realizar el cruce entre lo anterior y el fenómeno observado, realicé un recorrido por el trabajo de campo y la recuperación de saberes de la cooperativa agraria Frutos Orgánicos Selectos, que se dedica a la producción de nopal tunero y nopal verdura, ubicada entre los municipios de San Martín de las Pirámides y Otumba, en la zona nororiental del Estado de México. Las áreas de cultivo visitadas conforman paisajes de esta cactácea que, desde el enfoque aquí planteado, me permite pensar en la memoria del lugar, habitado por vegetación y fauna endémica, alguna considerada nociva para la producción pero que, incluso, constituye vastos paisajes que invitan a la contemplación como estética del paisaje, aunque para los agricultores o los productores pueda significar un problema.

El proyecto abarca el desarrollo de tres áreas consideradas como paisaje tunero: la primera como desarrollo de producción orgánica, cuya experiencia estética invite a la contemplación; la segunda, de producción no orgánica, a gran escala y con control

---

<sup>1</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: ahernandezma@uaemex.mx

de plagas; y la tercera como atractivo de turismo rural con un proyecto de temazcal y SPA.

De acuerdo con Víctor Villalobos Arámbula, secretario de Agricultura y Desarrollo Rural, en México, el consumo per cápita del nopal es de 6.3 kilogramos por año, por lo que, además de ofrecer paisajes estéticamente bellos, son fuente de una alimentación endémica y de la canasta básica para la población promedio.

**Palabras clave:** memoria, territorio, nopal, Otumba.

## INTRODUCCIÓN

El Estado de México se presenta como uno de los tres principales productores de nopal verdura, luego de la Ciudad de México y Morelos. Dichas entidades tienen las condiciones para que se conformen áreas de cultivo para nopales tuneros, forrajeros y verdura. En su conjunto, por las dimensiones que ocupan en hectáreas, conforman paisajes que se acoplan con el de la región y, además, tienen un plus: la recuperación del suelo erosionado. Así, las nopaleras, como extensiones de áreas verdes, desde las cultivadas *exprofeso* hasta las que crecen de manera silvestre, configuran paisajes en suelos áridos y semi áridos de la región nororiente del Estado de México. Esta zona comprende los municipios de: Ecatepec, Acolman, Teotihuacán, San Martín de las Pirámides, Otumba, Axapusco y Nopaltepec, donde se puede ver nopales silvestres en las casas de las zonas rurales, a pie de carretera, en cerros y baldíos. Por ejemplo, Otumba concentra el 57% de la producción estatal de esta cactácea (Flores et al., 2023: 211), por esta razón, es evidente que su reproducción es de manera natural y por intervención humana.

Estas vastas áreas cultivadas o distribuidas aleatoriamente de manera silvestre conforman paisajes de cactáceas, vegetación endémica de cerros, baldíos o terrazas, paisajes que en el siglo XIX fueron retratados por el paisajista José María Velasco en sus obras: *Visita del valle de México desde el cerro de Santa Isabel* (1877), *Valle de México* (1910) y *Vistas del valle de México* (1894-1905)<sup>2</sup>, esta última, serie de

---

<sup>2</sup> José María Velasco produjo un aproximado de 300 cuadros —oleos, acuarelas, litografías y pinturas en miniatura— desde la geografía mexicana y la belleza de su paisaje (Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, 2019, “Los paisajes de José María Velasco, símbolo de la identidad nacional”).

ocho cuadros. Las obras de Velasco, y otras de diversas latitudes del país, destacan la geografía mexicana por la vastedad de la flora y la fauna de los lugares visitados. Su trabajo es memoria del lugar y archivo visual porque reúne un periodo de más de 40 años de producción plástica entre finales del siglo XIX y XX en México. En la actualidad, esa conformación de nopaleras tuneras, de verdura, o de forraje se ha modificado considerablemente, pero, invariablemente, forman parte de los lugares de la memoria.

#### PRIMERA CARTOGRAFÍA, HABITAR EL PAISAJE

Pierre Nora (2008) —en *Les lieux de mémoire*— establece que “los lugares de la memoria” no son físicos, sino que son todos aquellos elementos u objetos concretos que la conforman, desde lo material hasta los más abstractos e intelectualmente contruidos. Son lugares de la memoria por todo lo que contienen, pues ya sea natural o por la intervención del hombre, poseen una carga emotiva que da significado a alguien. Estos lugares son meramente subjetivos porque quien así los considera establece vínculos afectivos con sus objetos reales, imaginarios o simbólicos. Así, nuestros paisajes con nopales —con toda su geografía, vegetación, maleza, incluso fauna nociva que los acompaña— son lugares de la memoria porque nos significan un arraigo, una identidad, un sentir, un pensar y un estar.

Para Matías Marchant (2020: 91) —en *Memoria, territorio y experiencia. Reflexiones a partir del pensamiento de W. Benjamin*—, las relaciones que guardamos con los lugares y los objetos de la memoria —sean simbólicos, reales o imaginarios— nos permiten, a través del recuerdo, revivenciarlos, pues ocupan un lugar y un espacio en el tiempo: a “este pedazo de tierra” se le protege, cuida y ama porque nos pertenece, al menos desde lo simbólico. Así, la relación creada no solo es afectiva, sino también ética.



Imagen 1. Shamed Castañeda Ríos, trabajador del campo que supervisa la producción de cultivos de nopal mediante conocimientos ancestrales.

Imágenes 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. *Cultivos orgánicos*, serie de imágenes de nopaleras de la zona nororiente del Estado de México, Rancho El Nopal, Otumba, Estado de México. Fotografías de Hernández, A. (2023).

La serie de imágenes que se presentan pertenecen al área considerada de producción orgánica; esta es cuidada por Shamed Castañeda Ríos, jornalero que dedica su trabajo a mantener las terrazas de cultivo mediante la recuperación de saberes ancestrales. Shamed supervisa que la producción se lleve a cabo por métodos orgánicos que no afecten ni la tierra ni el producto.

Estos lugares de la memoria nos provocan experiencias estéticas, sentido de pertenencia, apropiación y arraigo. Marchant (2020) sitúa el pasado no como temporalidad sino como espacio.

Las imágenes expuestas por Velasco (1877,1910,1894-1905) en su recorrido por el Valle de México también establecen la relación afectiva con la tierra caminada, como

experiencia que detona en su obra, su pensamiento y su estar en el cerro de Santa Isabel. Así, la serie de lugares que recorre y en los que se posiciona para contemplar la vastedad de este territorio le permiten crear a partir del sentimiento por la tierra y el paisaje.

¿Es posible construir memoria del lugar? Sí, porque invariablemente la intervención humana, el tiempo, lo vivo y lo muerto dejan huella para quien recorre la tierra, los campos de cultivo, las nopaleras. El andar conecta con una experiencia estética totalmente sensorial y esto afecta desde lo sensible, construye pensamiento y lazos con los objetos que se encuentran. Esta experiencia de lo sublime nos permite recordar, rememorar y es cercana a la memoria.

Para que esa huella se convierta en memoria tiene que poseer un significado, un vínculo con lo observado y es meramente subjetiva. Si el paisaje es intervenido por lo humano, lo vegetal o animal, incluso lo que perece, deja un rastro en la memoria, como en el paisaje, porque toda experiencia deja huella. Esta doble acción en la que participa el creador y el receptor es infinita y recíproca; es también una práctica estética porque genera “formas de ser, de pensar y de sentir” (Rubiano, 2015: 34). Nos transformamos con el paisaje e, invariablemente, lo cambiamos con nuestra presencia; esta intervención crea unión con lo habitado y con el paisaje que lo habita; esto, a su vez, genera conexión.

¿Qué implica habitar el campo? ¿Habrá un retorno al origen? ¿Cómo se da la recuperación de la memoria, el aprovechamiento de los saberes ancestrales y cómo se vinculan? Después de la ruptura generacional que migró del campo a las ciudades se da un vuelco a partir de una generación que busca el retorno a lo rural para habitarlo. Este proceso implica resignificar el modo de vida, de la ocupación del espacio, del cuidado, del encuentro con lo propio y con lo otro. Las raíces, los ancestros, los cultivos, los ciclos, la naturaleza y los elementos permitirán el entendimiento con lo que hemos dejado atrás y que no es ajeno ni extraño; es de lo que formamos parte, es eso que nos sostiene en la tierra y nos ofrece sus espacios para la contemplación.

Es claro que no todos desean el retorno, de hecho, es continua la migración porque el campo no ofrece las condiciones de desarrollo deseables, pero, para quien sí, hay una vinculación desde lo afectivo y lo ético que deviene en la creación, intervención y recuperación del territorio. Para Rubiano (2015) hay prácticas estéticas que sirven de amalgama para generar cohesión a partir de las distintas relaciones que se generan con lo otro, en este caso: el suelo, la vegetación, los animales, los cultivos, etc. Desde

esta perspectiva, el campo es visto como generador de vida, como territorio que permite la intervención y la apropiación. Se trata de ocuparlo desde una perspectiva sostenible, pues no todas las ocupaciones son a partir de la recuperación, las hay también extractivas o destructivas y las que provocan graves problemas ambientales.

Byung Chul Han (2012) —en *La sociedad del cansancio*— propone la pedagogía del mirar como estrategia de resistencia ante el embate de la auto explotación, en un mundo en el que producir se da de forma desmedida y como parte del capitalismo tardío. No solo se trata de la sobreexplotación de los recursos naturales o humanos; estamos sujetos a ser “máquinas de rendimiento autista” (Han, 2012: 32): todo el tiempo estamos agotando recursos propios en miras a ser eficientes, aceptados y aprobados. ¿Qué puede detener esa eficientización del ser desde la positividad<sup>2</sup> de la que habla Han? La respuesta está en contemplar, en estar sin hacer, sin producir, en no hacer: habitar el espacio sin dejar la menor huella que afecte.

Ante la imposibilidad de no dejar huella queda la transformación desde la sostenibilidad para provocar el menor daño posible al entorno y re-aprovechar todo lo que se desecha. Incluso, en el paisaje como estética del lugar, los desechos son huellas que dan matiz al territorio y lo hacen único. Aunque esta pueda ser una condición de pérdida para el agricultor, para la estética y para memoria del lugar no lo es.

Para Shamed Castañeda Ríos, jornalero de la Cooperativa Frutos Orgánicos Selectos, habitar el territorio es transformar el paisaje del Valle de Teotihuacán en terrazas con cultivos de nopal propios de la región y acompañarlas con vegetación endémica, así como crear estéticas verdes, marrones o multicolor. Para lograr lo anterior, es necesario emplear saberes ancestrales que se complementan con los propios y con los de otros agricultores del lugar. Su experiencia en la zona chinampera de Xochimilco le permite experimentar o ensayar en el manejo y arraigo de la vegetación, lo que permite salvaguardar las técnicas heredadas entre las familias de agricultores de ambas regiones.

---

<sup>2</sup> Para Han (2012), la *positividad* es el exceso que nos conduce a una sociedad de individuos agotados, frustrados y deprimidos. Para él, somos víctimas de un verdugo que somos nosotros mismos: sujetos disciplinados a producirnos todo el tiempo, a esclavizarnos, sin tiempo para la contemplación y para el descanso. <https://www.ideasimprescindibles.es/sociedad-del-cansancio/#:-:text=Seg%C3%BAAn%20Byung%2DChul%20Han%2C%20el,para%20someter%20a%20la%20poblaci%C3%B3n.>

Dejar de producir de manera eficiente mediante grandes volúmenes permite voltear la mirada a la agricultura de los saberes tradicionales y es una manera de reinterpretar la realidad desde el espacio en el que Castañeda Ríos se sitúa: “al dignificar la vida, todos ganamos, es tiempo de recuperar y de mirar las consecuencias de un ejercicio desmesurado de técnicas de producción que no respetan los tiempos de la tierra”. Su trabajo le permite, desde la experiencia de saberes compartidos con otros agricultores de la región, incorporar las experiencias que aporten conocimiento y que permitan vincularse con la memoria del lugar. Su práctica es la del andar la tierra y sentirla; esta *performatividad* es por la recuperación de la tierra y la apuesta por la producción orgánica.

Cuando se habla del compromiso por reintegrar lo sustentable a las prácticas cotidianas como un estilo de vida y de integrar técnicas que no alteren los ciclos de la tierra, las nuevas generaciones recuerdan a los abuelos y recuperan sus vínculos con el campo, los animales y la naturaleza, todo esto conforma una memoria del lugar y una memoria personal. Hay objetos asociados a esta memoria como: pala, pico, sombrero, guantes de carnaza, cierto tipo de calzado, carretilla, burro, caballo o los perros que nos recuerdan objetos y son sujetos de la memoria.

Cada objeto vinculante posee un ordenamiento y un modo de ejecutarse, solo la experiencia y la observación permiten conectarse con esa memoria; esos territorios y ese orden que se vio afectado por la producción a gran escala. La experiencia del campo y de trabajar las terrazas de nopales permite a Castañeda Ríos conectarse con sus abuelos, también con el ser mexiquense y teotihuacano; asimismo, le da sentido y posibilidad de significación con lo ancestral. Son los recuerdos de su infancia —con el abuelo— lo que le hace tener huella de lo que le es posible recuperar. Castañeda Ríos, como otros, pertenece a una nueva generación del retorno y hace de esta acción lo cotidiano.

## SEGUNDA CARTOGRAFÍA, LA FÁBRICA

Todo el año se cultiva nopal en la zona nororiente del Estado de México y de forma intensiva durante los meses de abril a septiembre. Las prácticas agronómicas más comunes son: poda, cajeteo, riego, control de insectos, enfermedades y malezas, así como fertilización y tapado, lo anterior de acuerdo con Flores et al. (2023: 215). Estas

acciones transforman el paisaje nopalero de la región y hacen posible la transformación de los sujetos, quienes invariablemente lo transforman con su presencia, dejando huella.

A seis kilómetros de distancia, entre los paisajes orgánicos de nopaleras, está el área de cultivo de producción no orgánica; se trata de vastos espacios dedicados al cultivo de cactáceas de producción de nopal verdura. Estos lugares de la memoria nos recuerdan que hay otras formas de habitar el campo. En junio de 2023, en México, se presentaron ondas de calor inusual,<sup>4</sup> de hasta 32°C (CNPd, 2023), como consecuencia del cambio climático, lo anterior de acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres; clima que afectó la realización de actividades al aire libre bajo el sol, por lo que la cosecha del nopal verdura y tuna no se vieron afectadas, pues los jornaleros mantuvieron el paisaje con las características propias de un área destinada a la producción a mayor escala.

Los paisajes de este predio son más austeros en cuanto a color y menos abundantes de vegetación, pues son cultivos controlados con químicos que previenen plagas de origen animal o vegetal. Su estética monocromática, escasa de texturas y formas, otorga una linealidad en el paisaje entre surco y surco que da homogeneidad al cultivo, además de que algunos están protegidos con plástico para invernadero, que cubre y protege de agentes externos o patógenos que dañan, que pueden provocar enfermedades o afectar la producción.

---

<sup>4</sup> Una onda de calor es un periodo de más de dos días consecutivos con temperaturas extremas que rebasan el umbral promedio de la temporada. Son favorecidas por un sistema de alta presión, lo que provoca que disminuya la humedad y las lluvias (CNPd, 2023).



Imágenes 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. *La fábrica*, jornaleros trabajan en las nopaleras de la zona nororiente del Estado de México, San Pablo, San Martín de las Pirámides, Estado de México. Fotografías de Hernández, A. (2023).

Los jornaleros que laboran en el predio San Pablo, ubicado en San Martín de las Pirámides en el Estado de México, también forman parte del paisaje austero. Sus recuerdos e historia familiar están vinculados a la producción de nopal verdura y tuna en los estados de México, Hidalgo y Puebla. Ellos cuentan que de niños ayudaban a acomodar las cajas, en la cosecha, que aprendieron a seleccionar los mejores productos y que, con el tiempo, su experiencia fue mejorando.

Hay pocos cambios en los métodos de cosecha y producción, no así en las condiciones de vida y desarrollo. Las dimensiones económicas, sociales y ambientales, en las dos últimas décadas, han afectado el estilo de vida; desde su experiencia, “eso es lo único que ha cambiado”. ¿Cómo afecta este sentir en la relación que se establece con el lugar de la memoria? Sin duda, hay afectación, pues el vínculo que se forma

es distinto y lo eso hace diferente al paisaje. Hay mayor intervención humana y de agroquímicos para lograr establecer estándares de producción. Esta lucha por querer mantener a raya las plagas, las enfermedades o los agentes externos, como el clima, afectan la tierra y al producto.

Si la tierra posee singularidad, los métodos que se emplean para la producción a gran escala son homogéneos y terminan por limitarla o agotarla. Esta obsesión, como en *La sociedad del cansancio* (Han, 2012), paradójicamente provoca que la tierra enfrente disminución en la productividad y que las cactáceas se muestren proclives a enfermedades y a afectaciones, como ocurre con los humanos, al ser sometidos a altos estándares de calidad en su afán por ser más productivos. Como consecuencia, se presentan problemas ambientales ocasionados por la sobreproducción en el uso y abuso de los agroquímicos, sumado a las afectaciones a la salud humana.

Hay una estrecha relación entre los jornaleros y el campo en el que trabajan. Sin que su diseño esté pensado como paisaje, hay formas, colores, texturas, proporciones y composiciones que le confieren al campo una estética propia. Incluso así, cada espacio posee su singularidad, aunque esté dirigido a lograr mayor productividad.

La fábrica debe su nombre a que se trata de una denominación subjetiva por su extensión, porque está destinada a la producción a escala y a que adquiere dimensiones culturales, estéticas, laborales, sociales y vivenciales. Si bien invita a la contemplación, es su carácter social el que le da un rasgo distintivo y simbólico. Los trabajadores que la procuran poseen cualidades diversas. Hay un componente generacional que es importante considerar, los experimentados (entre los 35 y 45 años) y los jóvenes (entre los 15 y 21 años), que le confieren a la tierra rasgos particulares difíciles de percibir.

Para los experimentados, el cuidado de la tierra y del producto es parte fundamental del trabajo. La actividad que realizan la aprendieron desde pequeños, siguiendo e imitando a sus padres. Esto no ha cambiado mucho, porque, incluso, ellos enseñan a sus hijos. En general, la importancia del agricultor que rescata técnicas ancestrales que prevalecen por su vigencia o porque no afectan la tierra no es valorada. El trabajo de recuperación de conocimientos y saberes también deviene en la creación del paisaje, la jardinería, en el manejo de la vegetación y la regeneración del suelo, ya que esto también hace posible pensar, sentir y ser parte del paisaje.

Para los jóvenes, la memoria del lugar se escribe en el presente y va conformando saberes sobre la tierra, sus cultivos, los ciclos, las podas, la cosecha, entre otros conocimientos sobre el manejo y desde la sustentabilidad. Lo anterior es mirar hacia

el futuro, desde la deconstrucción de los monocultivos, sus prácticas extractivas y depredadoras. Así, los cultivos orgánicos aparecen como resistencia ante las prácticas extractivas y de producción a gran escala.

Para Carlos Alonso Ramos Alva, de 15 años, originario de Santiago Tolman, Otumba —quien corta y escoge el nopal más bonito—, esta práctica va conformando memoria y arraigo con la tierra. Humberto Calderón, de 19 años, de los cuales lleva dos trabajando para Frutos Selectos —y quien solo concluyó la primaria y está casado—, esta es la oportunidad para mantenerse él y su esposa. Su esposa tiene 16 años y trabaja en la misma empresa, empacando el producto. Los dos son originarios de Hidalgo.

De igual manera Sergio Solís, de 21 años, oriundo de Puebla, y que entre semana se queda con los tíos, se ayuda con sus gastos. José Miguel, en cambio, tiene 14 años, solo lleva medio año trabajando para la empresa; pretende concluir sus estudios de secundaria en el sistema abierto; es originario de Puebla y, por el momento, vive en San Pablo, Otumba, con sus parientes. Ellos, al igual que Shamed Castañeda Ríos, trabajan, cuidan, procuran el encuentro y el arraigo con la tierra. Que cada año decidan regresar dependerá de los vínculos creados con el campo o de lo que les pueda significar el lugar, así como del sentido de pertenencia. Aunque solo sean empleados eventuales, forman parte de los sujetos de la memoria de Frutos Orgánicos Selectos.

### TERCERA CARTOGRAFÍA, EL PORVENIR

La experiencia en contemplar y andar en el paisaje como producción de significado para pensar, sentir, estar o habitar el espacio verde contempla para Frutos Selectos un proyecto de *spa* y temascal que permitirá conectar con el lugar y ofrecer una experiencia de turismo rural que implique la integración con el lugar. Esta área, ubicada en un espacio indefinido y virginal, se mantiene abierta a toda posibilidad.

La idea es que el temascal y el *spa* inviten a la contemplación, al ocio, a hallar la paz, a dejar de hacer y al disfrute o gozo; el deshacer la demanda de productividad conduce a mirar hacia el futuro y hacia la sustentabilidad, considerando la integración como otra forma de habitar el lugar.

La contemplación, como el no hacer, es vista como improductiva dentro de un capitalismo que exige la auto explotación. Han (2012), en *La sociedad del cansancio*,

reflexiona en la forma de estar en el mundo, en la que los sujetos terminamos esclavizados de nuestras propias necesidades y deseos insaciables por tener, querer y ser. Así, es posible que la resistencia verde sea una posibilidad ante el embate capitalista. ¿Qué nos ofrece la zona semiárida del Valle de Teotihuacán?: un esquema de integración desde lo sustentable, contemplando la bioconstrucción para no dejar huella; retomar los saberes ancestrales para el cultivo y la preservación de éstos; también, otras formas de visibilizar, de estar y de habitar el paisaje, que incluso puedan apuntar a cinco objetivos de la Agenda 2030, entre estos: Hambre cero, Salud y bienestar, Producción y consumo responsable, Acción por el clima y Vida de ecosistemas terrestres. De esta manera, el proyecto propuesto será integral, recuperará la *performatividad* de andar la tierra con conciencia y permitirá contemplar la naturaleza del paisaje.

El proyecto pretende invertir en cultura, conocimiento, apreciación estética y desea beneficiar al equipo humano que lo mantiene y preserva; proyecto que pueda ofrecer alternativas a la fisioterapia, a la terapia psicológica o al aula abierta y donde se puedan impartir clases desde otras pedagogías y formas de conocimiento; hacer conexiones con los espacios abiertos, cuidar el paisaje, mantenerlo limpio y pensar en otros valores agregados a la tierra.



Imágenes 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23. *El porvenir*, distintas escenas de nopaleras en la zona nororiente del Estado de México. Rancho El Nopal, Otumba, Estado de México. Fotografías de Hernández, A. (2023).

Por otra parte, es de resaltar la importancia en la recuperación del desecho como huella y alimento de la tierra; así, las plagas, las plantas muertas o enfermas pueden indicar que no solo lo bello es parte del paisaje, sino también lo que no se quiere mostrar o ver. Todas estas cualidades del paisaje representan vestigios que narran y significan, que dotan de identidad al lugar: de memoria. Son también parte de la geografía del lugar y significan, para toda disciplina, un objeto de estudio. Las historias sobre las cactáceas, la tierra y la huella del hombre generan vínculos con el espacio, pero también son significativas para quien visita o contempla esos paisajes de cactáceas.

De esta manera, la producción orgánica de maíz, calabaza, chile o tunas nos permite recuperar el conocimiento desde otra perspectiva u otras miradas sobre las formas de habitar el campo. La naturaleza nos da tranquilidad y paz; sentir el viento,

la tierra y el agua son aspectos que se convierten en ganancias, en un plus. Así, generar conciencias, no para el consumo, sino para identificarse con el otro (naturaleza/ animales), representarse y encontrarse en él, es un primer retorno a lo natural. Asimismo, caminar la tierra, como práctica estética, devuelve el paisaje de lo olvidado; es una forma de recuperar lo perdido y es necesario para construir memoria; habitar el territorio desde otro enfoque más afectivo y menos destructivo nos aproxima a la contemplación activa como práctica estética de intervención en el paisaje.

## CONCLUSIONES

Los paisajes de cactáceas propios de la zona nororiente del valle de México, inmortalizados por Velasco, son irremediablemente paisajes de la memoria, aún con sus plagas nocivas y sus malezas, porque desde lo afectivo, desde el pensar y el estar, constituyen una estética que invita a la contemplación. Quizá las malezas y plagas puedan resultar un problema de tipo agrario en la producción a gran escala, pero son también paisajes habitados por estas especies.

Si la estética propone otras formas de sentir, de pensar y de estar en los espacios o lugares de la memoria, donde lo bello es la antesala de lo que se esconde —pensando en los campos de monocultivos contra la diversidad que ofrece la milpa—, hay otras cosas que se ocultan o permanecen vedadas, como las consecuencias para la salud de la tierra o de los humanos en el uso de los agroquímicos; esconden también las condiciones sociales y limitantes en el desarrollo de los trabajadores, que no es nueva, sino que ha prevalecido por siglos.

