

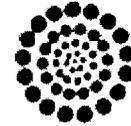
PROYECTO

Alternativa para la agricultura de zonas aridas en el siglo XXI

Bernardo Murillo Amador
Enrique Troyo Diéguez
Jose Luis García Hernández



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



CONACYT

CONSEJO NACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA

El Nopal

Alternativa para la Agricultura de Zonas Áridas en el Siglo XXI

**Bernardo Murillo Amador
Enrique Troyo Diéguez
José Luis García Hernández**

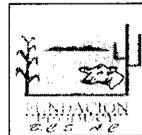
Editores



GOBIERNO DEL ESTADO
DE BAJA CALIFORNIA SUR



JAPAN INTERNATIONAL
COOPERATION AGENCY



FUNDACION PRODUCE
BAJA CALIFORNIA SUR A.C.



SISTEMA DE INVESTIGACION
DEL MAR DE CORTES

ISBN: 968-5715-00-9

Primera edición en español: 2003

©Derechos Reservados.

2003, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Mar Bermejo No. 195 Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur, México, 23090.

El contenido de los capítulos, es responsabilidad de los autores

La presentación y disposición en conjunto de **EL Nopal, Alternativa para la Agricultura del Siglo XXI**, son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico, mecánico (incluyendo fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del editor.

Responsable de edición

Bernardo Murillo Amador

Fotomecánica y pre-prensa

Joaquín Hernández Saavedra

Impresión y acabados

Santiago Rodríguez Álvarez
Rubén Andrade Velázquez

Edición con fines académicos y de divulgación

Impreso en México
Printed in México

Ejemplo de Cita: Nieto-Garibay A. 2003. Ecología del Nopal. pp. 27-47. En: Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J.L. (Eds.). El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293 p

Directorio

Dr. Mario Martínez García
Director General del CIBNOR
mmartine@cibnor.mx

Elena Enríquez Silva
Directora de Gestión Institucional
eenrique@cibnor.mx

Dr. Aradit Castellanos Vera
Director de Apoyo Técnico
arcas@cibnor.mx

M. en A. Maria Elena Castro Núñez
Directora de Administración
mcastro@cibnor.mx

Dr. Alfredo González Becerril
Director de Vinculación y
Transferencia Tecnológica
alfredog@cibnor.mx

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Director del Programa de
Agricultura en Zonas Áridas
etroyo@cibnor.mx

Dr. Bernardo Murillo-Amador
Responsable de la Publicación
bmurillo@cibnor.mx

Información relacionada en la
página electrónica
<http://www.cibnor.mx/>

LOS EDITORES

Bernardo Murillo-Amador

Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con orientación en Ecología.

Profesor en el Posgrado del CIBNOR y en la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Investigador Titular en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. en las áreas de cultivos alternativos para zonas áridas, fitomejoramiento, ciencia de cultivo y nutrición vegetal.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Enrique Troyo-Diéquez

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, ITESM Campus Cd. Obregón, Sonora.

Maestro en Ciencias en Uso y Conservación del Agua, ITESM Monterrey, N.L.

Doctor en Ciencias especialidad en Biología Vegetal (Ecofisiología), Facultad de Ciencias, UNAM.

Profesor de asignatura en el Programa de Posgrado del CIBNOR y en la División de Investigación y Posgrado del Instituto Tecnológico de La Paz, Baja California Sur.

Investigador Titular en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. en las áreas de agroecología, relaciones hídricas suelo-planta-atmósfera de cultivos, manejo del agua y agroclimatología de zonas áridas y semiáridas.

Investigador Nacional y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.

José Luis García-Hernández

Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Maestro en Ciencias en Producción Agronómica de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con orientación en Ecología.

Profesor del área de entomología agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Investigador Titular de las áreas de producción agronómica y entomología agrícola en el CIBNOR.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

AUTORES EN ESTA EDICIÓN

Aguilar-García Martín G. de Jesús, ASP Consultores & Representación, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Beltrán-Morales Luis Felipe, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Blanco-Macías Fidel, Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001. Zacatecas, Zacatecas, México.

Cadena-Carabantes Mayrlein, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur. México.

Cortés-Ávila Héctor Adán, Comité Estatal de Sanidad Vegetal. La Paz, Baja California Sur. México.

Domínguez-Cadena Reymundo, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Flores-Hernández Arnoldo, Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México.