Por otra parte, contemplar el paisaje invita a mirar hacia atrás, hacia los saberes ancestrales de cuidado y encuentro con lo otro (la naturaleza, el campo), donde el arraigo permite identificar y amar la otredad, solo así es posible procurarla.

La belleza del paisaje no solo está en ese otro que es la naturaleza, el campo y sus especies animales, también está en su gente, otredades que labran los campos sin llegar a romantizar su condición. La Agenda 2030, que comprende el objetivo *fin de la pobreza*, tendrá que ser considerada como parte de la sustentabilidad no solo de los que habitan la tierra, sino también de quienes la trabajan. Para lograrlo, es pertinente trabajar el nosotros, hacer comunidad en el espacio y permitirse habitarlo de manera creativa, significativa, libre y socialmente igual.

## REFERENCIAS

- Arenque, L. (2007, mayo). “Estética del paisaje”. Ponencia. Universidad de los Andes Venezuela. Mérida. Consultado en: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/20405/ilian\\_araque.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/20405/ilian_araque.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENPD, 2023, junio). “23 entidades del país esperan temperaturas superiores a 40°C”. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/14-entidades-del-pais-con-temperaturas-superiores-a-40-c?idiom=es>
- Flores, D., Reyes, A., Navarro, H., Pérez, M. y Almaguer, G., (2023). “Características y retos del sistema de cultivo de nopal verdura en Cuautlancingo, Otumba”. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(12). Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- García, M. (2014, septiembre-diciembre). “Los territorios de los otros: memoria y heterotopía”. *Cuicuilco*, 21(61), 333-352. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35135452015>
- Han, B. (2012). *La sociedad del cansancio*. Herder.
- Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura (2019, julio). “Los paisajes de José María Velasco, símbolo de la identidad nacional”. Boletín No. 1012. Disponible en: <https://inba.gob.mx/prensa/12554/los-paisajes-de-jos-eacute-mar-iacutea-velasco-s-iacutembolo-de-la-identidad-nacional->
- Mansur, J. (2017). Habitar la ciudad. *Revista de filosofía Open Insight*, VIII(14), 9-24, Centro de Investigación Social Avanzada. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4216/421652093002/html/>
- Marchant, M. (2020). “Memoria, territorio y experiencia. Reflexiones a partir del pensamiento de W. Benjamin”. *Hermeneútica Intercultural*, 34, 91-113. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7975795.pdf>
- Nora, P. (2008). *Les lieux de mémoire*. (Laura Masello, trad.), Ediciones Trilce: 19-48. Disponible en: [https://www.academia.edu/36328845/PIERRE\\_NORA\\_Les\\_lieux\\_de\\_m%C3%A9moire?email\\_work\\_card=title](https://www.academia.edu/36328845/PIERRE_NORA_Les_lieux_de_m%C3%A9moire?email_work_card=title)
- Rubiano E. (2015). “Arte, memoria y participación: ¿dónde están los desaparecidos?”. *Hallazgos*, 12(23): 31-48. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413838649002>



# DIFUSIÓN CIENTÍFICA



# COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL NOPAL Y SU IMPACTO SOBRE LA SALUD

*Alexis Ayala Niño<sup>1</sup>*

*José Antonio Sánchez Franco<sup>2</sup>*

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino, menos de 50% de los mexicanos consumen vegetales diariamente (Gaona et al., 2018). González (2018) reportó que el consumo per cápita de frutas y verduras en México se encuentra en niveles bajos, entre 220 y 300 g, cuando las recomendaciones para el consumo de estos alimentos, según la Organización Mundial de la Salud, debe ser mínimo 400 g diarios, esto con el objetivo de tener beneficios a la salud (WHO, 2019).

Los beneficios a la salud de las frutas y verduras se deben principalmente a los compuestos minoritarios en alimentos de origen vegetal, comúnmente conocidos como compuestos bioactivos. Las plantas cuentan con dos tipos de metabolitos: los primarios, los cuales son necesarios para las fases de desarrollo y madurez de la planta, en la que se encuentran los carbohidratos, proteínas y lípidos; y los metabolitos secundarios, los cuales se ven involucrados en la supervivencia de la planta (Avinash y Nandan, 2022).

Los metabolitos secundarios son conocidos como compuestos bioactivos y pueden clasificarse de forma genérica en tres grandes grupos: los terpenoides (carotenoides, capsaicina y fitoesteroides); compuestos fenólicos (antocianinas, catequinas flavonoides, isoflavonas, lignanos y taninos) y los tioles (compuestos organosulfurados) (Pai et al., 2022).

---

<sup>1</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: [jasanchezf@uaemex.mx](mailto:jasanchezf@uaemex.mx)

Estos compuestos son biológicamente activos y no se consideran nutrientes esenciales para la vida, aunque con el conocimiento actual sobre alguno de ellos y sus propiedades saludables o de reducción de riesgo de enfermedad por parte de instituciones internacionales —como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y de la Unión Europea— podrían cambiar en un futuro de categorización ya que, por análisis clínicos realizados en humanos, cada vez están determinándose más —a nivel individual y comunitario— sus efectos positivos en la salud humana. Estas sustancias fitoquímicas se encuentran naturalmente en las plantas: frutas, verduras, hortalizas, legumbres, granos enteros, frutos secos, semillas y especias (Urrialde et al., 2022).

Por lo anterior, es importante conocer los compuestos bioactivos presentes en alimentos vegetales endémicos, esto para incrementar su consumo y, con ello, mejorar la salud de la población. En México, el nopal es un alimento endémico, el cual en los últimos 10 años ha registrado una tendencia hacia el incremento en su producción (5.1%) y consumo (6.4 kg per cápita). Este incremento se debe, en gran parte, a los descubrimientos de sus propiedades biológicas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Dichas propiedades se verán plasmadas en el siguiente capítulo, donde se explicarán las propiedades y los compuestos que hay en el nopal, que son responsables de su actividad sobre la salud del consumidor.

## CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes son compuestos que pueden inhibir la capacidad reactiva de radicales libres y especies reactivas del oxígeno, ello al momento de donar uno o más electrones para contrarrestar la cualidad impar de los agentes oxidantes, limitando de esta manera el daño al ADN de las células (El-Hawary et al., 2020). Varias enfermedades y condiciones de salud en humanos están relacionadas con el estrés oxidativo, incluido el cáncer, la inflamación, la diabetes, el envejecimiento, las enfermedades neurodegenerativas, entre otras (Van Wyk y Wink, 2017).

Existen diversos productos vegetales comestibles que contienen diferentes concentraciones de compuestos antioxidantes, como los compuestos polifenólicos, entre ellos se pueden mencionar los frutos rojos (Sánchez et al., 2019), la naranja (Zeghad et al., 2019), el nopal (Alqurashi et al., 2022), entre otros. Dichas sustancias

pueden depender de la especie y género botánico, por lo que es de suma importancia conocer su composición para relacionar su contenido con la mejora de ciertas enfermedades.

El nopal contiene diferentes compuestos bioactivos que también dependen de la parte del tejido vegetal en específico, en donde se puede encontrar su fruto (pulpa, cáscara y semillas), cladodio, flor y tronco (Valente et al., 2010). Las diferentes partes que componen el nopal pueden contener diversos compuestos bioactivos, como ácidos grasos, polifenoles, flavonoides, pigmentos, betaxantinas y betalainas (Ammar et al., 2015), sustancias que presentan una capacidad antioxidante importante para contrarrestar los efectos dañinos de los radicales libres, formados en la población debido al consumo de alimentos procesados, el sedentarismo y los malos hábitos.

Se han realizado estudios en los que se ha reportado el contenido y la concentración de las sustancias antioxidantes en el nopal y se han relacionado con ciertas enfermedades. En la Tabla 1 se muestran estos hallazgos.

**Tabla 1. Sustancias antioxidantes identificadas en el *Opuntia spp.* y su efecto**

<i>Material vegetal</i>	<i>Compuestos antioxidantes</i>	<i>Potencial/actividad</i>	<i>Parte vegetal</i>	<i>Referencias</i>
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Ácido linolénico, oleico, linoleico, palmítico y esteárico. Tocoferol, campesterol y estigmasterol. Compuestos fenólicos.	Antioxidante, antiviral, antifúngico, antibacterial y anticancerígeno.	Aceite de semilla	Alqurashi et al., 2022.
<i>Opuntia ficus-indica</i>	17-hidroxibetanina. Compuestos fenólicos, taninos, flavonoides y betaninas.	Antioxidante y anticancerígeno.	Cáscara de nopal	Abou-Elella et al., 2014.
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Betalainas, betaninas, betacianina.	Antioxidante, anti proliferativo en leucemia mieloide crónica humana.	Fruto	Devalraju et al., 2007.
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Fenoles, flavonoides, flavonoles y betalainas.	Antioxidante, anticancerígeno (línea celular P-815, células tumorales).	Pulpa y jugo de fruto	Dehbi et al., 2013.

Continúa...

<i>Opuntia ficus-indica</i> y <i>Opuntia robusta</i>	Betacianinas, flavonoides (isorhamnetina), ácidos fenólicos (ácido ferúlico).	Antioxidante, anti proliferativo (línea celular HT29 en carcinoma de colon) y anticancerígeno.	Residuo de jugo del fruto	Serra et al., 2013.
<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill	Ácidos fenólicos y kaempferol.	Antioxidante, quimiopreventivo, anticancerígeno (líneas celulares de cáncer de próstata y mama).	Cladodio	Heikal et al., 2021.

**Nota:** Elaboración propia con información de las referencias citadas en la tabla.

Como se ha mostrado en la Tabla 1, se han publicado estudios en los que se ha empleado al *Opuntia ficus-indica* y variedades, como opción para su uso y como tratamiento coadyuvante en patologías que cursan procesos inflamatorios, carcinogénicos y degenerativos (Tilahun y Welegerima, 2018; El-Hawary, 2020; Tahri et al., 2022) en los que claramente el nopal, en sus diferentes partes o composición vegetal, ofrece gran identificación y variedad de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, lo cual podría gestionar su consumo para ser beneficiario de sus propiedades.

## EFEECTO ANTICANCERÍGENO

El cáncer es una enfermedad que se caracteriza por la multiplicación rápida de células anormales que pueden invadir órganos y sistemas. Esta enfermedad es multifactorial con efectos negativos sobre la salud y tiene repercusiones en aspectos económicos, psicológicos y físicos (WHO, 2020). Las causas más frecuentes se encuentran desde el tabaquismo, consumo excesivo de bebidas alcohólicas y la alimentación como vehículo de la ingesta de virus, bacterias y parásitos, organismos responsables del desarrollo de carcinomas en el ser humano (Serra *et al.*, 2013).

Se han identificado diversos carcinomas, entre los más frecuentes o con mayor prevalencia se enumeran el cáncer de mama, pulmón, colon, próstata, piel y gástrico. En estadios no controlados puede ocurrir una metástasis, situación que empeora la condición física del individuo enfermo (WHO, 2020).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*), en sus variedades, ha sido objeto de estudio para la extracción, concentración y empleo de los compuestos bioactivos que contiene su tejido vegetal y sus partes: flor, fruto y cladodio, que han demostrado efectos positivos en los estudios antiproliferativos, en líneas celulares y carcinomas, realizados por investigadores alrededor del mundo (Antunes et al., 2015; El-Beltagi et al., 2019; Heikal et al., 2021).

En un estudio realizado por Becer et al. (2018), en el que emplearon el aceite de las semillas de la tuna, encontraron una concentración importante de ácidos grasos, entre ellos el ácido oleico, palmítico y eláidico, que fueron probados en líneas celulares de adenocarcinomas colónicas. En dicho estudio se demostró que el aceite de las semillas tuvo efectos positivos sobre las líneas empleadas (Colo-320 y Colo 741), ya que se logró disminuir el número viable de las células estudiadas, con posibles efectos anticancerígenos en el adenocarcinoma de colon debido a la inducción de apoptosis de las mismas.

Ali et al. (2022) realizaron un cribado *in vitro* de los compuestos fitoquímicos de la cáscara del nopal, en donde sus principales hallazgos fueron la concentración de compuestos con capacidad antioxidante (polifenoles y flavonoides), anti proliferativa y antibacterial. En su estudio, probaron que el *Opuntia ficus-indica* logró reducir la viabilidad celular de células cancerosas, de la misma manera, se probó una alta inhibición bacteriana y vírica contra *Listeria monocytogenes* y rotavirus, respectivamente, aunque se necesitan estudios *in vivo* para validar las aplicaciones farmacológicas.

Por último, en el estudio efectuado por Jaganathan y Sithique (2023) con la pulpa del fruto del nopal evaluaron actividad anticancerígena en líneas celulares de hueso (MG63) y células normales (L929); además, se probaron propiedades antibacterianas y antioxidantes. Los resultados de la actividad anticancerígena revelaron que los compuestos de la pulpa tuvieron un papel importante en contra del cáncer analizado; igualmente, se dedujo que la capacidad antioxidante y antibacteriana pudo deberse al contenido de diversas biomoléculas encontradas en la pulpa de la tuna, las cuales se encuentran enlistadas en la Tabla 1.

Si bien muchos estudios pueden comprobar la eficacia del uso del nopal y sus derivados en la aplicación de ensayos, se necesitan estudios *in vitro* e *in vivo* complementarios para cada caso particular ya que, como se sabe, el cáncer, al ser una enfermedad ocasionada por muchos factores, se necesita también de los cambios en los hábitos de alimentación, la realización de actividad física cotidiana y eliminar

toxicomanías para lograr una homeóstasis, mayormente en las personas que tienen factores de riesgo.

## EFEECTO ANTIDIABÉTICO

La diabetes tipo 2 es una enfermedad metabólica crónica no transmisible que se desarrolla cuando el páncreas no secreta suficiente insulina o cuando el organismo no la utiliza eficazmente. La insulina es una hormona secretada por el páncreas (células  $\beta$ ) que regula la concentración de glucosa en la sangre. Un efecto común de la diabetes es la presencia de niveles elevados de glucosa en sangre que, con el tiempo, puede dañar órganos y sistemas (WHO, 2019). Un factor de riesgo para desarrollar diabetes es el exceso de masa corporal derivada de una alimentación inadecuada y también una vida sedentaria.

La diabetes es una de las principales causas de trastornos micro y macro vasculares, en los que se incluyen enfermedades cardiovasculares, ceguera, insuficiencia renal, entre otras. La hiperglucemia puede incrementar sus complicaciones y derivar en mortalidad prematura inclusive en poblaciones jóvenes (OPS/OMS, 2019). La diabetes puede tratarse y, de alguna manera, se pueden evitar o retrasar sus efectos mediante ejercicio físico cotidiano, sobre todo con la dieta correcta y el uso de ciertos productos vegetales, como es el caso del nopal (*Opuntia spp.*) y sus productos.

Se han realizado diversos estudios *in vitro* e *in vivo*, en los que se reportó el contenido y la concentración de las sustancias bioactivas contenidas en el nopal (*Opuntia spp.*) y su relación con ciertas condiciones en la diabetes, como control glucémico e hiperglucemia, concentración de insulina, entre otros. En la Tabla 2 se muestran los principales resultados reportados.

**Tabla 2. Sustancias presentes en el *Opuntia spp.* y su efecto antidiabético**

<i>Material vegetal</i>	<i>Compuestos bioactivos</i>	<i>Actividad/efecto</i>	<i>Parte vegetal</i>	<i>Referencia</i>
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Indicaxantina y neonetanina. Isorhamnetina, quercetina, kaempferol, dihidrokaempferol y dihidroquercetina.	Reducción significativa de glucosa sanguínea e insulina plasmática. El análisis histopatológico mostró que mejoró la morfología de los islotes pancreáticos y la inmunohistoquímica, los islotes pancreáticos aparentemente aumentaron la producción de insulina y el número de células $\beta$ .	Complejo o extracto del cladodio	Yoon et al., 2011.
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Carbohidratos (fibra soluble e insoluble) proteínas y grasas contenidas en el nopal.	Reducción de la glucosa en sangre posprandial, la insulina sérica y los picos de péptidos insulínotropicos dependientes de glucosa en plasma, así como aumento de la actividad antioxidante en pacientes con diabetes tipo 2.	Cladodio deshidratado y cladodio al vapor	López et al., 2014.
<i>Opuntia ficus-indica</i> L. MILL.	Ácidos grasos poliinsaturados, tocoferoles, polifenoles y carotenoides.	El consumo del aceite de semilla de tuna exhibió un efecto sobre la capacidad antioxidante. Además, disminuyó la hiperglucemia y muerte de los sujetos de estudio; el estudio en páncreas reportó un efecto protector significativo de los islotes de langerhans.	Aceite de semilla de tuna	Berraouan et al., 2015.
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Fibra dietética total, fibra dietética soluble e insoluble.	El extracto acuoso del nopal disminuyó significativamente la concentración de glucosa en la sangre, comparado con el grupo control. Inhibición de la actividad de $\alpha$ -glucosidasa. El extracto seco del nopal tuvo efecto sobre la tolerancia a la glucosa en el modelo con dieta alta en grasa.	Extracto acuoso de nopal y nopal deshidratado	Hwang et al., 2017.

Continúa...

Opuntia littoralis	Taninos, carbohidratos y glucósidos. Flavonoides, esteroides y terpenos. Isoflavonas, kaempferol y luteína.	El extracto de la tuna mostró un efecto antidiabético por la inhibición de la $\alpha$ -glucosidasa. Se presentó disminución de los niveles de glucosa en la sangre, así como un aumento en los niveles de GSH en el hígado, obteniendo una inhibición de la lipoperoxidación del tejido adiposo pardo y una regeneración de las células $\beta$ pancreáticas.	Cladodio y extracto de la tuna	El-Moaty et al., 2020.
--------------------	---	--	--------------------------------	------------------------

Nota: Elaboración propia con información de las referencias citadas en la tabla.

Como se ha visualizado en la Tabla 2, se han publicado estudios en los que se empleó al *Opuntia* spp. como tejido vegetal en la diabetes y en sus trastornos, en donde el nopal, su gran contenido de compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante presentaron efectos positivos en la concentración de glucosa, así como efectos directos sobre el páncreas y en la producción de insulina. Por lo anterior, sería importante gestionar el consumo cotidiano del nopal y de sus productos en el tratamiento de la diabetes y de sus posibles complicaciones.

#### EFEECTO CARDIOPROTECTOR

De acuerdo con las estadísticas, en 2021 en México, existieron cerca de 220 mil fallecimientos debido a enfermedades cardiovasculares, siendo la más común el infarto al miocardio. Dichas enfermedades son prevenibles o controlables, esto limitando sus factores de riesgo, como el tabaquismo, la presión arterial alta, el colesterol elevado y la diabetes no controlada (Secretaría de Salud, 2022). Cabe destacar que existen fármacos para el control y el tratamiento de estas enfermedades, sin embargo, como todo medicamento, presentan efectos adversos no deseados, en los que destacan mareos, presión arterial baja, cambios en la función renal, aumento en los niveles de potasio e hinchazón en labios o garganta (Rosselo et al., 2015). Debido a lo anterior, se han buscado alternativas que sean más seguras para los consumidores de este tipo de medicamentos, entre los que destacan el ginkgo biloba, el amaranto y otras plantas, como el nopal (Badore et al., 2017, Ayala et al., 2020).

Los efectos cardioprotectores pueden ser diversos y destacan aquellos que ayudan a controlar dislipidemias, control de la presión arterial, disminución de peso en pacientes con sobrepeso u obesidad, disminución de estrés oxidativo y mejora de la función endotelial, efectos que han sido estudiados en el nopal. En distintos estudios realizados se ha encontrado que algunos compuestos del nopal, como las betalainas (pigmentos naturales de las tunas) y los compuestos bioactivos de la penca del nopal, logran mejorar la función endotelial gracias a distintos mecanismos, en los que destacan la actividad antioxidante de sus pigmentos, los cuales ayudarían a disminuir el estrés oxidativo y la oxidación lipídica (inhibiendo NF- $\kappa$ B) que daña los vasos sanguíneos; también ayudan a regular la hiperuricemia y al aumento de la biodisponibilidad del óxido nítrico (Gentile et al., 2006; Attanzio et al., 2019; Chekkal et al., 2020).

En otros estudios se han observado resultados prometedores en concentraciones séricas de biomarcadores de interés cardiovascular, como la disminución del colesterol y de lipoproteínas de baja densidad. Ressaissi et al. (2020) elaboraron un extracto acuoso utilizando penca de nopal, con el cual observaron que los transportadores de colesterol de las células HepG2 podían ser moduladas, siendo los fenoles encontrados en el extracto el principal compuesto responsable de la bioactividad. Al mismo tiempo, Giglio et al. (2020) adicionaron un extracto acuoso de penca de nopal a un alimento base de la cocina italiana: la pasta. Observaron que, al adicionar 3% de extracto acuoso de penca de nopal —que contenía 30% de polisacáridos insolubles y antioxidantes— a 500 g de pasta a la semana, en un periodo de un mes, se podía tener efectos positivos a la salud del consumidor, en los que destacaron la disminución de la circunferencia de la cintura y triglicéridos, creatinina y lipoproteínas de baja densidad, lo que se traducía en una mejor salud cardiovascular.

Debido a los estudios mencionados anteriormente, se puede decir que los distintos compuestos bioactivos del nopal —en los que destacan sus pigmentos, compuestos fenólicos y polisacáridos— son importantes para mejorar indicadores propios de la salud cardiovascular de los consumidores.

## POTENCIAL ANTIMICROBIANO

El potencial antimicrobiano de distintas plantas es una actividad buscada ampliamente, esto debido principalmente a la actual emergencia sanitaria que se tiene por las cepas resistentes a antibióticos. Es por ello que, en distintas investigaciones, se ha vislumbrado el potencial antimicrobiano que tiene el nopal, no solo en la penca, sino también en los aceites obtenidos de su semilla. Cabe destacar que existen múltiples métodos de extracción para la obtención de sus compuestos antimicrobianos, en los que destaca la extracción por disolventes.

En la Tabla 3 se enumeran algunos estudios en los que se especifica el tejido utilizado (penca, fruto, semillas), método de extracción, bacterias inhibidas y no inhibidas y dosis utilizadas.

**Tabla 3. Evaluación de actividad antimicrobiana en distintos tejidos del nopal**

Tejido utilizado	Método de extracción	Bacterias	Dosis	Referencia
Pencas maduras e inmaduras	Metanol 80% Penca deshidratada 20%	* <i>Escherichia coli</i> * <i>Salmonella typhimurium</i> and* <i>Enterobacter aerogenes</i>	2000 µg/mL de extracto de penca madura	Blando et al., 2019.
		<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Enterococcus faecalis</i> )	1500 µg/mL de extracto de penca inmadura	
			1500 µg/mL de extracto de penca madura	
			100 µg/mL de extracto de penca inmadura	
Fruto	Metanol y acetato de etilo 100 mL de jugo de fruta con 300 mL de disolvente	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Candida albicans</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Escherchia coli</i>	Se midió la zona de inhibición utilizando 100 mg/mL de extracto. Obtuvieron mejores resultados con extracto de metanol.	Bargougui et al., 2019.
Flor	Hexano de 150 a 600 g de flores aforado a 1 L de hexano	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i> .	100 µL + 900µL dimetilsulfóxido. Obtuvieron zona de inhibición de entre 12 y 19 mm.	Ammar et al., 2012.

Continúa...

Pencas	200 g de penca hervida en agua, o extracción en metanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Trataron las bacterias con distintas concentraciones, encontrando efectos positivos en concentraciones de hasta 0.25 mg/mL de ambos extractos.	Feghali et al., 2018.
Aceite de semillas	Ultrasonido Soxhlet Maceración	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>	Encontraron zonas de inhibición más grandes con la extracción por ultrasonido contra <i>E. coli</i>	Ortega et al., 2017.

Nota: Elaboración propia con información de las fuentes citadas en la tabla.

Cabe destacar que en la mayoría de los estudios publicados se evaluó la capacidad antioxidante, en la cual el extracto con mayor actividad, por lo general, era el extracto con mayor potencial antimicrobiano. Al reportar lo anterior, se menciona a los fenoles como principales responsables de la actividad antimicrobiana, en los que destaca el isorhamnetina en las pencas, mientras que en los jugos se reportó mayor concentración de ácido cafeico y ácidos grasos insaturados de cadena larga (Bargougui et al., 2019; Blando et al., 2019).

#### POTENCIAL ANTIVIRAL

El potencial antiviral es una actividad poco evaluada y en algunas ocasiones no solo es medible con virus que afectan a los humanos, sino también con virus que afectan a distintas plantas.

Las infecciones por virus en distintas plantas tienen un coste anual aproximado de 60 billones de dólares, siendo el control de virus en plantas difícil, debido a que los virus tienen una relación directa con el huésped, y para poder inhibirla se debe impedir específicamente el ciclo de replicación viral sin ser tóxico ni tener efectos secundarios en el huésped (Rasolpour et al., 2018).