García-Hernández José Luis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Landa-Hernández Luis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Ledesma-Mares Juan Carlos, Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001. Zacatecas, Zacatecas, México.

Macías-Rodríguez Francisco Javier, Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001. Zacatecas, Zacatecas, México.

Magallanes-Quintanar Rafael, Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Programa de Doctorado en Ciencias Pecuarias. Apdo. Postal 11. CP 98500. Calera de V.R., Zacatecas, México.

Márquez-Madrid Miguel, Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001. Zacatecas, Zacatecas, México.

Murillo-Amador Bernardo, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Nieto-Garibay Alejandra, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Orona-Castillo Ignacio, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera. Gómez Palacio, Durango, México.

Pargas-Lara Roberto, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México.

Pargas-Águila Joel Ramsés, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México.

Reyes-Agüero Juan Antonio, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. San Luis Potosí, México.

Ruiz-Garduño Raúl René, Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001, Zacatecas, Zacatecas, México.

Troyo-Diéquez Enrique, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

Valdez-Cepeda Ricardo David, Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Apdo. Postal 196, CP 98001. Zacatecas, Zacatecas, México.

Velasco-Meza Nora Aline, Comité Estatal de Sanidad Vegetal. La Paz, Baja California Sur. México.

Vélez-Moncada Miguel, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur. México.

Villaseñor-Beltrán Alfonso, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur. México.

COMITÉ DE REVISORES

Dr. Alfredo Ortega-Rubio. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Investigador Nacional. Nivel III.

Email: aortega@cibnor.mx

Dr. Héctor Nolasco-Soria. Investigador Titular. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología. Investigador Nacional Nivel I.

Email: hnojasco@cibnor.mx

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
LA FAMILIA DE LAS CACTÁCEAS.....	3
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE NOPAL	19
ECOLOGÍA DEL NOPAL.....	27
ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DE LOS NOPALES SILVESTRES DE BAJA CALIFORNIA SUR	49
BIOQUÍMICA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp)	69

SEGUNDA PARTE

ASPECTOS DE CULTIVO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE NOPAL VERDURA

USO DE RIEGO DE ALTA TECNOLOGÍA EN LA PRODUCCION DE NOPAL	95
FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN NOPAL.....	117
PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL NOPAL	137

SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMERCIALIZACION DE NOPAL VERDURA EN MEXICO.....	177
--	------------

TERCERA PARTE

EL NOPAL EN BAJA CALIFORNIA SUR EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN, DIFUSIÓN Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

INVESTIGACIÓN, DIFUSIÓN Y TECNOLOGÍA SOBRE NOPAL EN EL CIBNOR.....	205
---	------------

INVESTIGACIÓN, DIFUSIÓN Y TECNOLOGÍA SOBRE NOPAL EN LA UABCS	255
---	------------

CUARTA PARTE

EXPERIENCIAS DE CULTIVO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE NOPAL EN BAJA CALIFORNIA SUR

CULTIVO DE NOPAL VERDURA: ANÁLISIS DE UN CASO EN BAJA CALIFORNIA SUR.....	271
--	------------

CONSIDERACIONES FINALES	281
--------------------------------------	------------

GLOSARIO DE TERMINOS TÉCNICOS	285
--	------------

PRÓLOGO

El nopal (*Opuntia spp*) es una especie estratégica para las zonas áridas semiáridas con sequías prolongadas y recurrentes. En México se cultiva en zonas áridas, semiáridas templadas y subtropicales, en el centro y norte del país. Prácticamente la mayoría de las opuntias cultivadas prosperan en sitios con precipitaciones pluviales que varían de 400 a 600 mm anuales. Cuando se presentan lluvias menores a 300 mm anuales, es necesaria la aplicación del riego, pero en volúmenes relativamente bajos, particularmente cuando se prolonga la sequía. El nopal demanda un manejo mínimo por lo que su productividad no se afecta por un manejo limitado, pero responde favorablemente a la aplicación de prácticas como la poda y la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos. Su metabolismo fotosintético del tipo CAM, combinado con la morfología de sus órganos fotosintéticos y el desarrollo de un sistema radical superficial que frecuentemente forma simbiosis con hongos micorrícicos, aumentan su capacidad para la toma de agua y minerales del suelo, lo que facilita un desarrollo satisfactorio en suelos de baja fertilidad y someros. El nopal puede ser considerado como una de las pocas barreras biológicas que pueden ayudar a reducir el avance de la desertificación en zonas afectadas por este flagelo. Sus posibilidades de uso, como planta forrajera, hortícola y medicinal, la convierten en una especie de fácil adopción por parte de los habitantes de las zonas áridas. Para el noroeste de México, donde se desenvuelven los editores y participantes en esta obra, el nopal es de las pocas alternativas viables para el desarrollo agrícola, siendo una zona con graves problemas de escasez de agua y de abastecimiento de insumos. Por ello, invito a los profesionistas y estudiantes de las ciencias biológicas y agropecuarias, así como al público en general, a leer y asimilar lo que en esta obra se expone, donde se incluyen experiencias y puntos de vista enriquecedores, de gran utilidad para el entendimiento, manejo y conservación de los ecosistemas agrícolas en zonas áridas.

Dr. Eulogio Pimienta-Barrios
CUCBA-Universidad de Guadalajara
Investigador Nacional III

PRESENTACIÓN

Existen diversas obras que se han escrito sobre El Nopal, pocas en inglés, algunas traducidas y la mayoría en español, dedicadas principalmente a describir las características taxonómicas, fisiológicas, productivas, utilidad, entre otras, de esta especie. La presente obra aborda los aspectos ecológicos, bioquímicos y fisiológicos, aquellos relacionados con su cultivo, producción, nutrición y comercialización en las zonas áridas de México y los inherentes a la investigación, difusión y tecnología que se han generado en algunas entidades del centro, norte y noroeste de México, producto del esfuerzo de estudiantes de la carrera de las ciencias agropecuarias, personal técnico, profesores e investigadores de universidades nacionales de prestigio y centros de investigación que le han dedicado una buena parte de su vida profesional al estudio de esta especie de importancia local, regional, nacional e internacional. Todos han conjuntado esfuerzos y se han unido para recopilar la información generada por ellos mismos y por otras fuentes bibliográficas de colegas en la misma línea de investigación.

El propósito e intención fundamental de la obra es presentar y destacar la importancia que tiene este cultivo dado su potencial de desarrollo en la agricultura y la economía de las zonas áridas y semiáridas del mundo, donde en realidad es considerado, junto con otras especies, una alternativa para la agricultura en estas zonas. Asimismo, se pretende motivar a productores, estudiantes e investigadores de las ciencias agropecuarias, a que aprovechen de manera integral este valioso recurso, principalmente en las regiones centro, norte y noroeste de México. Esperamos que este libro sea utilizado como material de consulta por todos aquellos interesados en la conservación, cultivo y aprovechamiento integral del nopal, recurso natural usado en la industria cosmetológica, en la medicina, en la alimentación de animales domésticos, de humanos, en la conservación de suelo y agua, principalmente en las zonas áridas y semiáridas del territorio nacional.

Los Editores

AGRADECIMIENTOS

La presente obra se realizó gracias al apoyo de fuentes de financiamiento entre las que destaca el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. a través del proyecto con clave interna ZA1.1; el Sistema de Investigación del Mar de Cortés (SIMAC) a través del proyecto 00BCS6003, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) (Proyecto 2429), la Fundación Produce Baja California Sur A.C. a través del proyecto con clave interna 2420, así como el Gobierno del Estado de Baja California Sur. Agradecemos también al comité de revisores Dr. Alfredo Ortega Rubio y Dr. Héctor Nolasco Soria, los comentarios, correcciones y sugerencias a la presente obra. Asimismo, al Dr. Arnoldo Flores-Hernández, Dr. Ricardo Valdez-Cepeda, Dr. Ignacio Orona-Castillo, M.C. Roberto Pargas-Lara, Dr. Juan Antonio Reyes-Agüero, a todos los colaboradores de otras instituciones, por aceptar participar en este proyecto, manteniendo la relación interinstitucional que nos ha permitido avanzar académicamente, así como a los compañeros investigadores y técnicos participantes Dr. Luis Felipe Beltrán-Morales, M.C. Alejandra Nieto-Garibay, M.C. Reymundo Domínguez-Cadena, Dr. José Luis García-Hernández, Dr. Enrique Troyo-Diéguez, Ing. Luis Landa-Hernández e Ing. Martín G. de Jesús Aguilar-García.