Debido a lo anterior, el equipo de Rasolpour et al. (2017 y 2018) se dio a la tarea de buscar, purificar y evaluar posibles compuestos con actividad antiviral en distintos virus en plantas. En la primera parte de la investigación se obtuvo una proteína a partir

de un extracto acuoso de la penca del nopal, cuyo peso molecular fue de 28.3 kDa. Esta fue probada contra virus mosaico de pepino, calabaza amarilla y tabaco. Se evaluaron concentraciones de hasta 40 µg/mL, obteniendo una IC<sub>50</sub> con concentraciones de 2.8 µg/mL en virus mosaico de pepino. Se encontró que la proteína antiviral tiene actividad RNAasa y que interactuó con el ácido nucleico viral (evidenciado por el análisis de transferencia de puntos de Far Western). Al mismo tiempo, la proteína fue resistente al 2-mercaptoetanol y al ácido etilendiaminotetraacético, y fue activo en un rango de pH de entre 4 y 10, lo cual es beneficioso, debido a que puede ser utilizado en una gran variedad de plantas (Rasolpour et al., 2017). Posterior al aislamiento de la proteína denominada Opuntin A, se dieron a la tarea de buscar otros posibles compuestos en el mismo extracto, encontrando una segunda proteína, la cual nombraron Opuntin B. Esta proteína tuvo la particularidad de contar con cuatro componentes proteínicos y un peso molecular de entre 29-32 kDa. Se evaluaron concentraciones de hasta 40 µg/mL, obteniendo una IC<sub>50</sub> con concentraciones de 0.75 µg/mL. Opuntin B demostró tener efectos positivos en virus mosaico de calabaza amarilla, calabaza y tabaco (Rasolpour et al., 2018).

Por último, Abeer et al. (2022) evaluaron la actividad antiviral de aceites extraídos de semillas del nopal por prensado en frío. Encontraron que el aceite de nopal es rico en distintos ácidos grasos, teniendo en mayor concentración ácido linolénico, seguido por ácido oleico, linoleico, palmítico y esteárico. También hallaron tocoferoles, campesterol y sitosterol. Todos estos compuestos bioactivos se enlistan debido a que pueden ser los responsables de la actividad antiviral evaluada contra virus de herpes simple tipo 2, el cual fue inhibido en un porcentaje de  $22.67 \pm 2.79\%$  a una concentración de 300 µg/mL de manera *in vitro*.

Por lo anterior, se puede concluir que se necesita mayor evidencia para evaluar la posible actividad antiviral en distintos virus, sean humanos o en plantas, de los distintos extractos del nopal.

## CONCLUSIONES

El nopal es un tejido vegetal que se ha empleado en la medicina tradicional, ya que contiene diversas sustancias bioactivas con propiedades farmacológicas y su consumo confiere efectos positivos en la salud.

Los efectos positivos sobre la salud reportados sobre el consumo del nopal (flor, fruto y cladodio) se debe principalmente al contenido de sustancias bioactivas como compuestos antioxidantes, entre las que destacan los polifenoles, flavonoides y betalaínas, al igual que al contenido de ácidos grasos poliinsaturados, entre otros.

El consumo del *Opuntia* spp., ya sea en fresco, con algún tratamiento térmico o a través de algún proceso tecnológico, como extracción de sus compuestos, ha reportado, en la mayoría de los casos, la mejora de los biomarcadores estudiados, en los que se pueden destacar efectos en el sistema digestivo y neuroprotectores, hepatoprotectores, etcétera.

El nopal, por lo tanto, es un buen candidato para su consumo cotidiano ya que, como se ha mencionado anteriormente, refleja beneficios en la población que presenta una o más enfermedades adyacentes.

## REFERENCIAS

- Abeer, S., Luluah, M., Hamida, H. y Abeer, A. Z. (2022). “Chemical Composition and Antioxidant, Antiviral, Antifungal, Antibacterial and Anticancer Potentials of *Opuntia ficus-indica* Seed Oil”. *Molecules*. 27(17), 5453.
- Abou-Elella, F. y Ali, R. (2014). “Antioxidant and Anticancer Activities of Different Constituents Extracted from Egyptian Prickly Pear Cactus (*Opuntia Ficus-Indica*) Peel”. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*. 3(2), 150-158.
- Ali, S., Mahmoud, S., El-Masry, S., Alkhalifah, D., Hozzein, W. y Aboel-Ainin, M. (2022). “Phytochemical screening and characterization of the antioxidant, antiproliferative and antibacterial effects of different extracts of *Opuntia ficus-indica* peel”. *Journal of King Saud University-Science*. 34(1), 102216.
- Alqurashi, A., Al Masoudi, L., Hamdi, H. y Abu Zaid, A. (2022). “Chemical composition and antioxidant, antiviral, antifungal, antibacterial and anticancer potentials of *Opuntia ficus-indica* seed oil”. *Molecules*. 27(1), 5453.
- Ammar I., Ennouri, M. y Attia H. (2015). “Phenolic content and antioxidant activity of cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) flowers are modified according to the extraction method”. *Industrial Crops and Products*, 64(1), 97-104.
- Ammar, I., Ennouri, M., Khemakhem, B., Yangui, T. y Attia, H. (2012). “Variation in chemical composition and biological activities of two species of *Opuntia* flowers at four stages of flowering”. *Industrial Crops and Products*. 37(2012), 34-40.
- Antunes, M., Gutiérrez, J., López, F., Alvarez, M. y Serna, S. (2015). “In vivo anti-inflammatory effects of isorhamnetin glycosides isolated from *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill cladodes”. *Industrial Crops and Products*. 76(1), 803.-808.
- Avinash, J. y Nandan, S. (2022). Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 119(1), 579-591.
- Attanzio, A., Frazzitta, A., Busa, R., Tesoriere, L., Livrea, M. y Alegria, M. (2019). “Indicaxanthin from *Opuntia ficus indica* (L. Mill) Inhibits Oxidized LDL-Mediated Human Endothelial Cell Dysfunction through Inhibition of NF- B Activation”. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2019(1),1-8.
- Ayala, A., Contreras, E., Castañeda, A., Sánchez, J. y González, G. (2020). “Amaranth Proteins as a source of bioactive peptides: a review”. *International Food Research Journal*. 27(1), 1-15.

- Badore, N., Das, P., Pillai, S. y Thakur, A. (2017). "Role of *Ginkgo biloba* extract, against isoproterenol induced cardiac toxicity in rats". *Indian Journal of Pharmaceutical Education Research*. 51(4), S691-S699.
- Bargougui, A., Maarof-Tag, H., Bouaziz, M. y Triki, S. (2019). "Antimicrobial, Antioxidant, Total Phenols and Flavonoids content of Fous Cactus (*Opuntia ficus*) Cultivars". *Biomedican & Pharmacology Journal*. 12(2), 1353-1368.
- Becer, E., Kabadayi, H., Meriçli, F., Meriçli, A., Kivançlı, B. y Vatansver, S. (2018). "Apoptotic Effects of *Opuntia ficus indica* L. Seed Oils on Colon Adenocarcinoma Cell Lines". *Proceedings*. 2(1566), 2-4.
- Berraouan, A., Abderrahim, Z., Hassane, M., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A. y Mohamed, B. (2015). "Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxaninduced diabetes in mice". *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 8(7), 532-537.
- Blando, F., Russo, R., Negro, C., De Bellis, L. y Frassinetti, S. (2019) "Antimicrobial and Antibiofilm Activity against *Staphylococcus aureus* of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladode Polyphenolic Extracts. *Antioxidants*". 8(117), 1-13.
- Chekkal, H., Harrat, N., Bensalah, F., Affane, F., Louala, S. y Lamri-Senhadj, M. (2020). "The cactus cladode (*Opuntia ficus-indica*) modulates urisemia, improves endothelial dysfunction and corrects oxidative damage in rats fed a cafeteria diet". *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*. 17(4), 1-8.
- Dehbi, F., Hasib, A., Tilaoui, E., Zaki, N., Ouattmane, A., Jaouad, A., y Zyad, A. (2013). "Bioactive Constituents, Antioxidant Activity and in Vitro Cancer Cell Cytotoxicity of Moroccan Prickly Pear (*Opuntia ficus indica* L.) Juices". *Journal of Natural Sciences Research*. 3(14), 12-21.
- Devalraju, M., Arunasree, K., Roy, T. Chandramohan, G. y Reddy, P. (2007). "Betanin a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus-indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia Cell line-K562". *Phytomedicine*. 14(1), 739-746.
- El-Beltagi, H., Mohamed, H., Elmelegy, A., Eldesoky, S. y Safwat, G. (2019). "Phytochemical screening, antimicrobial, antioxidant, anticancer activities and nutritional values of cactus (*Opuntia ficus indicia*) pulp and peel". *Fresenius Environmental Bulletin*. 28(2A), 1534-1551.
- El-Hawary, S., Sobeh, M., Badr, W., Abdelfattah, M., Ali, Z., El-Tantawy, M., Rabeh, M. y Wink, M. (2020). "HPLC-PDA-MS/MS profiling of secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* cladode, peel and fruit pulp extracts and their antioxidant, neuroprotective

- effect in rats with aluminum chloride induced neurotoxicity”. *Saudi Journal of Biology Sciences*. 27(10), 2829-2838.
- El-Moaty, H., Soroura, W., Youssef, A. y Gouda, H. (2020). “Structural elucidation of phenolic compounds isolated from *Opuntia littoralis* and their antidiabetic, antimicrobial and cytotoxic activity”. *South African Journal of Botany*. 131(1), 320-327.
- Feghali, P., Ibrahim, R. y Nawas, T. (2018). “Antibacterial Activity of *Curcuma longa*, *Opuntia ficus-indica*, and *Lindum usitatissimum*”. *Toxicology*. 4(3), 214-220.
- Gaona, E., Martínez, B., Arango, A., Valenzuela, D., Gómez, L., Shamah, T. y Rodríguez, S. (2018). “Altos porcentajes de la población mexicana consume alimentos no recomendables”. *Salud pública de México*. 60(3), 272-282.
- Gentile, C., Tesoriere L., Allegra, M., Livrea, M. y D’Alessio P. (2006). “Antioxidant Betalains from Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Inhibit endotelial ICAM-1 Expression”. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1028(1), 481-486.
- Giglio, R., Carruba, G., Cicero, A., Banach, M., Patti, A., Nikolic, D., Cocciadiferro, L., Zarccone, M., Montalto, G., Stoia, A., Banerjee, Y., Rizvi, A., Toth, P. y Rizzo, M. (2020). “Pasta supplemented with *Opuntia ficus-indica* Extract Improves Metabolic Parameters and Reduces Atherogenic Small Dense Low-Density Lipoproteins in Patients with Risk Factors for the Metabolic Syndrome: A Four-Week Intervention Study”. *Metabolites*. 10(11), 428.
- González, M. (2018). “Bajo consumo en México de frutas y verduras”. Mexicampo Internacional En línea. <https://www.mexicampo.com.mx/consumo-mexico-frutas-verduras/#:~:text=%2D%20En%20M%C3%A9xico%20el%20consumo%20per,que%20es%20de%20400%20gramos>.
- Heikal, A., Abd El-Sadek, M., Salama, A. y Taha, H. (2021). “Comparative study between *in vivo* and *in vitro* derived extracts of cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) against prostate and mammary cancer cell lines”. *Heliyon*. 7(1), e08016.
- Hwang, S., Kang, I. y Lim, S. (2017). “Antidiabetic Effect of Fresh Nopal (*Opuntia ficus-indica*) in Low-Dose Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Fed a High-Fat Diet”. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 4380721(1), 1-8.
- Jaganatham, G. y Sithique, M. (2023). “Fabrication of a novel bioactive chitosan based biocomposite from *Opuntia ficus-indica* fruit gum and evaluation of anticancer activity in bone MG63 cancer and L929 normal cell lines”. *Inorganic Chemistry Communications*. 147(1), 110248.

- López, P., Pichardo, E., Ávila, A., Vázquez, N., Tovar, A., Pedraza, J. y Torres, N. (2014). “The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts”. *Journal of the academy of nutrition and dietetics*. 114(11), 1811-1818.
- Ortega, M., Cruz, N., Alanís, E., Delgado, L., Ariza, J., Ramírez, E. y Manríquez, J. (2017). “Optimization of Ultrasound Extraction of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Seed Oil Based on Antioxidant Activity and Evaluation of Its Antimicrobial Activity”. *Journal of Food Quality*. 2017(1), 1-9.
- Pai, S., Hebbar, A., y Selvaraj, S. (2022). “A critical look at challenges and future scopes of bioactive compounds and their incorporations in the food, energy and pharmaceutical sector”. *Environmental Science and Pollution Research*. 29(1), 35518–35541.
- Rasoulpour, R., Afsharifar, A., Izadpanah, K. y Aminlari, M. (2017). “Purification and characterization of an antiviral protein from prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) cladode”. *Crop Protection*. 93(1), 33-42.
- Rasoulppour, R., Afsharifar, A. y Izadpanah, K. (2018). “Antiviral activity of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) extract: Opuntin B, a second antiviral protein”. *Crop Protection*. 112(1), 1-9.
- Ressaissi, A., Attia, N., Pacheco, R., Falé, P. y Serralheiro, M. (2020). “Cholesterol transporter proteins in HepG2 cells can be modulated by phenolic compounds present in *Opuntia ficus-indica* aqueous solutions”. *Journal of Functional Foods*. 64(1), 103674.
- Rosselo, X., Pocock, S. y Julian, D. (2015). “Long-Term Use of Cardiovascular Drugs”. *Journal of American College of Cardiology*. 66(11), 1273-1285.
- Sánchez, J., Ayala, A., Cariño, R., Hernández, A., Castañeda, A., Campos, R. G., Román, A., y Jiménez, R. (2019). “*Vaccinium leucanthum* Schlechtendahl fruit, a new source of dietary fiber and antioxidant compounds”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 18(3), 901-911.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). “Crece en México el consumo y producción de nopal”. *Agricultura*. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-en-mexico-el-consumo-y-produccion-de-nopal-agricultura?idiom=es>
- Secretaría de Salud (2022, septiembre 28). “Cada año, 220 mil personas fallecen debido a enfermedades del corazón”. En línea: <https://www.gob.mx/salud/prensa/490-cada-ano-220-mil-personas-fallecen-debido-a-enfermedades-del-corazon>

- Serra, A., Poejo, J., Matias, A., Bronze, M. y Duarte, C. (2013). "Evaluation of *Opuntia spp.* derived products as antiproliferative agents in human colon cancer cell line (HT29)". *Food Research International*. 54(1), 892–901.
- Tahri, M., Saih, F., El Kebbjaj, R., Gondcaille, C., Vamecq, J., Latruffe N., Lizard, G, Savary, S., Nasser, B., Cherkaoui-Malki, M. y Andreoletti, P. (2022). "Protective Effect of Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Seed Oil against Short-Term Lipopolysaccharides-Induced Inflammation and Peroxisomal Functions Dysregulation in Mouse Brain and Liver". *International Journal of Molecular Science*. 23(1), 11849.
- Tilahun, Y. y Welegerima, G. (2018). "Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus Indica*): A review". *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(3), 1360-1363.
- Urrialde, R., Gómez, A., Pintos, B., Gómez, M. y Cifuentes, B. (2022). "Compuestos bioactivos de origen vegetal: Desarrollo de nuevos alimentos". *Nutrición hospitalaria*. 39(9).
- WHO (World Health Organization, 2019). "Diabetes".
- WHO (World Health Organization, 2019). *Healthy diet*. Regional Office for the Eastern Mediterranean.
- WHO (World Health Organization, 2020). "Cancer".
- Valente, L., Da Paixão, D., Do Nascimento, A., Dos Santos, P., Scheinvar, L., Moura, M., Tinoco, L., Gomes, N. y Da Silva, J. (2010). "Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae)". *Food Chemistry*. 123(1), 1127-1131.
- Van Wyk, B. y Wink, M. (2017). *Medicinal Plants of the World*. Briza, Pretoria.
- Yoon, J., Lee, S., Kim, H. y Son, Y. (2011). "Ameliorating Effects of a Nopal (*Opuntia ficus-indica*) Complex on Blood Glucose in db/db Mice". *Food Science and Biotechnology*. 20(1), 255-259.
- Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhiri, A., Vander Heyden I., y Demeyer, K. (2019). "Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Algeria. *Heliyon* 5(1), e01575.

# COMPUESTOS QUÍMICOS DE VALOR AGREGADO DERIVADOS DE LAS SEMILLAS DE LOS FRUTOS DEL NOPAL

*Juan Carlos Piña Victoria*<sup>1</sup>

*Alfonso Talavera López*<sup>2</sup>

*Yobuali Zarazúa Aguilar*<sup>3</sup>

## RESUMEN

En este capítulo se presenta una revisión sobre aspectos generales de los nopales tuneros y de los nopales de xoconostle, principalmente se abordarán las propiedades fisicoquímicas que poseen los compuestos químicos de las semillas de tuna y xoconostle, los métodos de extracción de estos compuestos y cómo se pueden usar como materia prima en otros procesos, o cómo son empleados como fuente de vitaminas y antioxidantes.

**Palabras clave:** tuna, xoconostle, compuestos químicos, nopal, métodos de extracción.

## INTRODUCCIÓN

El nopal (*Opuntia spp.*) es una planta oriunda de México (Bayar, 2017) y desempeña un papel muy importante en el desarrollo económico y cultural de los mexicanos; también, es parte de uno de los símbolos nacionales: el escudo.

El nopal destaca por su gran capacidad de adaptación en las zonas áridas y semiáridas (Astello, 2015); además, se le atribuyen propiedades alimenticias, medicinales y

---

<sup>1</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Unidad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas.

<sup>3</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: yzarazuua@uaemex.mx

forrajeras, por lo que es de gran interés en distintas áreas de investigación. Entre los frutos principales del nopal para consumo humano se encuentran la tuna y el xoconostle (Morales, 2012).

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es el fruto del nopal; se conocen 23 tipos de tunas comestibles, entre las que se encuentran las amarillas, las rojas, las púrpuras, las blancas, entre otras (Salehi, 2018). La tuna está compuesta por una cáscara gruesa, pulpa jugosa y semillas duras (Ortega, 2017). En su composición química tiene 85% de agua, 14% de azúcares y 1% de proteína. En la pulpa se ha encontrado vitamina C, vitamina E, polifenoles y algunos aminoácidos; mientras que de la semilla se pueden extraer sustancias bioactivas y aceite, este último es muy utilizado en la industria cosmética para el cuidado de la piel, ya que contiene tocoferoles (vitamina E) y ácidos grasos esenciales (ácido linoleico u omega 6) (Ghazi, 2013) (Ramadan, 2003).

El xoconostle (*Opuntia joconostle* y *Opuntia matudae*) tiene un aspecto muy parecido a la tuna, se puede diferenciar debido a que tiene sus semillas en el centro, la piel suave y un sabor ácido. El xoconostle es rico en antioxidantes, fibra, vitamina C, pectina, etc. El xoconostle tiene una gran adaptación al cambio climático y puede permanecer almacenado por más de un año sin sufrir descomposición.

## GENERALIDADES

### *Nopal*

El nopal (*Opuntia spp.*) es una planta que tiene su origen en el sur de Estados Unidos y el norte de México (Imagen 1).



Imagen 1. *La nopalera* (cultivo de nopal en la zona nororiente del Estado de México), San Martín de las Pirámides, Estado de México. Fotografía de Zarazúa, Y. (2022).

Se tienen documentadas 258 especies de nopal. En la Tabla 1 se presentan las variedades más conocidas.

**Tabla 1. Especies más conocidas del nopal**

<i>Nombre</i>	<i>Nombre científico</i>
Nopal de castilla	<i>Opuntia ficus-indica</i>
Nopal alfajayucan	<i>Opuntia amychlaea</i>
Nopal xoconostle	<i>Opuntia xoconostle</i>
Nopal blanco	<i>Opuntia megacantha</i>
Nopal cardón	<i>Opuntia streptacantha</i>

Fuente: Torres et al., 2015.

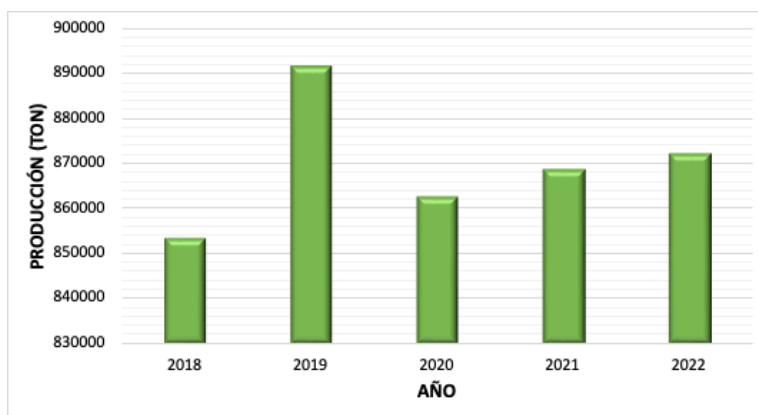
Los nopales se dividen en dos grupos: *Nopalea* y *Opuntia*, ambos géneros son muy similares; la diferencia entre ellos es la forma de sus flores. El nopal verdura, también conocido como *nopalito*, pertenece al género *Opuntia spp.* y se distribuye en regiones

áridas, semiáridas y es el de mayor consumo humano. En México existen entre 60 y 90 especies de nopal, pero, en general, para el consumo humano solo se usan de 10 a 12 especies para producir hortalizas y frutas.

El nopal posee características medicinales, nutritivas, ecológicas y químicas, principalmente, por lo que representa un recurso vegetal muy importante en las regiones áridas y semiáridas de México. Es cultivado casi en todo nuestro país, principalmente en la Ciudad de México y en el Estado de México.

En México, el consumo anual de nopalitos a nivel nacional es de 6.4 kg/habitante (Reyes, 2023). En la Gráfica 1 se presenta la producción anual de nopalitos en los últimos cinco años (SIAP, 2023). Se puede observar que se tuvo un aumento considerable en el año 2022 con respecto a 2018.

**Gráfica 1. Producción anual de nopalitos en México**



Fuente: SIAP, 2023, <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Entre los compuestos químicos del nopal se encuentra principalmente el agua, los carbohidratos y minerales. Existen tres estructuras principales del nopal que son consumidas por el ser humano: el cladodio, el xoconostle y la tuna; cada uno de estos tiene compuestos con propiedades químicas que pueden extraerse para usarse como compuestos de valor agregado.

### *Xoconostle*

El xoconostle (*xoco*=agria, en náhuatl) es un fruto del nopal que se produce en zonas áridas y semiáridas de México. Existen más de 15 variedades, las más comerciales y comunes son el xoconostle cuaresmeño y el xoconostle burro o blanco. En xoconostle está compuesto por cáscara, semillas y pulpa. Se destaca por su sabor ácido, por tener una piel suave, espinas de corta longitud ( $13.7 \pm 0.7$  mm) y por tener las semillas en el centro.

La cáscara (endocarpio), las semillas y la pulpa (mesocarpio) del xoconostle tienen un alto contenido de compuestos bioactivos, aunque, en su mayoría, solo se consume la pulpa, bien como verdura o bien en condimentos, gelatinas, salsas, entre otros productos (Dávila et al., 2019). La cáscara se seca y se le suele agregar algún condimento, como sal o chile en polvo, para consumirse como botana, mientras que las semillas normalmente se consideran como un residuo, por lo que se desechan; sin embargo, algunas veces se licúa con agua y azúcar para consumirse como bebida.

En un estudio realizado por Trejo et al. (2019) se analizaron los componentes del xoconostle rosa y blanco; se encontró que la cáscara es el componente principal del fruto ( $51.13 \pm 1.74\%$  y  $58.63 \pm 2.18$ , respectivamente); la piel es otro de los componentes importantes ( $27.65 \pm 2.01\%$  y  $29.3 \pm 1.18$  %, respectivamente); en menor proporción se encuentra la pulpa ( $7.48 \pm 0.27\%$  y  $9.35 \pm 0.12\%$ , respectivamente); y la semilla ( $6.22 \pm 0.93\%$  y  $10.18 \pm 0.45\%$ , respectivamente); también, encontraron que ambas especies tienen un alto contenido de humedad (rosa: 84.714% y blanco: 73.074%).

### Composición química de la semilla

Los compuestos principales presentes en las semillas de xoconostle son las betalainas, que son pigmentos insolubles característicos de las cactáceas. Estos compuestos son solubles en agua derivados del ácido betalámico (pigmentos rojos) y de las betaxantinas (pigmentos amarillos); tienen propiedades antivirales, antimicrobianas y antioxidantes (Gorostiola et al., 2015).

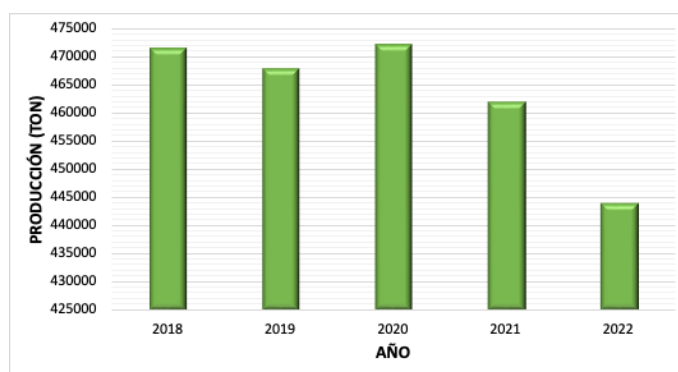
Las semillas de xoconostle también son ricas en ácidos grasos poliinsaturados, glucosa, fructosa, sacarosa, vitamina E, tocoferoles  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  (Morales, 2012); además,

también poseen un alto porcentaje de fibra, ácido ascórbico y flavonoides (Morales, 2014) y son una gran fuente de vitaminas, minerales y compuestos polifenólicos (Coutiño et al., 2022).

### *Tuna*

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es un fruto de temporada que pertenece a la familia *Cactaceae*. Es una baya carnosa con una morfología de ovalada a cilíndrica, cuyas dimensiones se encuentran entre los 5 a los 10 cm de largo y de 4 a 8 cm de ancho; tiene un peso aproximando entre 80 y 200 g (Martins et al., 2023) y anualmente tiene una producción entre 44 5000 y 44 7000 toneladas (Gráfica 2).

**Gráfica 2. Producción anual de tuna en México**



Fuente: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Las tunas son ricas en azúcares, por lo que pueden ser utilizadas en la elaboración de algunos productos alimenticios, como jugos, mermeladas y confituras; también, se utilizan para la elaboración de productos nutraceuticos, debido a su contenido de compuestos bioactivos, entre los cuales destacan la vitamina C, la vitamina E y los polifenoles (Rodriguez et al., 2023; Sumaya et al., 2010).

México posee el primer lugar a nivel mundial en la producción de tuna con un total de 20 000 productores, que abarcan un área promedio de cultivo de 51 942 hectáreas, distribuidas en 20 entidades del país, donde los estados de Hidalgo,

México y Zacatecas son los que concentran el mayor porcentaje de áreas de cultivo (aproximadamente 75%) (Ramírez et al., 2015). De esta manera, en México se ha alcanzado una producción anual de 400 000 toneladas de tuna (Sumaya et al., 2010).

### Composición química del fruto

La tuna está constituida principalmente por cáscara, pulpa y numerosas semillas. La mayor parte del fruto está compuesto por la pulpa —60 a 70%— y es la parte comestible; se caracteriza por ser jugosa, gelatinosa y dulce. La cáscara conforma del 30 al 40% del fruto; esta se divide en mesocarpio (parte interna) y pericarpio (parte externa y delgada). Las semillas representan del 2 y hasta el 10% del fruto, son oscuras y se encuentran distribuidas de manera uniforme por toda la pulpa. En general, la tuna se compone por un 85% de agua, 14% de azúcares y el resto corresponde a una serie de compuestos, como ácido ascórbico, fibras, aminoácidos, minerales y compuestos antioxidantes, como fenoles, flavonoides, betalainas y carotenoides, por lo que constituye un alimento de gran valor nutritivo (Martins et al., 2023; Sumaya et al., 2010).

Debido a que hay diversos tipos de tuna, la composición fisicoquímica también presenta una variedad que puede depender en gran medida de la distribución geográfica. En este sentido, es importante ubicar el área de análisis en México. Los análisis realizados en diferentes variedades silvestres y cultivadas indicaron que la cantidad de materia seca va del 10 al 15%, el contenido de agua del 85 al 90%, los carbohidratos totales van del 10 al 17%, de los cuales los azúcares reductores representan del 5 al 14%; el contenido de proteínas se encuentra entre el 1.4 y 1.6%, los lípidos conforman el 0.5%, mientras que las fibras totales son del 2.4%; además, se determinó que el ácido ascórbico contenido por cada 100 g de fruto es de 4.6 a 41 mg, con algunas trazas de carotenoides (Martins et al., 2023; Pimienta, 1994). Por otro lado, la composición de minerales por cada 100 g de tuna indicó un contenido de 3 560 mg de Cl, 610 mg de K, 100 mg de Mg, 110 mg de Ca, 160 mg de Na, 50 mg de P, 33 mg de Mn, 28 mg de Fe, 16 mg de Zn, 5 mg de Cu y 0.3 mg de Mo (Martins et al., 2023; Pimienta, 1994; Silos et al., 2003).

En general, se ha observado que la pulpa y la cáscara tienen un mayor contenido de agua que las semillas, y estas tienen mayor contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos que la pulpa y la cáscara (Martins et al., 2023).

Una diferencia observada entre las variedades de tuna silvestres y cultivadas sometidas a estudio fue la cantidad de aceite y proteínas que las semillas producen; es decir, las semillas de variedades silvestres tienen una mayor cantidad de aceite y proteínas que aquellas que proceden de las variedades cultivadas. En el caso de las variedades silvestres, se encontró que el contenido de aceite está entre 11.6 y 20% del peso y la cantidad de proteínas está entre 8.3 y 10.7% del peso; mientras que para las semillas de las variedades cultivadas estos porcentajes fueron de 6.4 a 14.4% y de 6.2 al 8.8% del peso para el aceite y las proteínas, respectivamente (Pimienta, 1994).

El aceite en las semillas de tuna representa del 7 al 15% del peso total de las semillas. Este aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos (80.9%), tanto insaturados como saturados; también se ha determinado el contenido de esteroides (0.832-16.06 mg/kg de aceite), tocoferoles (3.9-86.3 mg/100g de aceite), polifenoles (34-266 mg/kg de aceite), flavonoides (1.5-3.1 mg de quercetina eq./g de aceite) y carotenoides (10.52 mg/kg de aceite) (Al-Naqeb et al., 2021). La distribución de componentes en el aceite está condicionada a diferentes factores, como la variedad de tuna, la ubicación geográfica, así como los métodos de extracción utilizados.

El principal componente de los ácidos grasos insaturados es el ácido linoleico con una abundancia de 60 a 77% en peso, seguido del ácido oleico con una abundancia de 11 al 23% en peso; el ácido vaccénico, que representa del 4.3 a 6.3% en el peso y el ácido linolénico, con una proporción de 0.23 a 1.1% en el peso. Los ácidos grasos saturados están constituidos por ácido palmítico, que va de 9 a 16% en el peso, y el ácido esteárico, que va de 0.7 a 2.4% en el peso (Al-Naqeb et al., 2021; Pimienta, 1994; Ramadan y Mörsel, 2003).

### *Métodos de extracción de aceite de semilla de tuna y xoconostle*

Los componentes presentes en el aceite de semilla de tuna y de xoconostle, así como la proporción de cada uno de ellos, están condicionados a diversos factores, entre los que se encuentra el método de extracción. Se tiene conocimiento de diferentes métodos de extracción: extracción con solventes, extracción mecánica, extracción por medios supercríticos, extracción por maceración, extracción con autoclave, extracción por microondas y extracción por ultrasonido (Al-Naqeb et al., 2021; Matthäus y Özcan, 2011).

En la extracción con disolventes, los que mayor rendimiento de aceite han mostrado son hexano, éter de petróleo, acetato de etilo y cloroformo-metanol. Este método consta de tres etapas: en la primera se lleva a cabo la preparación de las semillas; en la segunda se extrae el aceite y en la última etapa se evapora el o los disolventes (Al-Naqeb et al., 2021; Matthäus y Özcan, 2011). Este proceso de extracción se lleva a cabo, en general, en un extractor Soxhlet, en donde los rendimientos de aceite varían en un intervalo de 2.61 a 14.4 %. La variación del rendimiento depende de factores como la variedad de la tuna, el tipo de disolvente, la ubicación geográfica, el tiempo de extracción y la temperatura de extracción.

La extracción mecánica se lleva a cabo utilizando prensas de tornillo eléctrico o prensas mecánicas. El prensado, generalmente, puede realizarse en frío o a temperaturas mayores a la del medio ambiente; los rendimientos obtenidos con este método dependen en gran medida de la temperatura. Con el método en frío, los rendimientos se han registrado en el intervalo de 0.5 a 7%, en tanto que con el método en caliente se han reportado rendimientos de hasta 12.5% (Al-Naqeb et al., 2021; Kadda et al., 2022; Matthäus y Özcan, 2011); este método consiste en colocar las semillas entre barreras permeables para luego incrementar la presión mecánica y reducir el volumen disponible para las semillas, de manera que cuanto mayor es la presión mayor es la eficiencia de la extracción de aceite (Kadda et al., 2022).

La extracción por maceración consiste en dejar reposar una masa sólida en un líquido frío (disolvente o mezcla de disolventes) para extraer compuestos solubles. La extracción por esta técnica se ha llevado a cabo utilizando diferentes disolventes, a partir de los cuales se han obtenido rendimientos en un intervalo de 4 a 15%, este rendimiento depende del disolvente o de la mezcla de solventes utilizados para la extracción y de la variedad de tuna de la cual se obtiene la semilla (Al-Naqeb et al., 2021; Kadda et al., 2022).

La extracción de aceite por el método de fluidos supercríticos se lleva a cabo con CO<sub>2</sub> a diferentes temperaturas, en un intervalo de 35 a 50°C y en un intervalo de presiones entre 100 y 500 bar. Los rendimientos obtenidos por medio de esta técnica van de 1.9 a 6.5%. El rendimiento, por lo tanto, depende de la presión, de la temperatura, de la variedad de la tuna y del flujo de fluido supercrítico (Al-Naqeb et al., 2021).

La extracción por ultrasonido genera cavitación acústica en periodos cortos y bajas presiones, lo cual permite que la pared celular se rompa y que los disolventes ingresen de manera eficiente a la célula para lograr mayor transferencia de masa en los compuestos fenólicos al disolvente (Coutiño et al., 2022).

En la extracción por irradiación de microondas se generan ondas eléctricas y ondas magnéticas, las cuales excitan a las moléculas de agua internas de las células, lo que provoca que se rompan las membranas de la célula, produciendo la lixiviación de los compuestos polifenólicos en el solvente. Este método reduce el tiempo de extracción (Coutiño et al., 2022).

### *Aplicaciones*

Entre los compuestos principales de las semillas de tuna se encuentran la vitamina E, tocoferoles  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ , betalainas y ácidos grasos polinsaturados. La vitamina E y los tocoferoles son compuestos antioxidantes que juegan un papel muy importante en la salud, por la inactivación de los radicales libres producidos por actividad celular y varios factores del estrés (Morales et al., 2012). Por lo anterior, a las semillas de tuna se les han atribuido una serie de beneficios para la salud, debido a sus componentes y a la función inhibidora en la formación de radicales libres, es decir, tienen actividad antioxidante.

Fernández et al. (2021) evaluaron la actividad antimicrobiana del xoconostle contra *Salmonella typhimurium* y *Staphylococcus aureus* y encontraron que tiene actividad inhibidora para estas sepas, por lo cual se puede emplear como aditivo antibacteriano natural en la industria alimentaria, esto le atribuye al aceite una actividad antimicrobiana y antifúngica. Debido a su efecto hipoglucemiante, se le ha atribuido una propiedad antidiabética (Pimienta et al, 2007). Debido a la presencia de los esteroides en el aceite, se ha reportado que tiene la propiedad de regular el perfil de colesterol y lípidos. Se ha sugerido (Al-Naqeb et al., 2021) que, gracias a su alto contenido de ácido linoleico, tiene propiedades anticancerígenas, ya que el ácido linolénico es conocido por su efecto anticancerígeno en las células cancerosas. Entre estas propiedades, así como sus efectos antiinflamatorios, se ha destacado también su potencial en la elaboración de diferentes productos alimenticios, cosméticos, farmacéuticos, agrícolas, textiles, aditivos para la construcción, coagulantes, entre otros (Al-Naqeb et al., 2021).

## CONCLUSIONES

El nopal es una planta de la familia de las cactáceas de gran distribución a lo largo del mundo y produce cladodios, flores y frutos (tuna y xoconostle); tiene una gran variedad de funcionalidades gastronómicas y medicinales debido a sus propiedades. La tuna y el xoconostle están compuestos por un gran número de semillas, de las cuales se pueden extraer compuestos como vitamina C, ácidos grasos, tocoferoles (vitamina E), esteroides, carotenoides y betalainas, que proporcionan múltiples beneficios para la salud. Estos compuestos se extraen de las semillas mediante diferentes métodos, entre los que se encuentran las extracciones con solventes, prensado mecánico, maceración, ultrasonido y microondas. En cada uno de los métodos de extracción se puede obtener un aceite con propiedades diferentes y para diversas aplicaciones en la industria alimenticia, farmacéutica, agronómica y cosmética.

## REFERENCIAS

- Al-Naqeb, G., Fiori, L., Ciolli, M. y Aprea, E. (2021). “Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits”. *Molecules*, 26(16), 5018. <https://doi.org/10.3390/molecules26165018>
- Astello, M., Cervantes, I., Nair, V., Santos, M., Reyes, A., Guéraud, F., Barba, A. (2015). “Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia spp.* cultivars with different domestication gradient”. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 119-130. DOI: 10.1016/j.jfca.2015.04.016
- Bayar, N. (2017). “Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal”. *Food Chemistry*, 127-134. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.08.051
- Coutiño, B., Flores, A., Ascacio, J., Alliná, A., Sáenz, A., F. Castañeda, A., Esparza, S., Rodríguez, R. (2022). “Physicochemical and functional properties of the undervalued fruits of cactus *Cylindropuntia imbricate* (xoconostle) and antioxidant potential”. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 102245. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102245
- Dávila, G., Sánchez, M., Gutiérrez, G., Necoechea, H., Ortiz, A. (2019). “Effect of microwave pretreatment on bioactive compounds extraction from xoconostle (*Opuntia joconostle*) by-products”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18, 1, 191-204. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n1/Davila
- Fernández, F., Medina, G., Pérez, E., Espino, S., Peralta, L., Pérez, S., Campos, R. (2021). “Compuestos bioactivos de *Opuntia spp.* Frutas ácidas: extractos micro y nano-emulsionados y aplicaciones en alimentos nutraceuticos”. *Molecules*, 26, 21, 6429. DOI: 10.3390/molecules26216429
- Ghazi, Z. (2013). “Fatty acids Sterols and Vitamin E composition of seed oil of *Opuntia Ficus Indica* and *Opuntia Dillenii* from Morocco”. *Journal Material Environmental Science*, 967-972. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:31814225>
- Gorostiola, H., Yáñez, J. y Ramírez, M. (2015). “Efecto del secado por aspersion en la actividad hipoglucemiente de jugo de Xoconostle (*Opuntia joconostle*)”. Tesis, Instituto Politécnico Nacional.
- Kadda, S., Belabed, A., Loukili, E., Hammouti, B. y Fadlaoui, S. (2022). “Temperature and extraction methods effects on yields, fatty acids, and tocopherols of prickly pear (*Opuntia ficus-indica L.*) seed oil of eastern region of Morocco”. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 158-166. DOI: 10.1007/s11356-021-16752-8

- Martins, M., Ribeiro, M. y Almeida, C. (2023). "Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and its Main Agro-Industrial Use: A Review". *Plants*, 12(7), 1512. DOI: 10.3390/plants12071512
- Matthäus, B., y Özcan, M. (2011). "Habitat effects on yield, fatty acid composition and tocopherol contents of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) seed oils". *Scientia Horticulturae*, 131, 95-98. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.09.027
- Morales, P., Barros, L., Ramírez, E., Santos, C., Ferreira, I. (2014). "Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds". *Food Research International*, 65, 437-444. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.05.067
- Morales, P., Ramírez, E., Sánchez, M., Carvalho, A., Ferreira, I., (2012). "Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguët and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico". *Food Research International*, 46, 1, 279-285. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.12.031
- Ortega, M. (2017). "Optimization of Ultrasound Extraction of Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Seed Oil Based on Antioxidant Activity and Evaluation of its Antimicrobial Activity Mar". *Journal of Food Quality*, 9. DOI: 10.1155/2017/9315360
- Pimienta, E. (1994). "Prickly pear (*Opuntia spp.*): A valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico". *Journal of Arid Environments*, 28(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(05\)80016-3](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(05)80016-3)
- Pimienta, E., Méndez, L., Ramírez, B., García de Alba, J. y Domínguez, R. (2007). "Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos". *Agrociencia*, 42, 645-653. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/662>
- Ramadan, M. y Mörsel, J. (2003). "Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.)". *Food Chemistry*, 339-345. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00550-2
- Ramírez, O., Figueroa, E. y Espinosa, L. (2015). "Análisis de rentabilidad de la tuna en los municipios de Nopaltepec y Axapusco, Estado de México". *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1199-1210. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14132408006.pdf>
- Reyes, A., Flores, D., Pérez, M., Almaguer, G. (2023). "Characteristics and challenges of the nopal vegetable cultivation system in Cuautlacingo, Otumba". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 2. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- Rodrigues, C., Paula, C., Lahbouki, S., Meddich, A., Outzourhit, A., Rashad, M., Pari, L., Coelho, I., Fernando, A. y Souza, V. (2023). "*Opuntia spp.*: An Overview of the Bioactive Profile and Food Applications of This Versatile Crop Adapted to Arid Lands". *Foods*, 12(7), 1465. DOI: 10.3390/foods12071465

- Salehi, E. (2018). “*Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties”. *Carbohydrate Polymers*, 1-33. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.11.035
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023). Avances de siembras y cosechas. Resumen por estado. Zumpango, México. Diciembre 2020. Riego temporal. Perennes. Nopalitos. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- Silos, H., Fabian, L., Osuna, J., Valverde, M., Guevara, F. y Paredes, O. (2003). “Chemical and biochemical changes in prickly pears with different ripening behavior”. *Nahrung/ Food*, 47(5), 334–338. DOI: 10.1002/food.200390077
- Sumaya, M., Suárez, T., Cruz, N., Alanís, E. y Sampedro, J. (2010). “Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna”. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 27, 435-441. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14114743013.pdf>
- Torres, R., Morales, D., Ballinas, M. y Nevárez, G. (2015). “El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129-1142. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139893015.pdf>
- Trejo, E., Trejo, N., Zúñiga, J., Ocampo, A., y Ramírez, M. (2019). “Propiedades físicas y químicas del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle*) C. V. blanco y rosa”. *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable*, 5, 18-26.

# SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL: REGIÓN NORORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

*Victor Alfonso Reyes Larios\**

*Alejandro Díaz García\**

*Floristela Luna Hernández\**

## RESUMEN

La evaluación realizada en la región XI del Estado de México, donde la agricultura es una de las actividades más relevantes de la región, tiene como objetivo determinar la viabilidad de la elaboración del queso de tuna para consumo nacional y de exportación.

A una población de 20 productores de nopal se le realizó un cuestionario, con la finalidad de sembrarles el interés para implementar nuevas alternativas para generar mejores condiciones en la producción y en la comercialización de tuna, puesto que es un producto perecedero y, en muchas ocasiones, los productores prefieren dejar perder el producto, a razón de que los compradores (intermediarios) les ofrecen un precio muy por debajo de lo estimado.

Los resultados de dicha consulta para elaborar queso de tuna fueron satisfactorios. Queda para futuras investigaciones la rentabilidad, las formas de comercialización nacional e internacional, así como las utilidades que se puedan generar.

**Palabras clave:** producción de tuna, queso de tuna, Estado de México, nopal, región XI, producto exótico.

---

\* Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico flunah@uaemex.mx

## INTRODUCCIÓN

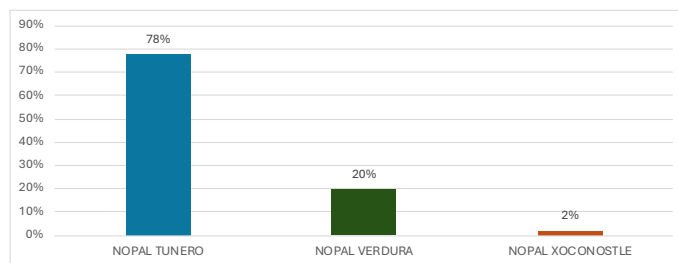
En México, la evidencia del nopal y su fruto —la tuna— se remonta a 7 000 años. Durante excavaciones en Tehuacán, Puebla, se encontraron semillas de tuna y fibras de penca de nopal fosilizados (Saravia, 2002). El nopal es una cactácea endémica del continente americano y pertenece al género *Opuntia* y *Nopalea*. Se encuentra principalmente en zonas áridas y semiáridas de la República mexicana.

La tuna es un fruto originario de América; ha sido importante en la alimentación y en la cultura de los pueblos prehispánicos de México. Con la llegada de los españoles, la tuna se cultivó de manera más amplia y se convirtió en una siembra importante en varias regiones del país. En la actualidad, México es uno de los principales productores de tuna a nivel mundial, alimento que es muy valorado en la gastronomía y en la cultura mexicana.

Un estudio de Hernández et al. (2020), donde citan datos de la Conabio (2014), señala que en la década de 1950, en México, las plantaciones de nopal para la producción comercial de tunas y nopales alcanzaron una extensión de 80 000 hectáreas; sin embargo, esta superficie se redujo drásticamente en la década de 1980 debido a diversos factores: presencia de plagas, vulnerabilidad a enfermedades causadas por la falta de diversidad genética en las plantaciones, selección inadecuada de los suelos y condiciones climáticas adversas.

La Gráfica 1 representa el área cultivada con nopal a nivel nacional, que ha recuperado cerca de 59 810 hectáreas (siap.gob.mx, 2023). De esta superficie, 78% se utiliza para producción de tuna, 20% para nopal verdura y 2% restante para xoconostle.

**Gráfica 1. Producción de nopal a nivel nacional**



Fuente: Conabio, 2014: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales>

En la Región XI del Estado de México, los principales municipios donde se cultiva el nopal en cuatro de sus especies (nopal forrajero, nopal verdura, nopal tunero y nopal xoconostle) son: Acolman, Axapusco, Nopaltepec, Otumba, San Martín de las Pirámides, San Juan Teotihuacán y Temascalapa (Tabla 1), en donde normalmente se cosecha durante los meses de julio a octubre de cada ciclo de producción. El fruto del nopal tunero es el objeto del presente trabajo.

El Estado de México se posiciona como líder indiscutible en la producción de tuna en México, aportando más de un tercio del total nacional (37.3%), junto con Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes. También es un importante productor de nopal verdura, ocupando el tercer lugar a nivel nacional, con una cosecha anual de casi 300 mil toneladas. En el Valle de Teotihuacán se destina mayor superficie al cultivo de nopal tunero (Secampo, 2023).

**Tabla 1. Superficie de cultivo de tuna en el Estado de México (Región XI)**

<i>Año 2023</i>	<i>Tuna</i>	<i>Nopal verdura</i>
<i>Municipio</i>	<i>Superficie (ha) sembrada</i>	<i>Superficie (ha) sembrada</i>
Acolman	116.00	Sin datos
Axapusco	3 080.00	14.00
Nopaltepec	2 877.00	Sin datos
Otumba	2 870.50	462.00
San Martín de las Pirámides	3 658.10	101.00
San Juan Teotihuacán	1 538.00	24.00
Temascalapa	1 661.00	Sin datos
	15 800.60	601.00

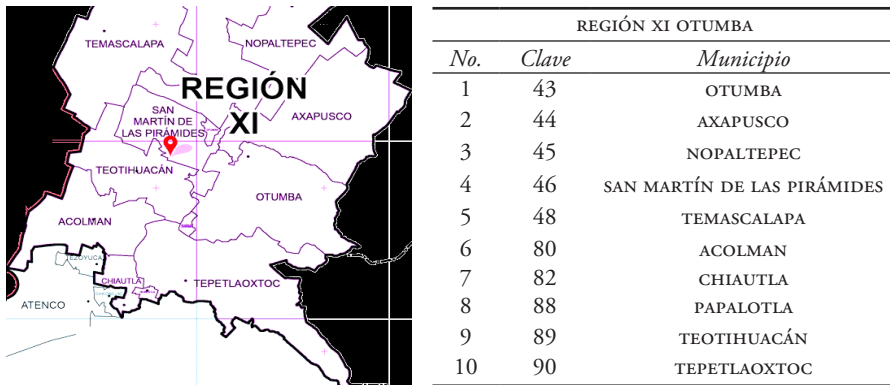
Fuente: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do) <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

De acuerdo con el Servicio e Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2016), se estima que de la producción nacional anual, que asciende aproximadamente a poco más de 471 mil toneladas, 37 por ciento es de origen mexiquense, es decir, poco más de 175 mil toneladas.

En este sentido, en 2023 se alcanzaron 15 mil 800 hectáreas sembradas en la entidad, con un rendimiento por hectárea de 11.26 toneladas, destacando los municipios de San Martín de las Pirámides, Axapusco, Otumba, Nopaltepec, Temascalapa y Teotihuacán.

El crecimiento de producción de tuna se debe a la gran demanda tanto en el mercado nacional como internacional, convirtiéndose en un cultivo atractivo para los productores debido a su resistencia a las condiciones de sequía y su adaptabilidad a diferentes tipos de suelos, por lo que se espera que continúe creciendo debido a su potencial como cultivo sostenible.

**Figura 1. Principales municipios productores de nopal (Región XI)**



Fuente: Copladem, Dictamen de la División Regional, Regionalización, 2017-2023.

## EL FRUTO DEL NOPAL

La tuna es considerada como una fruta versátil debido a que se puede consumir de diversas maneras, fresca, seca, cocida o enlatada; asimismo, se utiliza en una gran variedad de platillos, como mermeladas, bebidas, ensaladas, salsas, guisos y postres. Uno de estos productos es el *queso de tuna*.

El queso de tuna es un dulce típico de la zona del altiplano, específicamente de los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. La producción de queso de tuna se ha convertido en una actividad económica en algunas regiones, ya que el producto tiene un alto valor nutricional y es apreciado por su sabor único.

El queso de tuna es conocido como un producto exótico o de tipo *gourmet*, ya que no es muy común en muchos estados de la República mexicana, asimismo, se desconoce en otros países del mundo. El proceso de elaboración es bastante singular y requiere de conocimientos y técnicas específicas no muy comunes, puesto que se hace de manera artesanal.

Esta golosina es de textura suave y cremosa, su valor nutricional es alto en fibra, proteínas, minerales y vitaminas; además, no contiene aditivos ni conservantes artificiales. Es una conserva parecida a un ate.

Para hacer el queso de tuna se recomienda utilizar especialmente la tuna del nopal cardón (*Stenocereus queretaroensis*), también conocida como tuna del cerro. Esta variedad es roja y tiene un alto contenido de azúcares y pectinas, que facilitan la producción del queso a partir de su jugo, a diferencia de la tuna convencional. En la elaboración del queso de tuna no se agrega cuajo, ya que posee propiedades coagulantes para lograr la consistencia deseada. En las siguientes tablas se muestran los componentes nutricionales de la tuna.

**Tabla 2. Contenido nutricional de la tuna cardona**

<i>Nombre del nutriente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor por 100 g de porción comestible</i>	<i>Valor por 138 g equivalente a una porción (2 piezas)</i>
<i>Aproximados</i>			
Humedad	g	87.55	119.94
Ceniza	g	1.64	2.25
Proteína	g	0.73	1.00
Grasa total	g	0.51	0.70
Carbohidratos	g	9.57	13.11
Alcohol	g	0	0.00
Energía (kcal)	kcal	41	56.17
Energía (kj)	kj	172	235.64
Otros carbohidratos			
Fibra, dieta total	g	3.6	4.93

Fuente: Elaboración propia con base en las referencias de Nutrient File, así como de tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (INCM SZ, 2016).

En la tabla se muestra el contenido de nutrientes de la tuna cardona por 100 g de porción comestible, así como los aportados por cada equivalente recomendado por el Sistema Mexicano de Alimentos y Equivalentes. En cuanto al contenido de fibra dietética total, se destaca que aporta 4.93 gramos por porción, lo que significa 16.43% de la ingesta diaria recomendada (IDR) para la población mexicana.

**Tabla 3. Minerales que aporta la tuna por 100 gramos de porción comestible y por equivalente**

<i>Nombre del nutriente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor por 100 g de porción comestible</i>	<i>Valor por 137 g, equivalente a una porción (2 piezas)</i>
<i>Minerales</i>			
Calcio	miligramos	56	76.72
Hierro	miligramos	0.3	0.41
Magnesio	miligramos	85	116.45
Fósforo	miligramos	24	32.88
Potasio	miligramos	220	301.40
Sodio	miligramos	5	6.85
Cinc	miligramos	0.12	0.16
Cobre	miligramos	0.08	0.11
Selenio	µg	0.6	0.82

Fuente: Elaboración propia con base en las referencias de Nutrient File, así como de tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (INCMSSZ, 2016).

El contenido de magnesio de la tuna es alto, pues aporta 36.39 % de la IDR.

**Tabla 4. Contenido de vitaminas de la tuna por 100 gramos de porción comestible y por equivalente**

<i>Nombre del nutriente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor por 100 g de porción comestible</i>	<i>Valor por 137g, equivalente a una porción (2 piezas)</i>
<i>Vitaminas</i>			
Betacaroteno (vitamina A)	µg	25	34.25
Equivalentes de actividad de retinol, RAE	µg	2	2.74
Folacina, total	µg	6	8.22
Folato, de origen natural	µg	6	8.22

continúa...

Equivalentes de folato dietético, DFE	µg	6	8.22
Niacina	miligramos	0.46	0.63
Equivalentes de niacina	nordeste	0.594	0.81
Riboflavina	miligramos	0.06	0.08
Tiamina	miligramos	0.014	0.02
Vitamina B-6	miligramos	0.06	0.08
Vitamina C	miligramos	14	19.18

Fuente: Elaboración propia con base en las referencias de Nutrient File, así como de tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (INCMSZ, 2016).

Se destaca que el contenido de Vitamina C cubre 22.83% de la IDR, por lo que es un alimento rico en esta valiosa vitamina.

**Tabla 5. Ácidos grasos**

<i>Nombre del nutriente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor por 100 g de porción comestible</i>	<i>Valor por 137g, equivalente a una porción (2 piezas)</i>
Ácidos grasos, monoinsaturados, total	gramo	0.075	0.10
16:01	gramo	0.002	0.00
18:01	gramo	0.072	0.10
Ácidos grasos, poliinsaturados, total	gramo	0.213	0.29
18:02	gramo	0.186	0.25
18:03	gramo	0.023	0.03
18:3n3cccn-3	gramo	0.023	0.03
Colesterol	miligramos	0	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en las referencias de Nutrient File y en tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (INCMSZ, 2016).

Además de su aporte en fibra y vitaminas, la tuna, como muchos otros vegetales, contiene una pequeña proporción de lípidos, específicamente 0.594 gramos de ácidos grasos por porción (2 piezas).

Revisado lo anterior, se concluye que la tuna es un alimento que aporta una cantidad adecuada de fibra dietética a la dieta, así como vitamina C y magnesio.

Diversos estudios le atribuyen beneficios en la salud cardiovascular y, por la cantidad de agua y fibra, ayuda en los procesos de digestión, evitando el estreñimiento, así como a la reducción de los niveles de glucosa en sangre, gracias a su capacidad de unirse con los carbohidratos en el intestino (Firco, 2017).

#### PROCESO DE ELABORACIÓN ARTESANAL DE QUESO DE TUNA CARDONA

Se comienza con la selección de tunas maduras y sanas. Se lavan y se pelan para obtener la pulpa, la cual se coloca en una olla de cobre (preferentemente) y se calienta a fuego alto. A medida que la pulpa se calienta, se agita constantemente con una cuchara de madera; al irse deshidratando, desprende una sustancia blanca y espumosa, que es la proteína coagulante natural de la tuna cardona. Esta sustancia se va mezclando con la pulpa a medida que se agita y hasta que se forma una masa compacta; es cuando se retira del fuego y se deja reposar por varias horas, hasta que se asienta. Una vez que se ha enfriado y asentado, se golpea hasta quedar de un color claro amarillento fácil de manejar (entre más se golpea, toma un color más claro); posteriormente, se vacía en moldes en forma de queso, puede ser rectangular o redondo (Ver Imagen 3). Se deja secar durante varios días hasta que adquiere la consistencia deseada.



Imagen 3. Queso de tuna. Imagen tomada del sitio web Larousse Cocina (<https://laroussecocina.mx/wp-content/uploads/2018/01/queso-de-tuna-001-Larousse-Cocina.jpg.webp>).

## METODOLOGÍA

La investigación se fundamenta con método cualitativo, con una muestra aleatoria de 20 sujetos relacionados con la producción del nopal y la tuna en la Región XI del Estado de México. Se utilizó el muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple, a través de la formulación de preguntas con base en una entrevista semiestructurada en un cuestionario, siguiendo un guion preestablecido para realizar las mismas preguntas a todos los productores de la región (Anexo I), en donde se sondeó la posibilidad de elaborar queso de tuna como una propuesta de solución a las diversas problemáticas a las que se enfrentan, las cuales se estudiaron para dar respuesta a la interrogante de viabilidad.

### *Análisis y discusión de resultados*

Los productores encuestados presentan un perfil demográfico predominantemente masculino: 96.72% de hombres, con una edad promedio de 47.3 años. En cuanto al estado civil, la mayoría (87.34%) se encuentra casados, seguida de solteros (5.87%), viudos (1.54%), divorciados (2.85) y unión libre (2.40%). Los detalles sobre su nivel educativo se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6. Escolaridad de los productores encuestados**

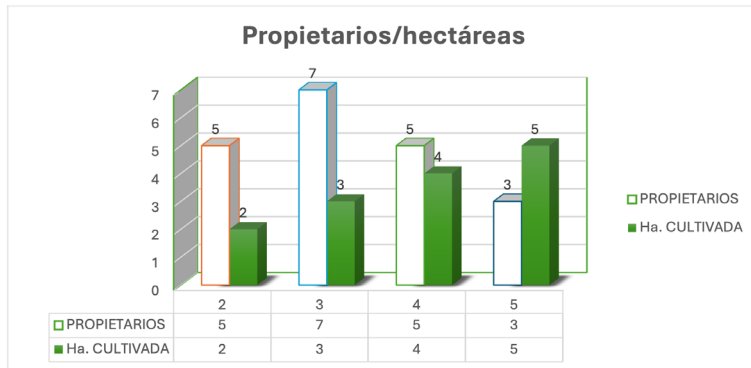
Sin estudios	3.20%
Con primaria	28.07%
Con secundaria	40.85%
Con bachillerato o estudios técnicos	31.02%
Con estudios superiores	5.56%

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas realizadas a productores de nopal de la zona XI del Estado de México.

El análisis de la tenencia de la tierra, según los datos que se presentan en la Gráfica 4, revela un patrón interesante. Tanto la superficie total de las propiedades como la porción dedicada al cultivo se encuentran en un rango similar, oscilando entre dos y

cinco hectáreas. Este dato sugiere una relación estrecha entre la extensión de la tierra y la actividad agrícola de los propietarios.

**Gráfica 4. Superficie total de tierras y porción cultivada por los propietarios**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos que arrojó el cuestionario.

En cuanto a las preguntas acerca de las variedades de nopal cultivado, los resultados de la investigación indicaron que el cultivo del nopal tunero es importante para los productores de esta zona; sin embargo, 5% de ellos optan por producir más nopal verdura, pues impacta positivamente en su economía, ya que se cultiva todo el año, mientras que la producción del tunero es por temporada y depende en gran medida de que la producción se aproveche al máximo.

Ahora bien, se obtuvieron resultados de que los problemas principales a los que se enfrenta el pequeño productor es a que los intermediarios acaparan el producto y establecen precios bajos; esto incrementa cuando existe buena cosecha y los costos aumentan en relación con la utilidad.

Bajo dicho comportamiento por parte de los compradores, algunos productores prefieren dejar el producto perdido en los plantíos y aquí surge la nueva alternativa: elaborar queso de tuna, encontrando la oportunidad de que sea producido y que las familias productoras obtengan ingresos, generando también a las nuevas generaciones de jóvenes oportunidades de ingresos, si es que les resulta interesante esta actividad. Aunque el queso de tuna no se conoce en esta región, 90% de los entrevistados dijeron estar interesados en su elaboración y comercialización.

### *Rentabilidad del queso de tuna*

La rentabilidad de cualquier actividad económica depende de diferentes agentes económicos, desde los que abastecen los insumos para la producción hasta los agentes de la comercialización.

En el caso de la zona XI del Estado de México, los productores se enfrentan a dos retos para poder consumir su producción: el primero es la falta de tecnología en la producción y los cambios climáticos; el segundo es la cadena de comercialización, que incluye demasiados intermediarios, lo que trae como resultado que haya precios bajos en el productor y precios altos hacia el consumidor; o bien, el desperdicio del producto (Corrales y Flores, 2003).

Para enfrentar este último reto, y debido a que la tuna es perecedera, los productores pueden aprovechar las temporadas altas de producción en los meses de junio a noviembre para elaborar queso de tuna, pues la caducidad de este es de aproximadamente un año, sin conservadores.

Así, la elaboración y venta de queso de tuna es un área de oportunidad comercial por la alta producción de este fruto, y puede ser rentable para algunas empresas y productores del Estado de México debido a la creciente demanda de productos alimentarios exóticos y a la popularidad que ha adquirido este producto en los últimos años, amén de la exportación de tuna hacia Estados Unidos, Canadá y, en menor proporción, a Chile, Holanda, Alemania, Bélgica y Francia (Firco, 2017).

## CONCLUSIONES

El estudio sobre la producción de queso de tuna ha arrojado resultados prometedores. Se ha demostrado que la elaboración de este producto es una alternativa viable y rentable, especialmente para los pequeños productores. Esto se debe a que permite aprovechar la tuna, una fruta con un ciclo de vida corto, transformándola en un producto de conserva y con una inversión mínima en infraestructura.

Además, la producción de queso de tuna representa una oportunidad para impulsar el emprendimiento en la zona XI del Estado de México, incentivando a las nuevas generaciones a desarrollar proyectos innovadores con miras a la exportación.

Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que exploren a fondo la producción, comercialización y exportación del queso de tuna, con el fin de consolidar su desarrollo y aprovechar al máximo su potencial.

## ANEXO I

Cuestionario aplicado a productores de tuna en el Estado de México, Región XI

### *Preguntas demográficas*

Género: \_\_\_\_\_

¿Cuántos años tiene? \_\_\_\_\_

¿Cuál es su estado civil? \_\_\_\_\_

¿Qué nivel de educación tiene? \_\_\_\_\_

### *Preguntas acerca de tenencia de tierra*

¿Qué superficie de tierra posee? \_\_\_\_\_

¿Cuánta superficie está cultivada? \_\_\_\_\_

### *Preguntas acerca de las variedades de nopal*

¿Qué variedad de nopal(es) sembró en los últimos dos años?

Nopal verdulero \_\_\_\_\_.

Nopal tunero \_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle \_\_\_\_\_.

¿Cuántos años ha cultivado usted esta(s) variedad(es)?

Nopal verdulero \_\_\_\_\_.

Nopal tunero \_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle \_\_\_\_\_.

¿Cuándo (en qué meses) sembró usted esta(s) variedad (es)?

Nopal verdulero \_\_\_\_\_.

Nopal tunero \_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle \_\_\_\_\_.

¿Vendió usted esta(s) variedad(es) el año pasado?

Nopal verdulero\_\_\_\_\_.

Nopal tunero\_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle\_\_\_\_\_.

¿Cuántas cajas vendió?

Nopal verdulero\_\_\_\_\_.

Nopal tunero\_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle\_\_\_\_\_.

¿Cuántos kilos pesa cada caja?

Nopal verdulero\_\_\_\_\_.

Nopal tunero\_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle\_\_\_\_\_.

¿A qué precio lo vendió?

Nopal verdulero\_\_\_\_\_.

Nopal tunero\_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle\_\_\_\_\_.

¿Dónde realizó la comercialización?

Nopal verdulero\_\_\_\_\_.

Nopal tunero\_\_\_\_\_.

Nopal xoconostle\_\_\_\_\_.

*Preguntas acerca del nopal tunero*

¿Qué variedad de tuna es la de mayor producción?

Verde\_\_\_\_\_.

Cardona\_\_\_\_\_.

Amarilla\_\_\_\_\_.

*Preguntas acerca de problemas de producción*

¿Cuáles son los problemas de producción de nopal más importantes en su propiedad?

---

---

---

---

---

---

¿Cuáles son los problemas a los que se enfrenta para su comercialización?

---

---

---

---

---

---

¿Qué hace con la producción de tuna que no se comercializa?

---

---

---

---

---

---

¿Usted sabe o conoce del queso de tuna?

---

---

---

---

---

---

En caso de conocer el queso de tuna, ¿sabe usted los procesos para su elaboración?

---

---

---

---

---

---

¿Le resultaría interesante elaborar queso de tuna como una opción adicional de comercialización?

---

---

---

---

---

---

## REFERENCIAS

- Ángeles, J., Anaya, J., Arévalo, M., Leyva, G., Anaya, R. y Martínez, T. (2014). “Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1):129-141.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2014). En línea: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales>
- Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de México (Copladem, 2023). Dictamen de la División Regional, Regionalización 2017-2023. Gobierno del Estado de México. En línea: [https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Regionalizacion\\_2017\\_2023.pdf](https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Regionalizacion_2017_2023.pdf)
- Corrales, G. y Flores, V. (2003). “Nopalitos y tunas: producción, comercialización, postcosecha e industrialización”. CIESTAAM-Programa nopal. Universidad Autónoma Chapingo.
- Erre, P., Chesa, I., Nieddu, G. y Jones, P. (2009). “Diversidad y distribución espacial de *Opuntia spp.* en la Cuenca Mediterránea”. *J. Medio Árido*. 73: 1058-1066.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (Firco, 2017). “La tuna, una fruta muy mexicana”. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco>
- Flores, D., Reyes, A., Navarro, H., Pérez, M. y Almaguer, G., (2023). “Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(12). Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.3079>
- García, E., Peña, O., Estrella, C., Manzano, R. y Delgado, W. (2004). “Componentes de una estrategia para el desarrollo agrícola regional en Pinos, Zacatecas: el nopal tunero como su elemento central”. *Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática*. 8(1):83-102.
- Hernández, B., Ruiz, A., Ramírez, V., Sandoval, S. y Dávila, M. (2020). “Análisis económico de productores y comercializadores de nopal en el Valle de Teotihuacán”. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*. México, 9(17).
- INCMNSZ (2016). Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios. Consultado en: [https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS\\_ALIMENTOS.pdf](https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALIMENTOS.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2000). Censo de Población y Vivienda 2010. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <https://www.inegi.or.mx/programas/ccpv/2010/>
- Canadian Nutrient File (CNF). Nutrient profile. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de: <https://food-nutrition.canada.ca/cnf-fce/report-rapport>

- Ramírez, O., Figueroa, E. y Espinosa, L. (2015). “Análisis de rentabilidad de la tuna en los municipios de Nopaltepec y Axapusco, Estado de México”. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1199-1210.
- Saravia, P. (2002). Agrupamientos productivos (clúster) del nopal. Secretaría de Economía. En línea: [http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal\\_mexico.PDF](http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal_mexico.PDF)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021). “Producción de tuna en el Estado de México. Gobierno de México”. <https://www.gob.mx/agricultura/edomex/articulos/produccion-de-tuna-en-el-estado-de-mexico?idiom=es>
- Secretaría del Campo, Estado de México. (2020). “Nopal tunero”. Gobierno del Estado de México. En línea: <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/realiza-gem-campana-manejo-fitosanitario-del-nopal-tunero>
- Secretaría del Campo (2022). “Cierra EDOMEX año 2022 como líder nacional en producción de tuna”. Gobierno del Estado de México. En línea: <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/cierra-edomex-ano-2022-como-lider-nacional-en-produccion-tuna#:~:text=Metep%C3%A9xico%20de%20diciembre%20de%202022.&text=En%20este%20sentido%20este%20a%C3%B1o,%20Nopaltepec%20Temascalapa%20y%20Teotihuac%C3%A1n>
- Secampo (Secretaría del Campo del Estado de México, 2023). “Primeros lugares de producción agrícola y florícola del Estado de México, cierre 2023”. Gobierno del Estado de México. [https://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Produccion\\_Campo/1\\_Lugares\\_AgriyFloriCierre2023.pdf](https://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Produccion_Campo/1_Lugares_AgriyFloriCierre2023.pdf)
- Servicio e Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016). Estadística de producción agrícola. Gobierno de México. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Torres, R., Morales, D., Ballinas, M. y Nevárez, G. (2015). “El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129-1142. Recuperado el 20 de junio de 2023, de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&tlng=es)



# EL NOPAL, CAMINO VERDE HACIA LA SOSTENIBILIDAD

*Adla Evelyn Escobar Cisneros<sup>1</sup>*

*Álvaro Díaz Andrade<sup>2</sup>*

*Georgina Gutiérrez García<sup>3</sup>*

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Informe Brundtland: “el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). Es decir, se advierte que la generación actual está obligada a saber administrar los recursos que brinda la naturaleza para que las generaciones venideras puedan conservar y mantener un nivel de vida con las mismas o mejores posibilidades de vida y alimentación.

En general, el concepto enfatiza la búsqueda de un equilibrio entre el respeto por el medio ambiente, el crecimiento económico y el bienestar social. La sustentabilidad en el medio ambiente se logra siempre que el uso de los recursos naturales se mantenga dentro de los límites de renovación y aumento natural, comenzando por planificar el uso de los recursos y determinando qué efectos tiene el uso sobre todo el ecosistema (Ávila, 2018).

La sostenibilidad económica puede lograrse, por ejemplo, cuando las empresas o personas, con un criterio rentable, hacen posible que sus proyectos sean financieramente exitosos. La sostenibilidad social, por otro lado, se puede lograr apoyando proyectos para mantener la cohesión de la comunidad, para implementar objetivos comunes

---

<sup>1</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México.

<sup>3</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico ggutierrezga@uaemex.mx

relacionados con la mejora de las condiciones de vida. Un ejemplo de esto son las organizaciones no gubernamentales (ONG) sociales y ambientales (Ávila, 2018).

Por tanto, se propone que en la sostenibilidad (Figura 1) se desarrollen estrategias que permitan interactuar de forma eficiente y continua las dimensiones de medio ambiente, sociedad y economía, mediante el apego a los principios ecológicos y prácticas económicas eficientes para proporcionar calidad de vida para el individuo y la comunidad. Así, se podrán satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer las necesidades futuras.

**Figura 1. Interacción entre las dimensiones de la sostenibilidad**



Fuente: Elaboración propia a partir de Patil y Hugar (2005).

Es conveniente considerar que organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), mediante la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), crean los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Mediante ocho objetivos se le compromete a los Estados miembro de las Naciones Unidas a luchar contra la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo, la degradación medioambiental y la discriminación de la mujer, con vigencia a 2015 (OMS, 2018).

Para dar seguimiento a una sociedad en crecimiento y con necesidades básicas medianamente cubiertas, se publican los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también llamada Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible; en ella, se hace énfasis en la necesidad de actuar para hacer frente a la creciente pobreza y a la emergencia

climática. La Agenda consta de 17 objetivos para las personas y para el planeta; en cada uno de ellos se plantean 169 metas y se miden por indicadores globales.

Este panorama de emergencia climática exige un nuevo enfoque agrícola para garantizar una alimentación suficiente, segura y nutritiva que respete los derechos humanos. Los miembros de la FAO tienen una visión común de la alimentación y la agricultura sostenibles, donde la agroecología es una respuesta clave para guiar la transformación sostenible de los sistemas alimentarios. En esta revisión de la bibliografía se considerará al ODS 2 Hambre cero, pues se contempla que son las pequeñas granjas las que proporcionan hasta 80% de los alimentos que se consumen en gran parte del mundo en desarrollo. Invertir en pequeños agricultores, hombres y mujeres, es una forma importante de aumentar la seguridad alimentaria y la nutrición para los más pobres, así como la producción de alimentos para los mercados locales y mundiales.

Asimismo, se considerarán las siguientes metas: ODS 2, meta 2.1: “Para 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular los pobres y las personas en situaciones vulnerables, incluidos los lactantes, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año” (ONU, 2022).

ODS 2, meta 2.4: “Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra”.

Para articular la teoría con la práctica, Altieri y Toledo (2011) plantean el siguiente concepto de *sistemas alimentarios agrícolas*, en los cuales se propone la intervención de las tres dimensiones de la sostenibilidad:

agroecológicos basados en ciclos de producción y consumo locales difieren significativamente de las cadenas alimentarias industriales. Muchos agricultores tradicionales intentan adoptar una estrategia de uso múltiple de los recursos naturales, creando mosaicos de paisajes con alta variabilidad ecológica y biodiversidad. Una de las características más importantes de los sistemas de cultivo es la gran diversidad de especies de plantas presentes en los sistemas de policultivo y/o modelos agroforestales (Altieri y Toledo, 2011).

Por lo anterior, es conveniente considerar a especies productivas locales con amplia aceptación social, cultural y alto valor nutrimental, como el nopal (*Opuntia ficus indica*), como una alternativa de sistema alimentario agrícola y agroecológico, basado en ciclos de producción y de consumo local. Debido a la alta adaptabilidad de la especie a diferentes zonas geográficas, tiene presencia en casi toda la República mexicana. De acuerdo con la FAO (2018), es la cactácea de mayor importancia agronómica debido a que los humanos pueden consumir los cladodios y los frutos, utilizándose también como forraje. Los antecedentes históricos del uso y consumo del nopal (*Opuntia ficus indica*) datan de la época prehispánica, pues en casi todas las lenguas indígenas mexicanas existe una denominación para dicha planta (Vela, 2023).

El nopal es una especie que tiene una alta resiliencia a distintos climas, altitudes y precipitaciones. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), en 2021, también menciona que los nopales son nativos de varios ambientes, desde el nivel del mar hasta elevaciones de más de 4 700 m en las montañas; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre arriba de 5° C hasta regiones de Canadá que tienen hasta -40° C en el invierno; aunque en estos ambientes hay menor riqueza, suelen encontrarse especies endémicas de gran importancia. En México, el género *Opuntia spp* tiene una amplia distribución. Las regiones con mayor riqueza de especies son el centro y norte del altiplano, el noroeste, el bajío, el eje neovolcánico y el valle de Tehuacán-Cuicatlán (Conabio, 2021).

Morfológicamente, son matorrales crasicaules, vegetación con predominancia de cactáceas, en donde destacan diferentes especies de nopal (*Opuntia ficus indica*); varían en su estructura y composición en función de la humedad, la temperatura, el sustrato y el uso al que han sido sometidas; son comunidades biológicas con gran diversidad de microhábitats que proveen alimento y refugio a mamíferos, reptiles, anfibios, aves e insectos. Una característica clave de las nopaleras es su succulencia, que se manifiesta de dos formas: en el nivel morfológico por sus gruesos cladodios y en el nivel anatómico por sus diversas capas de células almacenadoras de agua (Conabio, 2021).

De este modo, en las zonas áridas y semiáridas de México diferentes factores limitan el crecimiento de las plantas y es el agua el principal factor limitante; sin embargo, existen también otras características, como los vientos fuertes, cambios bruscos de temperatura, deficiencia de nutrimentos en el suelo y la presencia de sales y sustancias tóxicas. La evolución de los nopales tuneros en este tipo de ambientes

ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia spp.* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que le permiten adaptarse a condiciones adversas. Una modificación importante es la reducción de sus hojas y esto contribuye a evitar la pérdida de agua (Conabio, 2021).

En 2020, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) reporta que por las características anteriores existe un creciente interés a nivel internacional por el cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica*). En países como Marruecos, Etiopía, Sudáfrica, Kenia, India y Pakistán se está incrementando su producción y uso debido a que ofrece, además, una opción para atender la demanda alimentaria por su fruta y sus cladodios tiernos, así como para uso forrajero. Así también, en Brasil se utiliza como forraje para la producción ganadera; en Argentina, Bolivia y Perú es aprovechado para la alimentación a partir de su fruto: la tuna, así como para la producción de cochinilla para pigmentación. En el caso de Asia, África y Australia lo utilizan para la recuperación de suelos donde la erosión ya no permite otros cultivos. Y el consumo en la dieta humana se ha extendido a países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Italia y Turquía.

Desde el área de la salud, a partir de la última década, se han desarrollado diversas investigaciones relacionadas al contenido de compuestos bioactivos (Aragona et al., 2018; Attanzio et al., 2022), nutraceuticos (Sinicropi, et al., 2022; Lee, et al., 2022), uso en la industria alimentaria (Todhanakasem et al., 2022; Christopoulos, et al., 2022) y tratamiento de patologías (Antunes et al., 2021; Terzo et al., 2021). Por su bajo contenido calórico y alto en fibra, el nopal (*Opuntia ficus indica*) es aprovechado como complemento para disminuir los niveles de glucosa en la sangre. También se utiliza como auxiliar para prevenir la osteoporosis y controlar la gastritis, ya que contrarresta la acidez del estómago y ayuda a proteger la mucosa natural del mismo; se suman otras utilidades como el tratamiento de padecimientos en la piel, golpes, quemaduras y como antiinflamatorio (Semarnat, 2020).

Por lo anterior, el objetivo es analizar la producción del nopal (*Opuntia ficus indica*) mediante una revisión bibliográfica exploratoria, bajo la perspectiva de la sostenibilidad en sus tres dimensiones: económica, social y ambiental en México durante en el periodo de 2017 a 2022; asimismo, identificar la relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 Hambre Cero.

## METODOLOGÍA

Es una investigación cualitativa de revisión documental de tipo exploratoria que busca analizar la producción de nopal (*Opuntia ficus indica*) por medio de las dimensiones económica, social y ambiental de la sostenibilidad en el periodo 2017-2022, además, identificar su relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 Hambre Cero. Los busca datos con respecto a las dimensiones se obtuvieron mediante la revisión de la bibliografía especializada en agricultura y las necesidades de la especie bajo los criterios PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher, et al. 2009) de metaanálisis en red. Para la búsqueda se utilizaron las palabras clave: nopal (*Opuntia ficus indica*), económica, social, ambiental y México —tanto en título como dentro del resumen del artículo— en los últimos cinco años y en revistas indexadas en Journal Citation Reports; asimismo, se buscaron noticias en publicaciones periódicas y reportes de dependencias gubernamentales en México.

Fueron excluidos los escritos con carácter de comentarios, publicaciones en idiomas diferentes al inglés y español, escritos que pertenecieran a fuentes no oficiales, revistas sin sustento científico y de metabuscadores.

## RESULTADOS

Al aplicar las palabras clave con la combinación de: *Opuntia ficus indica*, económica, social, ambiental y México, resultó que se abordan temas como el impacto de las plagas en el cultivo (Hernández, et al., 2019; Cibrián, 2019; Laureano, et al., 2021), uso del mucílago en la remoción de metales en acuíferos (Vargas, et al., 2022) y adición del nopal (*Opuntia ficus indica*) en piensos en diferentes especies productoras de carne (SADER, 2020).

### *Dimensión económica*

Conforme a la revisión en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con respecto a la producción de nopal verdura por tonelada (t) durante el periodo 2018-2023 (Tabla 1), se incluyen datos de riego y temporal.

**Tabla 1. Producción de nopal verdura (t) de 2018 a 2022**

<i>Año</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>
Centro	72 6508	750 571	737 385	724 795	731 463
Centro-occidente	77 897	93 368	84 216	97 811	98 995
Noreste	26 252	14 658	14 372	27 631	28 803
Noroeste	20 358	31 104	12 675	16 397	10 608
Sur-sureste	2 480	2 120	14 086	2 323	2 282
Total	853 495	891 821	862 733	68 956	872 151

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP.

Para identificar las zonas productivas, la República mexicana se dividió en cinco regiones agroalimentarias, conformadas por diferentes entidades federativas.

1. Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit.
2. Noreste: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas.
3. Centro-occidente: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro y San Luis Potosí.
4. Centro: Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala.
5. Sur-sureste: Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Chiapas, Yucatán y Oaxaca (SADER, 2021).

Los estados con mayor producción son: Morelos, Ciudad de México, Estado de México, Jalisco y Puebla, de los cuales los municipios con mayor producción (de mayor a menor) son: Tlalnepantla (Morelos), Milpa Alta (Ciudad de México), Tlayacapan (Morelos), Totolapan (Morelos) y Otumba (Estado de México). De acuerdo con el boletín de 2022 del SIAP, la buena oferta de nopalitos durante todo el año permite total disponibilidad nacional e, incluso para exportar, con los mayores volúmenes en marzo y junio.

Para cumplir con las características de calidad de exportación, en México se aplican dos normas de calidad oficiales, una internacional y una nacional. La primera, internacional, es la Norma del Codex para el Nopal, también denominada CODEX STAN 185-1993, que indica que los nopales deben estar exentos de espinas, manchas,

daños causados por plagas y temperaturas bajas, olor y sabor extraños; asimismo, deben estar suficientemente desarrollados, con grado de madurez satisfactorio, según la naturaleza del producto (FAO, 2007).

La segunda norma mexicana es NMX-FF-068-SCFI-2006 Hortaliza Fresca-Nopal Verdura (*Opuntia spp*) Especificaciones; dentro de sus especificaciones incluye: clasificación del nopal (*Opuntia ficus indica*) por grado de calidad, tamaño y variedad; además, deben ser nopales frescos, limpios, sanos, libres de pudrición, enteros, bien formados, con coloración, sabor y olor característicos de la especie y variedad, con consistencia firme y exentos de humedad (DOF, 2007).

Ambas normas difieren en las categorías de clasificación, tamaño o grado de calidad y apariencia. Ninguna de las normas hace referencia a las características específicas que debe presentar el nopal verdura para exportación, aunque un apartado en la norma del Codex Stan 185-1993 (*Codex Alimentarius*) de 2005 menciona: “los gobiernos, al indicar su aceptación de la norma del Codex 185-1993, para el Nopal, deberán notificar a la Comisión cuáles disposiciones de la Norma serán aceptadas para aplicarlas en el punto de importación y cuáles para aplicarlas en el punto de exportación”(FAO, 2007).

Los cultivos de nopal (*Opuntia ficus indica*) se pueden clasificar, por los objetivos de rendimiento, como de traspatio o autoconsumo; intensivo, donde se busca obtener grandes volúmenes de producción en espacios reducidos; y extensivo, con grandes terrenos, minimizando los recursos por hectárea (Semarnat, 2017). En el Compendio de Estadísticas Ambientales (2017) se reporta que en 2016 se produjeron 320 t con un rendimiento de 80 000 kilogramos por hectárea (kg/ha) de cultivos orgánicos. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019), el área de cultivo a nivel nacional es de 12 799 ha, con una producción de 891 821 t, un rendimiento promedio de 71 t/ha y aproximadamente se aportan 2 425 003 590.00 pesos/MN de ingresos, generando empleos directos e indirectos (Solís, et al., 2021).

México es uno de los exportadores constantes de nopal (*Opuntia ficus indica*) en dos categorías: frescos y conservados en vinagre (SADER, 2022). Los datos de exportación (Tabla 2) se identificaron en diferentes fuentes; se reporta en toneladas (t) y con diferentes países. En 2021 solo se reporta el destino de la exportación en fresco, y por orden de volumen fueron: Estados Unidos, Corea del Sur, República Checa, Malasia, Canadá, Países Bajos, Japón, Alemania, Francia, Dinamarca y Hong Kong (SIAP, 2022).

**Tabla 2. Exportaciones de nopal verdura**

<i>Año</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>
Nopal (t)	49 663	51 598	55 139	55 029	61 387
Valor (millones de dólares)	16.0	19.3	18.6	21.1	22.1

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2022.

### *Dimensión social*

El cultivo de nopal en México tiene alta presencia; las personas que desarrollan esta actividad pueden ser familias que tienen al menos un integrante que complementa sus ingresos económicos con otras actividades, mejorando la calidad de vida en el hogar (Solís, et al., 2021), por lo tanto, esta actividad genera autoempleo y autoconsumo (Terrazas, et al., 2020), lo que permite el desarrollo endógeno en comunidades (Torres y Cornejo, 2018); genera identidad y cultura en quien la desarrolla (de Albuquerque et al., 2019; Terrazas, et al., 2020). Por otro lado, la cercanía entre las zonas productivas rurales o semirurales y zonas urbanas permite que el acceso sea constante, aunque la disponibilidad depende de los factores ambientales (Aguilar y Sánchez, 2022). La comercialización del nopal depende de la organización social administrada por los agricultores (Aguilar y Sánchez, 2022) y por asociaciones comerciales, constituidas por los mismos productores locales (Bonilla, et al., 2020).

En esta dimensión, también se identificó la presencia de organizaciones de la sociedad civil, como el Banco de Alimentos del Estado de México (BAMX EDOMEX), que reciben donativos en especie mediante el proyecto y rescate alimentario. Dentro del listado de los alimentos que aceptan se encuentra nopal (*Opuntia ficus indica*) y se dedican a rescatar alimentos en buenas condiciones para llevarlos a familias vulnerables, ello a través de programas de casos especiales e instituciones de asistencia social, con la finalidad de mejorar la alimentación y la nutrición en la zona poniente del Estado de México (BAMX EDOMEX, 2023).

### *Dimensión ambiental*

Por las características morfológicas y fisiológicas de la especie es fácil encontrarla distribuida en las cinco zonas productivas de la República mexicana; sin importar

sus diferencias, tiene presencia de diversos climas y tipos de suelos. Los cladodios de un año pueden tener un rendimiento de hasta 90% anual, aunque la fertilidad se ve condicionada por la edad de la planta, estadio de crecimiento y las condiciones ambientales.

De acuerdo con Inglese et al. (2018), el nopal (*Opuntia ficus indica*) es una planta con metabolismo del ácido crasuláceo (MAC). Este tipo de metabolismo garantiza la supervivencia, desarrollo y potencial del cultivo. Se atribuye al patrón nocturno de la fijación del carbono y pérdida de agua, esto se debe a que el nopal (*Opuntia ficus indica*) abre sus estomas en la noche para fijar CO<sub>2</sub>. Las temperaturas nocturnas son más bajas que las diurnas y la humedad es relativamente más alta. Por lo anterior, se reduce la transpiración por la apertura de los estomas (órganos de almacenamiento de agua) hasta 90-95%, comparado con 40-70% de los maderables, la pérdida de agua, la baja proporción de raíz, así como la parte aérea. El crecimiento es más rápido durante la temporada húmeda y hay reciclado interno de agua del parénquima al clorénquima (Inglese et al., 2018).

El nopal (*Opuntia ficus indica*) crece y se adapta a suelos limitados por sus capas duras en los primeros 25 cm, pero no le favorece la salinidad alta ni los suelos inundables por su sensibilidad a anoxia. Para obtener una buena cosecha es necesario mantener la relación a los requerimientos edáficos, la disponibilidad de calcio y potasio. Con respecto a la absorción de CO<sub>2</sub> y la disponibilidad de agua, las temperaturas óptimas para la absorción nocturna de CO<sub>2</sub> se reducen si las plantas están sometidas a condiciones de sequía; posterior a ello, la rehidratación de los cladodios muestra una recuperación completa en términos de peso seco, fresco y tasa de intercambio de gases (Inglese et al., 2018).

La temperatura es otro de los factores productivos a considerar. Los ideales son: temperatura diurna de 25°C y nocturna de 15°C para alcanzar la máxima productividad fotosintética. Cuando es mayor a 30°C se reduce alrededor de 70% la actividad fotosintética, acortando la tercera etapa de mayor crecimiento de la porción comestible del fruto, firmeza; altera el contenido de azúcares y aumenta la sensibilidad del fruto a las temperaturas bajas (menor a 8 °C) afectando el almacenamiento poscosecha (Inglese et al., 2018).

El cambio climático y los gases de efecto invernadero han provocado el aumento de la temperatura global, condiciones a las que se adaptó el nopal (*Opuntia ficus indica*). Debido a que, en ambientes cálidos y secos aún encuentra condiciones

favorables para realizar la absorción de CO<sub>2</sub> cuando la temperatura del aire es más baja en comparación que las diurnas, es importante considerar que la temperatura letal es hasta 66°C; aunque, la velocidad de calentamiento y los eventos climáticos extremos pueden determinar la sobrevivencia actual de las plantas y limitar el cultivo (Inglese et al., 2018).

El calentamiento global tiene poco efecto en el desarrollo del nopal; de acuerdo con Bacarrillo (2022), la alteración en el número de horas y temperatura se mantienen dentro de los rangos óptimos necesarios para la producción. Respecto a los eventos climáticos extremos que condicionan la humedad del suelo y las precipitaciones, se altera el ancho, longitud y grosor de los cladodios, pues estos se someten a estrés hídrico, generando disminución en su biomasa fresca; sin embargo, pueden ser utilizados como alternativa de forraje en especies como bovinos, caprinos, ovinos y fauna silvestre (Bacarrillo, et al., 2021).

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (2021) afirma que el nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser cultivado en gran parte de la superficie de la tierra, principalmente en regiones áridas, semiáridas o territorios que están por convertirse en zonas secas, debido al mecanismo fotosintético que le permite ser tres veces más eficiente que el pasto o las leguminosas. Dicha Comisión también promueve el reconocimiento de las nopaleras silvestres y de solar como métodos de conservación sustentable de las especies y las variantes existentes en el país para el futuro.

En el 2018 se realizó un inventario nacional del género *Opuntia* en la República mexicana en el que se revisaron 38 herbarios nacionales y tres herbarios de Estados Unidos de América. Con ello se registraron 93 especies, de ellas 61 son endémicas y cinco son nuevas especies: *Opuntia tezontepecan*, *Opuntia leischeinvariana*, *Opuntia gallegiana*, *Opuntia sain-altensi* y *Opuntia matudae subsp. Pupurea* (SNICS, 2018).

Las unidades productivas de nopal (*Opuntia ficus indica*) de calidad de exportación exigen características inherentes en la dimensión ambiental, debido a que la calidad de los productos hortofrutícolas es relevante para la aceptabilidad y éxito en su comercialización en los mercados nacionales e internacionales. Dentro de las características de calidad, la inocuidad resalta debido a la importancia que en el comercio global se da a la producción de alimentos libres de contaminantes biológicos, químicos y físicos (Avendaño et al., 2007).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2014) en la Regla para la calificación de material de propagación de nopal (*Opuntia ficus indica*), en el punto 4 “Criterios y especificaciones de campo”, señala que en las unidades de inscripción destinadas a la producción de cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica*) solo se multiplica una sola variedad de nopal (*Opuntia ficus indica*) y deberá localizarse en un terreno plano y de fácil acceso, con buen drenaje y facilidades de riego para el manejo eficiente. Se debe considerar el aislamiento a una distancia mínima de 100 metros con respecto a plantaciones comerciales para evitar mezclas o contaminación física y fitosanitaria. Asimismo, se señala que se removerán todas las plantas que presenten síntomas de infecciones causadas por virus y viroides o aquellas que presenten características diferentes a la variedad que se desea calificar.

El cultivo de nopal (*Opuntia ficus indica*) en México se basa en un sistema tradicional y un sistema de micro túneles. Se diferencian en la densidad de plantación, distancia entre pencas y tipo de fertilizantes. En el sistema tradicional, hay en promedio 15 000 a 40 000 plantas por hectárea; la distancia entre pencas es de 30 a 40 cm entre plantas y de 80 a 100 cm entre hileras, plantando pencas maduras de entre dos y tres años; se fertiliza con estiércol bovino como medio de fertilización (más de 100 t ha<sup>-1</sup>) cada dos o tres años, el cual es complementado por fertilizantes minerales, como urea o sulfato de amonio y con un rendimiento varía de 30 a 80 t/ha (Galicia et al., 2017).

El sistema de micro túneles emplea densidades de plantación de 120 000 a 160 000 plantas por hectárea, utilizando camas de 1.2 a 2 m de ancho y de 40 a 47 m de largo, con una separación de 1 a 1.5 m; se fertiliza con estiércol bovino (100 a 200 t ha<sup>-1</sup>), nitrógeno (100 a 200 kg ha<sup>-1</sup>) y fósforo (80 a 100 kg ha<sup>-1</sup>) y con un rendimiento de 179 a 263 t ha<sup>-1</sup>. También implica un cubrimiento de las plantaciones, lo que va a incrementar los rendimientos en climas fríos (Galicia et al., 2017).

De acuerdo con Galicia, et al. (2017), el destino de los cladodios dependerá de las características en función de la calidad y la comercialización; se realiza en dos modalidades: para consumo directo o elaboración de productos mínimamente procesados. Para la comercialización en mercados internacionales se requiere aplicar a estándares de calidad adicionales con la finalidad de generar un grado adecuado de competitividad.

## DISCUSIÓN

La producción de nopal verdura de 2018 a 2022 aumentó en 2%. En promedio, en este periodo se produjeron 869 831 t por año, con la mayor producción en 2019. Es conveniente resaltar que la zona de mayor producción es la centro, sin embargo, en las zonas centro-occidente y noreste incrementó la producción 27 y 9%, respectivamente, lo que permite observar que el aumento del rendimiento se debió a un manejo de micro túneles, lo que generó las condiciones climatológicas necesarias para que la plantación produjera durante casi todo el año, si bien las plantaciones comerciales se ubican en regiones con precipitaciones pluviales de 600 a 800 mm en verano (Galicia, et al., 2017).

En 2018, SAGARPA realizó una inversión de casi 12 millones de pesos en el Componente Infraestructura Productiva en el Aprovechamiento Sustentable del Suelo y Agua (IPASSA), esto benefició a productores con tecnificación para dotar de agua a los cultivos de nopal (Representación Agricultura Michoacán, 2018) y se refleja en los datos reportados por el SIAP, ya que entre 2018 y 2019 aumentó la producción de nopal por riego 12%.

En la zona noroeste se puede observar un decremento de 47% en la producción entre 2018 a 2022. Lo mismo sucede con la zona sur-sureste, donde disminuyó 8%. Es relevante destacar que no se reporta producción de nopal en los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo y Tabasco, esto debido a que el clima y la humedad en estas zonas no son las óptimas para su cultivo. Con lo anterior, se puede inferir que se comercializan y consumen dentro o cerca de las zonas de cultivo. El cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica*) se puede llevar a cabo como una alternativa en la generación de ingresos económicos extra al interior de la familia.

El destino de la producción de nopal (*Opuntia ficus indica*) no solo es local o regional, se identificaron datos de alta relevancia de exportación en fresco a países como Estados Unidos, Corea del Sur, República Checa, Malasia, Canadá, Países Bajos, Japón, Alemania, Francia, Dinamarca y Hong Kong. Para lograr la exportación es indispensable que exista la eficiencia y potencialización en el uso de recursos por parte de los productores y que estos cumplan con las especificaciones de la Norma del Codex para el nopal, también denominada CODEX STAN 185-1993.

En los esquemas de certificación existen varios programas, estándares e iniciativas de seguridad alimentaria que son reconocidos por la Global Food Safety Initiative

(GFSI). Aunque en sí no es un programa de certificación y no lleva a cabo actividades de acreditación o certificación, el reconocimiento de GFSI otorga autoridad a los respectivos esquemas, actuando como un “pasaporte de seguridad alimentaria” en el mercado global.

El estándar GLOBALG.A.P. se desarrolló para asegurar a los consumidores que la producción de alimentos a nivel de granja se lleva a cabo minimizando los impactos negativos de las operaciones agrícolas en el medio ambiente y asegurando un enfoque responsable de los problemas de salud y seguridad de los empleados y la salud animal; incluye el Manejo Integrado del Cultivo (MIC), Manejo Integrado de Plagas (MIP), Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad (SENASICA) aplica el Procedimiento de certificación o reconocimiento en Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC), definiéndose como las medidas y procedimientos para garantizar que durante el proceso de producción primaria de vegetales y empaque se apliquen óptimas condiciones sanitarias para reducir la contaminación física, química y microbiológica.

Es importante mencionar que la Ley de Modernización de la Seguridad Alimentaria (FSMA por sus siglas en inglés) es de gran relevancia para México, ya que se trata de la reforma más radical de las leyes de seguridad alimentaria en más de 70 años. Esta ley fue firmada el 4 de enero de 2011 por el entonces presidente Obama, y su objetivo es garantizar que el suministro de alimentos de Estados Unidos esté a salvo. Debido a que México es uno de los principales exportadores a ese país, la ley representa un gran impacto económico para los productores también en los procesos de producción, empaque, logística y verificación de los alimentos.

Entre los elementos principales incluidos en la Ley FSMA se encuentran: los controles preventivos, inspección y cumplimiento, inocuidad de los alimentos importados, intervención y fortalecimiento de las colaboraciones. Cuenta con siete normas fundamentales y definitivas, y son: Controles preventivos para alimentos para el consumo humano; Controles preventivos para alimentos para consumo animal; Inocuidad de los productos agrícolas frescos; Programa de verificación de proveedores extranjeros; Acreditación de auditores externos; Transporte sanitario; y Adulteración intencional.

Para alcanzar la equidad socioeconómica es necesaria la inclusión de los productores en programas de apoyo federal o estatal, los cuales ya no están vigentes desde hace una década aproximadamente. En el caso de los productores-exportadores, estos funcionan de manera independiente y bajo un modelo de negocio empresarial, debido a que no existe un organismo que agrupe a los productores y colabore en la promoción y consumo del nopal (*Opuntia ficus indica*).

## CONCLUSIONES

Se concluye que el nopal (*Opuntia ficus indica*) es una especie que cumple con el ODS 2 Hambre cero, pues puede realizarse en pequeñas granjas, aumenta la seguridad alimentaria debido a que la producción no es estacionaria y permite el acceso de casi todas las personas. Puede soportar el aumento de temperaturas a consecuencia del cambio climático, así como el estrés hídrico; aunque estas condiciones alteran el ancho, longitud y grosor de los cladodios, pueden ser utilizados en otros sistemas productivos alimentarios. Al no ser una especie estacionaria permite la constante poda de los cladodios, generando el acceso oportuno y limitando la volatilidad de los precios del nopal. Desde el punto de vista social, es una especie con larga trayectoria histórica y cultural en México. El consumo alimentario no es exclusivo de los seres humanos, pues también es utilizado como pienso<sup>4</sup> en otras especies productoras rumiantes. El cultivo y comercialización a nivel local fortalece el desarrollo endógeno, no solo en la dimensión económica, también en la social, por la identificación del individuo como parte del territorio productivo, pues el cultivo del nopal (*Opuntia ficus indica*) colabora en relación entre la tradición, pertenencia e historia personal.

En la dimensión económica se identificaron limitaciones: la escasa organización de los productores, lo que disminuye el acceso a apoyos federales; poca capacitación técnica continua en el manejo de la explotación, que se refleja en la incidencia de plagas y enfermedades. Asimismo, de las cinco zonas productivas en México se observa que la zona sur-sureste es la que reporta menor número de toneladas, en

---

<sup>4</sup> Alimento que se da al ganado y otros animales, consistente en pequeños trozos de comida prensada y deshidratada.

comparación con las zonas centro y centro-occidente, donde los factores ambientales son determinantes para el cultivo. Es necesario considerar que solo se encontraron datos acerca de la producción agrícola y no se mencionan datos de las empresas que se dedican al procesamiento del nopal. Para la exportación, el sistema productivo deberá ser ecológico, pues se requieren minimizar los impactos negativos de las operaciones agrícolas en el medio ambiente, donde es necesario adoptar las especies vegetales que toleren el cambio climático y que se destinen al consumo alimentario humano.

La producción sostenible de nopal puede mejorar la relación de las dimensiones económica, ambiental y social necesarias para el ODS 2 Hambre Cero, a través de estrategias comerciales, preparación técnica y propuestas de capacitación gubernamental para asegurar que la comunidad productora continúe creciendo y que sea atractiva para las generaciones actuales y las futuras.

## REFERENCIAS

- Aguilar, D. y Sánchez, M. (2022). “La organización territorial de la producción de nopal verdura en Tlalnepantla, Morelos”. *Investigaciones geográficas* (108).
- Altieri, M., y Toledo, V. (2011). “La revolución agroecológica en América Latina”. *Revista El Otro Derecho*, 42, 163-202.
- Antunes, M., Guardado, D., Rocha, M., Garza, J., Acevedo, L., Gutiérrez, J., Villela, J., López, F. y Serna, S. (2021). “*Opuntia ficus-indica* Extract and Isorhamnetin-3-O-Glucosyl-Rhamnoside Diminish Tumor Growth of Colon Cancer Cells Xenografted in Immune-Suppressed Mice through the Activation of Apoptosis Intrinsic Pathway”. *Plant Foods Hum Nutr*, 76(4): 434-441.
- Aragona, M., Lauriano, E., Pergolizzi, S. y Faggio, C. (2018, septiembre). “*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition”. *Nat Prod Res*, 32(17): 2037-2049.
- Attanzio, A., Restivo, I., Tutone, M., Tesoriere, L., Allegra, M., Livrea, M. (2022). “Redox Properties, Bioactivity and Health Effects of Indicaxanthin, a Bioavailable Phytochemical from *Opuntia ficus indica*, L.: A Critical Review of Accumulated Evidence and Perspectives”. *Antioxidants (Basel)*, 29; 11(12):2364.
- Avedaño, R., Schwentesius, S. y Lugo, M. (2007). “La inocuidad alimentaria en la exportación de hortalizas mexicanas a Estados Unidos”. *Comercio Exterior*, 57: 6-18.
- Ávila, P. (2018). “La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad”. *Tabula rasa*, (28), 409-423.
- Bacarrillo, R. (2022). *Tolerancia al estrés hídrico en tres variedades de nopal (Opuntia spp): crecimiento de planta y cladodios e indicadores fisiológicos, químicos y productividad de forraje*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo.
- Bacarrillo, R., Pedroza, A., Inzunza, M., Flores, A., y Macías, F. (2021). “Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia spp.*) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo”. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3).
- Banco de Alimentos del Estado de México (BAMX EDOMEX, 2023). Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://bamxedomex.org/>
- Bonilla, B., Reynoso, A., Cortés, V., Trujillo, S. y Hernández, M. (2020). “Análisis económico de productores y comercializadores de nopal en el Valle de Teotihuacán”. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 9(17): 72-108.

- Brundtland, G. (1987). El desarrollo sostenible. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo. Asamblea General de las Naciones Unidas. Recuperado de: <https://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland>
- Christopoulos, M., Gkatzos, D., Kafkaletou, M., Bai, J., Fanourakis, D., Tsaniklidis, G. y Tsantili, E. (2022). “Edible Coatings from *Opuntia ficus-indica* Cladodes Alongside Chitosan on Quality and Antioxidants in Cherries during Storage”. *Foods*, 26; 11(5): 699.
- Cibrián, J. (2019). “Feromona sexual de la palomilla (*Cactoblastis cactorum* L.) del nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill)”. *AGROProductividad*, 12(11): 107-109.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2019). Reporte del clima en México. Reporte anual 2019. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2019.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2021). Reporte del Clima en México. Reporte anual 2021. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2021.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2021). “Nopales: Biodiversidad Mexicana”. Gob.mx. CDMX. (actualizado 2021 mayo 20; citado 2022 oct 04]. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales>
- De Albuquerque, J., De Souza, J., de Albuquerque, J., de Farias, T., Escalona, H., Bosquez, E. y Azoubel, P. (2019). “Consumer perception and use of nopal (*Opuntia ficus-indica*): A cross-cultural study between Mexico and Brazil”. *Food Research International*, 124:101-108.
- Diario Oficial de la Federación* (DOF, 2007). Norma: NMX-FF-068-SCFI-2006 Hortaliza Fresca-Nopal Verdura (*Opuntia spp*)-Especificaciones. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4942253&fecha=04/01/2007#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4942253&fecha=04/01/2007#gsc.tab=0)
- Galicia, S., Escamilla, P., Alvarado, H., Aquino, L., Serna, H. y Hernández, L. (2017). “Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5): 1087-1099.
- Hernández, R., Bravo, G., Martínez, J., Hernández, Á. y Pedraza, T. (2019). “Evaluación de la efectividad biológica de bioinsecticida para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) en Totolapan, Morelos, México”. *Revista Chilena de Entomología*, 45(1).

- Inglese, P., Liguori, G. y De la Barrera, E. (2018). “Ecofisiología y biología reproductiva de los nopales cultivados”. En FAO (Ed.), *Ecología del cultivo, manejo y uso del nopal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: 31-44.
- Laureano, B., Moreno, M., Hernández, L., Alvarado, D., Saavedra, L., Quezada, A. y Martínez, E. (2021). “Etiología de la sarna negra en la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en México”. *Revista mexicana de fitopatología*, 39 (2): 329-338.
- Lee, Y., Yang, W., Park, Y., Park, Y., Park, I., Lee, G., Kang, H., Kim, B. y Kim, S. (2022, febrero). “*Opuntia ficus-indica* Alleviates Particulate Matter 10 Plus Diesel Exhaust Particles (PM10D)-Induced Airway Inflammation by Suppressing the Expression of Inflammatory Cytokines and Chemokines”. *Plants (Basel)*, 11(4): 520.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. y Prisma Group. (2009). “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA statement”. *PLoS med*, 6(7).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2007) Codex Alimentarius (2005). Codex Stan 185-1993, Norma para el Nopal. Recuperado de: [https://www.fao.org/fao-whocodexalimentarius/shproxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B185-1993%252FCXS\\_185s.pdf](https://www.fao.org/fao-whocodexalimentarius/shproxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B185-1993%252FCXS_185s.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022). Objetivo 2: Poner fin al hambre. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018). Recuperado de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/millennium-development-goals-\(mdgs\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/millennium-development-goals-(mdgs))
- Patil, S. y Hugar, L. (2005). *Sostenibilidad agrícola: estrategias para la evaluación*. Sabio.
- Representación Agricultura Michoacán (2018, 27 de agosto). “Producción de Nopal rebasa los 84 mdp en Michoacán”. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/produccion-de-nopal-rebasa-los-84-mdp-en-michoacan?idiom=es>
- Reyes, A., Flores, D., Navarro, H., Pérez, M. y Almáguer, G. (2020). “Importancia, sentido de pertenencia y continuidad del sistema cultivo nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en Cuautlancingo, Otumba, Estado de México”. *Ra Ximhai: Revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 16(4): 229-250.
- Sánchez, R., Lemus, S., Ortiz, K. y Rodríguez, R. (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las fases 20-50 y 50-100 kg sobre el consumo de alimento, agua y velocidad de crecimiento. *Temas selectos de la flora silvestre de zonas áridas del noroeste de México*, 125.

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022, 27 de mayo). “Un alimento milenario y nutritivo: el nopal”. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/un-alimento-milenario-y-nutritivo-el-nopal>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2021, 9 de noviembre). “Regiones agroalimentarias de México”. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/regiones-agroalimentarias-de-mexico?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2020, 2 de diciembre). “El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano”. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-nopal-parte-de-la-riqueza-del-campo-mexicano>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa, 2014). Regla para la certificación de material de propagación de nopal (*Opuntia spp*). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2017). Compendio de Estadísticas Ambientales. Recuperado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeial/compendio\\_2017/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet0732.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeial/compendio_2017/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet0732.html)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2020, 4 de diciembre). “El cultivo de esta cactácea ha trascendido de la dieta prehispánica al mundo de la medicina, la agricultura y la industria”. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/la-riqueza-del-nopal?idiom=es>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019). Producción anual agrícola. Disponible en: <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022). Panorama Agroalimentario. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-20223](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-20223)
- Servicio Nacional de inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2018, 2 de marzo). Línea 1. Estudio e inventario de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Nopal. En línea: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/linea-1-estudio-e-inventario-de-los-recursos-fitogeneticos-para-la-alimentacion-y-la-agricultura-nopal>
- Sinicropi, M., Baldino, N., Ceramella, J., Iacopetta, D., Scali, E., Basile, G., Saturnino, C. y Catalano, A. (2022). “*Opuntia ficus indica* (L.) Mill. An Ancient Plant Source of Nutraceuticals”. *Curr Top Med Chem*, 22 (21): 1736-1749.
- Solís, S., Rendón, A. y Pomar, S. (2021, 6 de enero). El nopal y su aportación a la economía local. *La Jornada del Campo*. <https://www.jornada.com.mx/2021/01/16/delcampo/articulos/nopal-economia-local.html>

- Terzo, S., Attanzio, A., Calvi, P., Mulè, F., Tesoriere, L., Allegra, M. y Amato, A. (2021, diciembre, 29). "Indicaxanthin from *Opuntia ficus-indica* Fruit Ameliorates Glucose Dysmetabolism and Counteracts Insulin Resistance in High-Fat-Diet-Fed Mice". *Antioxidants (Basel)*, 11(1): 80.
- Todhanakasem, T., Boonchuai, P., Itsarangkoon, N., Ayutthaya, P., Suwapanich, R., Hararak, B., Wu, B. y Young B. (2022, noviembre 18). "Development of Bioactive *Opuntia ficus-indica* Edible Films Containing Probiotics as a Coating for Fresh-Cut Fruit". *Polymers (Basel)*, 14(22): 5018.
- Torres, J., y Cornejo, F. (2018). "Organización y liderazgo en la construcción de un Sistema Agroalimentario Localizado. Un estudio de caso sobre el nopal en Hidalgo, México". *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 28 (51).
- Vargas, S., Rodríguez, F., Martínez, R., Morales, S. y Jonathan, M. (2022). "Remoción de metales pesados presentes en aguas del río Yautepec, Morelos, México, utilizando mucílago de *Opuntia ficus-indica*". *Avances Ambientales*, 7, 100160.
- Vela, E. (2023, 27 de mayo). "Nopal (*Opuntia*)". *Arqueología Mexicana*. Recuperado de: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/nopal-opuntia>



## PROSPECTIVA DE USOS DEL NOPAL EN LA REGIÓN NORORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

*Thelma Beatriz Pavón Silva<sup>1</sup>*

La soberanía alimentaria es necesaria para cualquier país y México no es la excepción. Uno de los productos emblemáticos es el nopal, cactácea que por su naturaleza es de fácil adaptación a diferentes ecosistemas, desde zonas secas hasta las zonas semiáridas.

El nopal es un cultivo con identidad nacional y cultural, es una cactácea que es exclusiva de la región de América, pertenece a los géneros *Opuntia* y *Nopalera*, y se han contabilizado alrededor de 1 600 especies en el planeta; en México, se encuentran 1 088 con usos diversos, como: alimento, forraje, medicina, artesanal, construcción, cuidado personal, tratamiento de agua, generación de energía alterna, entre otros (Pichler et al., 2012; Reyes et al., 2020; Otálora et al., 2021). En la República mexicana destaca su presencia en estados como: Oaxaca, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas, Puebla, México, Ciudad de México, Hidalgo y Morelos debido a su adaptabilidad y a su fácil reproducción debido a las condiciones climatológicas del país. Las características morfológicas de la especie permiten acumular grandes cantidades de agua en periodos cortos de tiempo y la cutícula externa de los cladodios (pencas) evita la evapotranspiración, por lo que en época de sequía se considera un alimento adecuado para dar agua a los animales; esta última característica es una de las principales aportaciones como producto alimenticio para ganado en regiones áridas.

---

<sup>1</sup> Unidad Académica Profesional Acolman, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: [tbpavons@uaemex.mx](mailto:tbpavons@uaemex.mx)

## PRODUCCIÓN DE NOPAL EN MÉXICO

Para su producción, México se divide en cinco zonas de producción agroalimentaria:

- Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit.<sup>2</sup>
- Noreste: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas.
- Centro-occidente: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro y San Luis Potosí.
- Centro: Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala.
- Sur-sureste: Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán

La zona centro-occidente es la de mayor producción de nopal en millones de toneladas (87.1); la zona sur-sureste con 80.3; la noreste con 56; la centro —que es la zona de estudio a la que corresponde este trabajo— con 35.8; y la noroeste con 35.3 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

Actualmente, este sector primario de bienes agroalimentarios cuenta en México con un mercado de 1 487 millones de consumidores en 46 países y 129.6 millones de consumidores nacionales, con un incremento de 1.3% y se espera alcanzar 1.9% para el ciclo 2022. Particularmente, para el sector agrícola aporta 91.1%, pero genera 54% del valor, comparado con el sector pecuario, que aporta 8.2%, pero genera 40% del valor, mientras que el pesquero aporta 0.7%, que es un valor de 3.6%.<sup>3</sup>

El Plan de Desarrollo del Estado de México (PDEM) 2017-2023 vincula planes y programas sectoriales, especiales y regionales para el estado, encaminados a corto, mediano y largo plazo a mejorar la calidad de vida de sus habitantes; lo anterior se enmarca en el gobierno federal, que a su vez es parte de una política internacional que se enfoca en los problemas ambientales, considerados una amenaza a nivel mundial.

---

<sup>2</sup> “El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano” (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. En línea: [www.gob.mx](http://www.gob.mx)).

<sup>3</sup> “Crece 2.7% sector primario de México en 2021: Agricultura” (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. En línea: [www.gob.mx](http://www.gob.mx)).

La región XI del Estado de México se conforma por los municipios de Acolman, Axapusco, Chiautla, Nopaltepec, Otumba, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Temascalapa, Teotihuacán y Tepetlaoxtoc; su geografía incluye zonas orográficas e hidrográficas naturales; asimismo, se puede ver en esta región un desarrollo de la sostenibilidad, cuya vocación es tomada en cuenta para establecer planes de acción encaminados a favorecer estos municipios. Se cuenta con municipios donde hay capacidad de instalación de industrias, otros para comercio y servicios, y algunos más para desarrollo del sector agropecuario; de aquí se parte para la elaboración de los diagnósticos y para la elaboración de los planes de desarrollo de cada municipio, donde encontramos indicadores específicos de estos. Se presentan indicadores sociales que dan fe de la problemática de la zona, sumados a la pandemia de SARS-CoV-2 que inició en marzo de 2020, dando como resultado el cierre de muchas empresas y servicios. La más reciente guerra entre Ucrania y Rusia deriva en una problemática energética y de productos que directamente afectan la producción de alimentos y la eficiencia alimentaria, pues se consideran dos de los aspectos de mayor importancia para dichos países: la soberanía alimentaria y la energética.

La producción del nopal tiene una gran importancia agrícola a nivel nacional. Su desarrollo se da en condiciones extremas debido a su naturaleza, pues funciona como almacenamiento de agua, lo que le da como ventaja no requerir grandes cantidades de esta para su desarrollo; además, no demanda un suelo con alta cantidad de materia orgánica. Este cactáceo tiene un alto potencial agrotecnológico, tanto en el área alimenticia (humana y animal), como en la base para otros productos farmacológicos e industria agropecuaria (Torres et al., 2015).

Se considera que esta vinculación con el sector productivo de la región noreste del Estado de México es un área de oportunidad para aprovechar las bondades del nopal *Opuntia ficus indica* y *Opuntia ssp*, así como de sus frutos: tuna y xoconoxtle, ello al darle valor agregado a través de la innovación y el desarrollo de nuevos alimentos, algunos para el control de la glucosa, debido a su alto contenido de fibra soluble y pectinas, que favorecen la absorción de glucosa a nivel intestinal.

El planteamiento de este trabajo, que inicia como investigación documentada pero ya tiene programadas actividades a corto, mediano y largo plazo, se dará en el marco de las actividades de las cuatro licenciaturas con las que cuenta la Unidad Académica Profesional Acolman (UAP-Acolman), coordinando actividades particulares y complementarias entre las licenciaturas en Ingeniería Química (IQ), Ingeniería

en Producción Industrial (IPI), Nutrición (N) y Mercadotecnia (M), con el fin de realizar actividades propias de cada licenciatura, pero todo coordinado para integrar y complementar una cadena de producción, principalmente alimentaria, con beneficios de tecnificación, desarrollo e identificación de metabolitos químicos con propiedades específicas para distintas aplicaciones —como la elaboración de alimentos—, cerrando una cadena de suministro con los integrantes de mercadotecnia, enfocándose en la comercialización de productos y en la apertura de mercado tanto nacional como internacional.

Derivado de lo anterior y con las contribuciones que se establecen en este libro, se presenta un prospectiva encaminada a apoyar el sector agropecuario a través de una propuesta multidisciplinaria y de aplicación directa, con el fin de incrementar el valor de uno de los principales productos de la región y, al mismo tiempo, para implementar un cambio de vocación para hacer crecer el sector ganadero, aprovechando el valor del nopal forraje, pues además es una necesidad de la población.

Para lo anterior, se inicia de la siguiente manera: se ha establecido contacto con un productor, particularmente del área de Otumba; aquí se cuenta con 18 ha de siembra de nopal, principalmente *Opuntia ficus indica* (nopal verdura), nopal tunero y nopal forraje; sin embargo, no es el único interesado, ya que productores que han oído hablar del desarrollo que se tiene en el norte del país —con la producción de alimento para ganado, mejorando el porcentaje de proteína en el nopal, que es sometido a un proceso de fermentación aerobia mostrando resultados adecuados para la producción de ganado vacuno, porcino y caprino— manifiestan su interés en que se desarrolle en esta región (Flores et al., 2017, 2021); asimismo, desean apoyo con productos que ellos ya elaboran, pues les hace falta fortalecer la etapa de comercialización.

De las actividades que se han iniciado en la Unidad Académica Profesional Acolman se mencionan las siguientes:

#### ESTABLECIMIENTO DEL HUERTO DE NOPAL EN LA UAP ACOLMAN

Con la donación de nopal verdura proveniente de uno de los productores se implementó un huerto universitario y se ha publicado el artículo: “Origen, construcción y experiencias del huerto universitario ‘Aculli-Máitl’ de la Unidad Académica Profesional Acolman UAEMEX”, que se encuentra en el libro: *Huertos en*

*instituciones de educación superior: relatos y experiencias desde México* (Fontalvo et al., 2024).

El huerto en la Unidad Académica Profesional Acolman tiene una extensión de 520 metros cuadrados y se plantaron 120 cladodios. El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una especie endémica del municipio de Acolman; se contará, en su momento, con materia prima de primera mano disponible para fines académicos y de investigación del productor antes mencionado y de los pequeños productores que se sumen al proyecto (Escobar et al., 2024). De este huerto se obtendrá la materia prima para diversos fines; sin embargo con la colaboración de productores se plantea la elaboración de algunos productos de valor, como puede ser algún tipo de dulce, mermelada o alimento procesado que pueda ser comercializado; en este mismo sentido, se propone el mejoramiento de productos de valor —con acercamiento a los productores— para ir dando solución de manera particular a sus necesidades, y de manera integrada con acciones enfocadas a generar la tecnificación de productos que den valor a la hortaliza; es decir: si hay nopal o tuna que se pierde por no tener mercado cautivo para venta se plantea elaborar productos procesados, como dulces, mermeladas, salsas, jugos, así como productos para el cuidado personal: cremas, lociones, aceites, o algún tipo de artesanía (Al Naqueb, 2021; Ciriminna, 2019).

Los artesanos de la región ya cuentan con la elaboración de diversos productos, pero se proponen otros, como queso de tuna y harina de nopal, con la intención de comercializarlos en la región o fuera de ella. Para lo anterior, a través de la Licenciatura de Mercadotecnia se propondrá algún plan publicitario, considerando el valor de los productos y su incremento en bienes y servicios, lo que implica una mejora para quien lo elabore.

Se espera que con esta vinculación se formen nuevos microempresarios y se abran nuevos empleos que ayuden a los habitantes de la zona a tener mejores condiciones de vida. A continuación se mencionan algunos de los productos de los que ya se tenían antecedentes de elaboración.

### *Producto 1. Queso de tuna*

Si bien el proceso de producción no se encuentra tecnificado, principalmente se desarrolla en la región de San Luis Potosí y es un producto de alto valor nutrimental

con vida de anaquel de hasta un año sin adición de conservadores artificiales, se considera que este tipo de producto puede tener un valor económico alto y puede apoyar el nivel de vida de los habitantes de la región. En la región norte de México se le conoce como melcocha (mermelada de tuna); se realiza de manera artesanal y su fin es conservar las propiedades de la tuna. El proceso consiste en cocer lentamente y por muchas horas el jugo de la tuna, sin semilla, con el fin de llevarlo a una alta viscosidad con las propiedades del fruto concentradas; lo anterior permite no adicionar conservadores ni edulcorantes ya que, después del calentamiento, la masa es sometida a una especie de amasado fuerte (golpeándola), preferentemente sobre una piedra; su color se oscurece y se coloca en moldes a la forma preferida del productor; se empaqueta y sale a la venta (Nava, 2019).

### *Producto 2. Harina de nopal*

De acuerdo con la Conabio, el nopal y la tuna tienen alto contenido en potasio, calcio y magnesio, minerales importantes para los huesos. Su contenido de fibra es alto y de aquí su importancia en salud humana, particularmente para personas que padecen diabetes, ello debido a su contenido de polisacáridos (arabinosa y xilosa) y de compuestos fitoquímicos, que pueden suministrar efectos antiinflamatorios y antioxidantes que ayudan a disminuir las grasas en sangre. Esta propiedad es importante debido a que el contenido de calorías del nopal es bajo (15 kcal/100 g) y es alto en fibra; similar para la tuna (50 kcal/ 100 g). El nopal deshidratado se puede consumir como si fueran orejones de otros frutos (Nava, 2019).

Derivado de la harina, se proyecta obtener productos de valor de la producción del nopal, utilizando, además, el desperdicio que de ellos emana, aprovechando las bondades del nopal, pues es un producto recomendado para personas con problemas médicos: enfermedades crónicas como la diabetes mellitus. Este será un punto de enfoque a generar de los productos de valor.

Este trabajo se realizará con agricultores del municipio de Otumba de Gómez Farías, Estado de México, zona que se caracteriza por ser de pobreza y marginación; lo anterior también suma esfuerzos para apoyar los ODS 1 y 2: fin a la pobreza y hambre cero.

En cuanto a la metodología para elaborar la harina de nopal, se considera la obtención de los cladodios; asimismo, se identificará a productores de la región nororiente del Estado de México que estén realizando poda de restauración en su cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Se analizarán cladodios de diferentes edades, 180 días, 1, 2 y 3 años. Los cladodios se lavarán y desinfectarán con una solución de hipoclorito de sodio (1%) por 15 minutos. Posteriormente se retirarán las espinas y cortarán en porciones de 1 cm x 1 cm para luego deshidratarlo en un horno a 50°C durante 48 horas. Una vez concluido el proceso de deshidratación, se molerán hasta obtener una harina con un tamaño de partícula menor o igual a 150 µm. Para el análisis proximal se determinará la humedad siguiendo la metodología NMX-116-SSA1-1994, cenizas con la metodología descrita en NMX-F-607-NORMEX-2020, grasa con base a la NOM-086-SSA1-1994 Normativo C Punto 1.3, proteína con lo descrito en NMX-F-608-NORMEX-2011, fibra cruda con NMX-F-613-NORMEX-2017, fibra dietética con lo que indica NMX-F-622-NORMEX-2008 y carbohidratos por diferencia (AOAC, 1997, 2005a, 2005b).

De acuerdo con lo comentado con los productores, en la poda de restauración se presenta una merma que se convierte en desecho de cladodios, la cual puede ser destinada como abono orgánico o para la alimentación del ganado. Para esta investigación, la merma será parte de la materia prima, al igual que sus diferentes productos en la temporada de cosecha.

### *Producto 3. Incremento de proteína con el uso del nopal forraje*

Por su composición nutricional, el nopal forraje tiene el antecedente de ser un buen alimento (Flores et al., 2017), así como de ser una opción de forraje en zonas desérticas, ubicadas en el norte de la República mexicana, en la región de la Laguna que forma parte de los estados de Coahuila y Durango. En el noreste del Estado de México esta especie no se ha explotado como en el norte de México o en otros países. Brasil es el país que cuenta con la mayor superficie de terreno para este producto y lo explota para alimento de ganadería (Torres, 2016). Una manera de incrementar la calidad del nopal forraje (*Opuntia spp*) es con el uso de abono orgánico con estiércol de diferentes especies y proporciones, combinado con otros productos, ello de acuerdo a trabajos realizados en Brasil por Saraiva y colaboradores (2022), llegando a la conclusión de

que el estiércol representa los mejores desarrollos de forraje y las mejores características morfológicas del cladodio.

En México se ha realizado otra forma de incrementar el contenido proteico del nopal forraje. Investigadores de la Universidad Autónoma de Chapingo-Oruza (Flores et al., 2019, 2021; Meza et al., 2019) han desarrollado y puesto en marcha la tecnología de mejora proteica de nopal de 20 a 25%, su desarrollo tecnológico ha generado patentes y el proceso de fermentación, que es de tipo aerobia, para llevar a cabo esta mejora (Flores et al., 2017) en nuestro laboratorio. Con ayuda de estudiantes y profesores de Ingeniería en Producción Industrial se ha diseñado y puesto en marcha un prototipo de prueba para reproducir —aunque en menor escala— lo reportado por investigadores de Chapingo-Oruza, a través de una fermentación semisólida de fracciones de nopal. Además, se cuenta con la asesoría de dicho grupo de investigadores; su experiencia radica en la producción de alimento enriquecido proteicamente en beneficio de los productores del sector agropecuario. Los investigadores reportan una disminución de carbohidratos en el producto de la fermentación de *Opuntia spp* de 48.9 a 26.4% y un incremento de proteína cruda de 5.6 a 33.1%, así como de energía de 2.26 a 2.67 Mcal/kg, en comparación con el mismo producto sin el proceso de fermentación.

Derivado de este producto que ya conocen algunos productores de esta región, y con la posibilidad de incrementar sus animales —y por ende la producción ganadera—, solicitan que este producto húmedo (que de inmediato alimenta al ganado) se pueda llevar a secar para elaborar producto seco tipo *pellets*, para poder manejarlo y comercializarlo de esta manera con una vida de anaquel más amplia.

Para lo anterior, será necesario estudiar los reportes de la literatura al respecto, por ejemplo, se manejará preparación de forraje con mezclas que incluyan nopal forraje, zacate tipo *buffelgrass* y salvado de trigo; se considera que una mezcla de algunos de estos forrajes con el alimento mejorado en el proceso de fermentación puede aportar mejores resultados que el de Brasil (Kubitschek et al., 2022; Torres et al., 2016).

### *Pruebas con nopal forraje*

Una vez que se pueda producir el material enriquecido proteicamente será necesaria la vinculación con los productores que cuenten con ganado para establecer un

experimento que considere animales de prueba; se alimentará al ganado seleccionado, bovino y caprino, utilizando un diseño experimental que permita tener un grupo de control y un grupo de prueba con el alimento de nopal enriquecido (Flores et al., 2019); se registrará el peso de los individuos por grupo y se concluirá el proceso con un análisis de varianza.

Los insumos necesarios son: melaza, levadura *Saccharomyces cerevisiae*, sulfato de amonio y nopal forraje; se realizará un análisis comparativo del nopal seco natural y el producido en el fermentador realizando análisis como: materia seca, cenizas de alimentación animal y proteína cruda (PC), según el proceso de PC de alimentación animal; fibra detergente ácida (FDA) acorde al proceso para FDA y lignina en alimentación animal. Se revisará junto con los productores la norma NOM-026-ZOO-1994: Características y especificaciones zoonosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos químicos, farmacéuticos y biológicos para uso en animales. Este será un trabajo a largo plazo, ya que se requiere de un equipo de trabajo más amplio, así como la integración de veterinarios para el control animal.

#### *Producto 4. Plan estratégico de difusión y venta de productos*

Para la difusión y venta de estos productos se realizará un plan estratégico de publicidad para los productores para la universidad —esperamos los puedan aprovechar los estudiantes con la generación de un negocio—, las familias interesadas o bien para la universidad misma; en cualquiera de los casos, los beneficios económicos serán para generar más producción o para equipos, materiales y reactivos a utilizar en la docencia y la investigación dentro de las instalaciones de la UAP Acolman. Dependiendo de las necesidades que se presenten, es importante ir generando más infraestructura en la institución, encaminada a investigación. Para garantizar mayor cobertura de los productos generados se establecerá un plan estratégico de mercadotecnia, solo habrá que ponerlo en marcha una vez que se estén generando los productos.

### *Producto 5. Análisis químicos de los productos y diversas necesidades a establecer*

Para dar seguimiento a las propuestas antes mencionadas se requiere de diversas técnicas de medición de tipo cualitativo y cuantitativo, como son los análisis bromatológicos y proximal, con el fin de evaluar la calidad nutricional de los alimentos que se preparen, más específicamente, determinaciones de compuestos antioxidantes o bioactivos, considerando también pruebas en pacientes, vinculando con ello aspectos de química con nutrición, que son dos de las licenciaturas que se ofertan en este espacio académico. Para ello, se cuenta con un espectrofotómetro que se usa para análisis específicos, un analizador de nitrógeno Kjeldahl y pruebas básicas como: pH, conductividad, materia orgánica, sólidos en todas sus formas, además de que se pueda complementar con un balance de materia para resultados aproximados de contenido de potasio y fósforo teóricos.

### *Objetivo general*

Se visualiza un objetivo general enfocado en tecnificar los métodos de transformación de diversos productos de nopal verdura, nopal forraje y tuna con el fin de transformar la capacidad de producción y comercialización de los productos, diseñando un plan estratégico publicitario, impulsando nuevos productos al mercado nacional e internacional y se determinará la sustentabilidad considerando tres dimensiones: socio territorial, agroecológica y económica; esta última es un estudio social que colabora para identificar la relación entre la población y el medio ambiente en pro del desarrollo regional del municipio de Otumba de Gómez Farías.

### *Objetivos particulares*

- Analizar la sustentabilidad de un producto alimentario de innovación elaborado con un subproducto de cultivo de nopal (*Opuntia ficus-indica*) que presente beneficios para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo regional.

- Implementar, en conjunto con el productor de nopal forraje, la metodología del proceso de digestión, con el fin de obtener el producto que incremente la proteína a 25%, obteniendo un complemento alimenticio para animales de granja.
- Realizar un diseño experimental con animales de granja (ganado bovino y caprino) que permita evaluar si este otorga mejoras en ganancia de peso diario, conversión alimentaria, eficiencia alimentaria y digestibilidad a los que ingieran el nopal producto de la fermentación en comparación con los que llevan su dieta habitual.
- Proponer una herramienta administrativa con los lineamientos necesarios para la operación de la Propuesta de un Plan de Estrategias Publicitarias a las personas encargadas de la toma de decisiones para dar a conocer sus productos a nivel nacional e internacional.
- Dar a conocer los productos de la empresa para incrementar las ventas, haciendo uso de diferentes técnicas publicitarias, difundidas a través de los medios de comunicación idóneos.

## METODOLOGÍA

Como ya se mencionó, la Unidad Académica Profesional Acolman cuenta con un huerto universitario, que será la fuente principal de materia prima, pero, si es necesario, se solicitará la colaboración de productores para trabajar y procesar su propia cosecha de nopal. Como parte inicial de este proceso se darán los resultados de actividades relacionadas específicamente con el huerto.

Como parte de las actividades de los académicos y estudiantes, particularmente del área de nutrición e ingeniería química, se establecieron jornadas de trabajo para el cuidado del huerto: mantenimiento y riego, colocación de abono y aplicación de bioinsecticidas.

La organización consiste en establecer trabajo con un grupo cada determinado tiempo, durante el cual se programan actividades que, al momento, se han clasificado de la siguiente manera:

- Mantenimiento y riego. Colaborar con los estudiantes en la limpieza y mantenimiento del huerto, incluyendo la eliminación de maleza y la implementación de un sistema de riego que aproveche el agua de pozo almacenada en la cisterna. Además, se continuará con las actividades de titulación relacionadas con los temas mencionados.
- Aplicación de abono. Se ha solicitado el apoyo a la comunidad estudiantil tanto para donación de abono como para su aplicación.
- Aplicación de bioinsecticidas. En colaboración con la Junta Fitosanitaria de Zumpango, quienes nos han brindado capacitación teórico-práctica en la elaboración de bioinsecticidas que posteriormente se aplican en el huerto.

Como resultado de este capítulo solo se hablará sobre el huerto de la UAP Acolman y sus avances, ya que los demás proyectos se encuentran en diferentes etapas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Análisis de la sustentabilidad*

Para comprender la situación actual de la producción de nopal en la zona y su impacto en la sustentabilidad se realizarán entrevistas a los productores. Ellos, como actores principales, compartirán sus experiencias y conocimientos sobre el cultivo, la elaboración de productos derivados y su interacción con el medio ambiente.

A través de indicadores, se analizará cómo los productores conservan sus áreas de producción, las prácticas agrícolas que implementan para el cuidado del suelo, la generación de productos y las estrategias de comercialización que utilizan, incluyendo el valor agregado que otorgan a sus productos y los beneficios que obtienen.

También se explorarán las dificultades que enfrentan en la compra-venta de sus productos, la presencia de posibles contaminantes y otras problemáticas relevantes. Este análisis permitirá obtener una visión objetiva de la realidad en la zona, identificar los desafíos para la sustentabilidad y generar propuestas para abordarlos.

Aunado a lo anterior, cada semestre se trabaja con diversos grupos de estudiantes en lo que denominamos taller de trabajo, contando con la asesoría del Mtro. Enrique Pérez Ríos de la Junta Fitosanitaria de Zumpango, que nos comparte conocimientos teórico-prácticos en temas, como la elaboración de bioinsecticidas.

### *Etapa de mantenimiento y riego del huerto*

Se cuenta con la publicación de un capítulo de libro, denominado: “Origen, construcción y experiencias del huerto universitario ‘Aculli-Máitl’ de la Unidad Académica Profesional Acolman, UAEMEX”, cuyos autores pertenecen a este espacio académico (Escobar et al., 2023). Este huerto tiene el objetivo de actuar como un espacio didáctico que pueda ser utilizado para realizar demostraciones, como los talleres de bioinsecticidas, que se han realizado ya durante dos semestres, y para obtener productos que serán procesados en el laboratorio, como pueden ser las tunas y para la obtención del aceite de sus semillas, que presenta propiedades antivirales, antimicrobianas y antioxidantes (Gorostiola et al., 2015).

En el mismo contexto, el huerto nos ha permitido cultivar cladodios en un par de ocasiones para consumo de la comunidad. Además, se ha iniciado la fase experimental de un proyecto para elaborar pienso para animales. Para ello, utilizaremos nopal forrajero (*Opuntia ssp*), pero también se aprovecharán los nopales que, por su tamaño o por necesidades de mantenimiento del huerto, ya no son aptos para consumo humano (fibrosos); estos nopales son adecuados para alimentar animales, especialmente tras un proceso de fermentación. De esta manera, valorizaremos todos los recursos del huerto, evitando el desperdicio.

El objetivo principal del huerto es que los estudiantes fortalezcan sus conocimientos a través de la práctica. Aprender “haciendo” les permite apropiarse del conocimiento de una forma más significativa y duradera. Ver imágenes.

Es importante mencionar que la generación de un huerto presenta una connotación de comunidad sustentable y compartida con la seguridad alimentaria cuando se dice que con pequeñas acciones debemos generar soberanía alimentaria, en este caso de manera local.



Imágenes 1, 2, 3 y 4. Siembra de cladodios en la UAP Acolman.

Aunque el proyecto nació desde la Licenciatura de Nutrición, con la visión de un estudiante becario como joven ecologista, se ha visto la oportunidad en la región primero por la vocación ancestral del área, pues al ser semiárida, este producto presenta un desarrollo sin problema, además de que un importante porcentaje de la población genera nopal como manera de sustento, razón por la cual se toma como área de oportunidad para generar trabajo multidisciplinario en las cuatro licenciaturas que se imparten en la UAP Acolman (Fontalvo et al., 2023). Si se habla de sustentabilidad se puede afirmar que el nopal tiene bondades, como no requerir mucha agua, fija el CO<sub>2</sub> atmosférico, se fija al suelo y presenta alta productividad en cultivo intensivo (Inglese et al., 2018).



Imagen 5. Preparando la planta para la infusión.  
Imágenes 6 y 7. Aplicando el preparado.

El municipio de Acolman tiene una vocación principalmente agrícola, ya que de las 8 688 ha de territorio, 5 038 ha son destinadas a esta actividad, en donde el nopal (*Opuntia ficus indica*) es el principal de los cultivos, así como otras especies, cuya característica es la resistencia a las sequías: nopal, maguey, abrojo, biznaga, sábila, higuierilla, alfilerillo, uña de gato, entre otras (Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra, 2008).

En julio de 2022 se sembraron los cladodios y se han establecido programas de riego con los alumnos; se han adquirido mangueras y sistemas de riego (rociadores) para una primera etapa, y se programa con las licenciaturas de Ingeniería Química e Ingeniería en Producción Industrial generar un trabajo en equipo encaminado al mantenimiento del huerto: deshierbar, regar, hacer canales para que el agua llegue y se resguarde en la zona de nopal, esto por la pendiente del terreno; también, a partir de nuestra comunidad, hemos tenido donación de abono, que ha sido aplicado en específico al huerto. Para 2023, con el retraso y escasez de lluvias, nuevamente nuestra comunidad de alumnos tomó conciencia de la problemática y apoyó con el acarreo

de cubetas para dar un poco de agua al huerto. Cabe hacer mención que esta acción también fue para algunos arbolitos que se sembraron en el área aledaña al huerto, esto como parte de la campaña de reforestación de nuestra universidad.

Todas estas actividades dan la perspectiva a nuestros estudiantes de lo que representa el concepto de *sustentabilidad* y cómo se relacionan los factores económico-ecológicos y sociales que representan la escasez del vital líquido, en una cadena, en este caso, de generación de alimentos. Con lo anterior, y al tomar conciencia de la importancia del mantenimiento del huerto, se les pidió que llevaran estas acciones a sus casas para trabajar con sus familias, con la finalidad de encaminarse a una soberanía alimentaria; se trata de generar un huerto familiar que les pueda dar la opción en pequeña escala de esta actividad, para generar local y consumir local, ya que es más sano, y compartirlo con sus familiares y amigos.

Sabemos que es un camino difícil, pero poco a poco se puede avanzar y crear conciencia en nuestra comunidad. Para nuestra sorpresa, hay alumnos que llevan a cabo este tipo de prácticas y ellos mismos se ofrecen para hacer un trabajo en el huerto o colaborar de alguna manera.

## PRODUCTOS POR OBTENER

Contribución del quehacer universitario a darle valor al sector agrícola en la región nororiente del Estado de México, en particular en la producción de nopal y sus productos, valorizando cada parte del producto.

## CONCLUSIONES

Se espera un trabajo colegiado para ir integrando a las actividades de docencia el aprendizaje del trabajo en el huerto; generar trabajo con los estudiantes para que se inclinen a ser parte de procesos productivos desde la generación de alimentos, considerando a un país como el nuestro como parte de una soberanía alimentaria en la que ellos pueden poner lo que les corresponde.

La zona de influencia de la UAP-Acolman mantiene una estrecha relación con la producción de alimentos en el campo. De este tipo de colaboración esperamos obtener nuevos empleos en la zona, producción de nuevos productos, exportación, publicidad y venta de estos. En lo académico, esperamos la formación de recursos humanos específicamente de nivel licenciatura; colaboración e integración en redes de área, como la Red Latinoamericana de Extensión Rural (Relaser); el cuidado del ambiente y generar conciencia de la capacidad de producción en los alumnos de la UAP para que se integren a este proyecto en el mediano y largo plazo y, sobre todo, trabajen con sustentabilidad para el desarrollo.

## REFERENCIAS

- Al Naqueb, G. (2021). "Prickly Pear Seed Oil Extraction, Chemical Characterization and Potential Health Benefits". *Molecules*, 26(5018), 1-22.
- AOAC (1997). Official Method 973.18. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th edition. AOAC International, Arlington, VA, Estados Unidos: 28-29, Capítulo 4.
- AOAC (2005a). Official Method 942.05. Ash of animal feed. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Gaithersburg, MD, Estados Unidos: 8, Capítulo 4.
- AOAC (2005b). Official Method 990.03. Protein (crude) in animal feed, combustion method. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, Estados Unidos: 30-31, Capítulo 4.
- Ciriminna, R. (2019). "Integral Extraction of *Opuntia ficus-indica* Peel Bioproducts via Microwave-Assisted Hydrodiffusion and Hydrodistillation". *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7884-7891.
- Escobar E., Gutiérrez, G. y Pérez, R. (2024). "Origen, construcción y experiencias del huerto universitario "Aculli-Máitl" de la Unidad Académica Profesional Acolman, UAEMEX". En Fontalvo, De la Cruz y Castro (2023) (coords.). *Huertos en instituciones de educación superior: Relatos y experiencias desde México*, 295-305.
- Flores, A., Araújo, T., Gomes da Silva, T., Ramírez, S. y Murillo, B. (2017). "Dietas a base de forraje tradicional y nopal (*Opuntia spp.*) enriquecido con proteínas para alimentar cabras". *Nova Scientia. Revista de Investigación de la Universidad La Salle del Bajío*. 18, 9 (1):149-166.
- Flores, A., Macías, F., García, G., Ortega, J., Meza, C. y Murillo, B. (2019). "Quality of fermented cactus pear (*Opuntia spp.*) and its effect on liveweight gain of Dorper lambs". *JPACD*, 21: 57-70.
- Flores, A., Macías, F., Meza, C., García, G., Esquivel, O., Hernández, C. y Murillo, B. (2021). "Aerobic semi-solid fermentation of *Opuntia megacantha* as feed supplement and its effect on dairy cows (Holstein)". *Journal of the Professional Association for Cactus Development*.
- Gorostiola, H., Yáñez, J. y Ramírez, M. (2015). "Efecto del secado por aspersión en la actividad hipoglucemiante de jugo de Xoconostle (*Opuntia joconostle*)". Tesis Instituto Politécnico Nacional.

- Fontalvo, J., De la Cruz, Y. y Castro, O. (2023) (coords.). *Huertos en instituciones de educación superior: Relatos y experiencias desde México*.
- Inglese, P., Mondragón, C., Nefzaoui, A. y Sáenz, C. (2018). *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Roma: FAO. <https://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
- Kubitschek, J., Garcia, G., Mauro, E., Silva, J., Sena, F., Costa, G., Santos, T., Gomes, M., Lolato, O., Fernandes, A. y de Moura Zanine A. (2022). "Performance of lambs fed total feed silage based on cactus pear". *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(1):19-31.
- Martínez G. (2005). "Recolección y comercialización de plantas medicinales en el departamento Santa María, provincia de Córdoba, Argentina". *Journal Acta Farmacológica Bonaerense*, 24(4), 575-584.
- Meza, C., Romero, C., Nevárez, A., Flores, A., Cano, O., Macías, U., Mellado, M., Calderón, G., Carrillo, D. y Véliz, F. (2019). "The *Opuntia* effect and the Reactivation of Ovarian Function and Blood Metabolite Concentrations of Anestrous Goats Exposed to Active Males. Article in Animals". DOI: 10.3390/ani9080550
- Nava, L. (2019). "La triada del semidesierto. Características tecnológicas y nutricionales del maguey, nopal y mezquite en sociedades recolectoras cazadoras del centro-norte de México: un análisis comparativo". *Revista Chicomoztoc*, 1, 2: 146-180.
- Norma Oficial Mexicana NOM-026-ZOO-1994. Características y especificaciones zoonosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos químicos, farmacéuticos y biológicos para uso en animales.
- Otálora, M., Wilches, A. y Castaño, J. (2021). "Extraction and Physicochemical Characterization of Dried Powder Mucilage from *Opuntia ficus-indica* Cladodes and Aloe Vera Leaves: A Comparative Study". *Polymers*. 13, 1689. <https://doi.org/10.3390/polym13111689>
- Pichler, T., Young, K. y Alcantar, N. (2012). "Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus". *Water Supply*. 12,179-186. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.126>
- Plan Municipal de Desarrollo Acolman, 2019-2021 (2019, enero). Plan Municipal de Desarrollo Acolman, 2019-2021. <https://www.acolman.gob.mx/Directorio/Gaceta>
- Reyes, A., Flores, D., Navarro, H., Pérez, M. y Almaguer, G. (2020). "Importancia, sentido de pertenencia y continuidad del sistema cultivo nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en Cuautlacingo, Otumba, Estado de México". *Ra Ximhai*, 16(4): 229-250. doi. [org/10.35197/rx.16.04.2020.11.ar](https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.11.ar)

- Saraiva, F., Dubeux, J., Cunha, M., Menezes, R., Dos Santos, M., Camelo, D. y Ferraz, I. (2022). "Performance of Forage Cactus Intercropped with Arboreal Legumes and Fertilized with Different Manure Sources". *Agronomy* 12, 1887. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081887>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2015). Estudio de factibilidad para el establecimiento de cultivo de nopal (*Opuntia*) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas con fines alimenticios, energéticos y ambientales.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/regiones-agroalimentarias-de-mexico?idiom=es> Consultada el 03 de julio de 2023.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra (2008). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Acolman. Estado de México: Gobierno del Estado de México. <https://seduo.edomex.gob.mx/acolman>
- Torres, R., Morales, D., Ballinas, M. y Nevárez, G. (2015). "El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129-1142. Recuperado el 3 de octubre de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&tlng=es)
- Torres, A., Leite, M. y Andrade, A. (2016). "Adaptación de cultivares de nopal forrajero al semiárido estado de Paraíba, Brasil". *Agronomía Mesoamericana*, 27(1):151-157. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21894>

### *Thelma Beatriz Pavón Silva*

Docente de la UAEMEX desde 1997, donde imparte clases en licenciatura y posgrado; responsable de proyectos de investigación vinculados con la industria: “Reingeniería de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) industrial” y “Economía circular del agua: industria de recuperación de celulosa de envases Tetrapak para descarga cero”. Actualmente trabaja el proyecto “Sustentabilidad de nopal verdura y nopal forraje (*Opuntia ficus indica* y *Opuntia spp*)”, con el fin de aplicar valor a la hortaliza, a sus frutos y generar una mejor calidad de vida de los productores. Ha contribuido a la formación de recursos humanos, ello desarrollado tanto en el aula como en la investigación. Miembro del SNI de 2003 a 2005 (Nivel C) y de 2006 a 2022 (Nivel I). Ha publicado diversos artículos y capítulos de libro; asimismo, se ha presentado en congresos y ha impartido conferencias nacionales e internacionales sobre temas relacionados con ciencias ambientales, tratamiento de agua y sustentabilidad para el desarrollo.

### *Adriana Hernández Manrique*

Doctora en Crítica de la Cultura y de la Creación Artística por la Facultad de Artes de la UAEMEX. Maestra en Estudios Visuales y licenciada en Ciencias de la Comunicación. Su área disciplinaria son las humanidades. Se interesa por la estética, el arte, la cultura, el fotoperiodismo, la violencia y la memoria. Es autora de artículos científicos y de divulgación. Ha participado en congresos nacionales e internacionales sobre estética y violencia, analizando temas de desaparición forzada de personas, colectivos de búsqueda, fotoperiodismo, cuerpo y nota roja. Desde la investigación estética, las problemáticas sociales y su vinculación con las humanidades, el arte y la cultura, es posible la gestión del conocimiento.

Esta obra parte desde la vocación agrícola de la región norte-centro del Estado de México y los temas que se desarrollan se abordan desde el trabajo de las licenciaturas que se imparten en la Unidad Académica Profesional Acolman, enfocadas en contribuir al desarrollo de uno de los principales productos agrícolas de la región: el nopal. Se destacan las bondades científicas del nopal y se hace una valorización importante de este, pues cuenta con múltiples aplicaciones: la principal es que se trata de un alimento humano, benéfico para la salud por sus compuestos bioactivos que reducen riesgos a determinadas enfermedades; es alimento para animales, bien de manera directa o procesado; se utiliza el mucílago del nopal para tratamiento de agua; asimismo, se destaca la importancia del consumo de sus frutos: el xoconostle es rico en antioxidantes, en tanto que se extraen los aceites de la semilla de la tuna para elaborar productos de cuidado personal.



Secretaría de  
Identidad y Cultura