Se agradece a las autoridades del CIBNOR, así como al personal técnico, el apoyo brindado para realizar los estudios sobre la especie, tanto en campo como en invernadero y laboratorio, siendo valioso el apoyo del Ing. Luis Landa-Hernández, Ing. Enrique Ramos López, M.C. Álvaro González Michel, M.C. Carmen Mercado Guido, Téc. Raymundo Ceseña Núñez, Lic. Lidia Hirales Lucero; así como el apoyo de los tesisas, Ing. Adán Cortés Ávila, Ing. Mayrlein Cadena Carabantes, Ing. Miguel Vélez Moncada, Ing. Alfonso Villaseñor Beltrán e Ing. Nora Aline Velasco Meza.

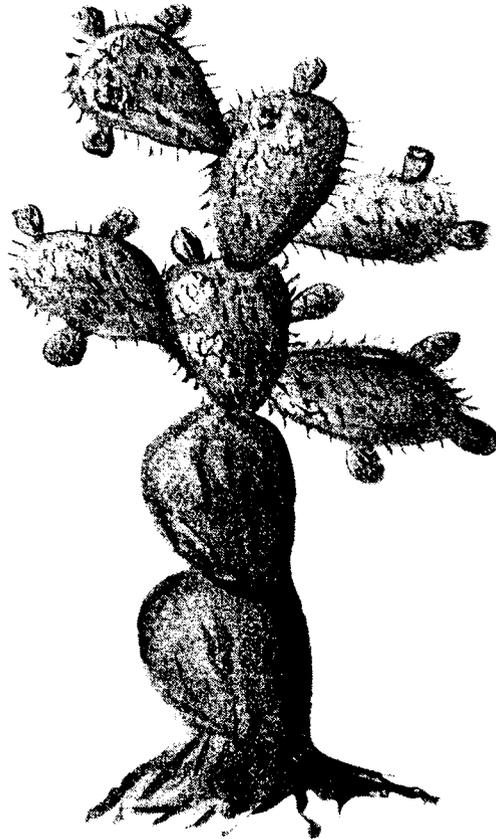
Un agradecimiento y reconocimiento especial merece la eficiencia de las secretarías que colaboraron en la captura y revisión final de la información de la presente obra, Verónica Hirales Ortega, Silvia Edén Virgen Silva, e Ing. Martha Heidi Bedolla-Torres.

TEN CUIDADO DE LAS COSAS DE LA
TIERRA, HAZ ALGO, CORTA LEÑA,
LABRA LA TIERRA, PLANTA NOPALES,
PLANTA MAGUEYES, TENDRAS QUE
BEBER, QUE COMER, QUE VESTIR CON
ESO ESTARÁS EN PIE, SERAS
VERDADERO, CON ESO ANDARÁS, CON
ESO SE HABLARÁ DE TI, SE TE
ALABARÁ, CON ESO TE DARAS A
CONOCER.

HUEHUETLATOLLI

Primera Parte

Aspectos Generales



El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 1-2.

INTRODUCCIÓN

**Bernardo Murillo-Amador, José Luis García-Hernández
Enrique Troyo-Diéguez**

El planeta que habitamos enfrenta diversos retos en el nuevo milenio, probablemente el más importante es el de garantizar la producción de alimentos para todos los habitantes. De acuerdo a ello, cada país debe enfrentar este reto mediante el manejo y aprovechamiento óptimo de sus propios recursos. El reto de la alimentación cada día adquiere una nueva dimensión por la dinámica en la que la población crece y la producción de alimentos se desarrolla. Actualmente la población aumenta en un billón de habitantes cada 10 años y la producción de alimentos es afectada por un gran número de factores de diferente índole, desde factores culturales, sociales, de economía global hasta la disminución de áreas con condiciones óptimas para el desarrollo vegetal. Las zonas áridas del mundo han venido incrementando su superficie y este fenómeno se presenta también en México. Este país es privilegiado por sus recursos naturales; es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica y climática, es centro de origen de innumerables especies animales y vegetales; de estas últimas, muchas han sido importadas y aprovechadas por otros países y muchas otras continúan habitando solamente territorio mexicano. Todo ello representa oportunidades potenciales para enfrentar los retos de este milenio.

Dentro de los recursos que México posee se encuentra el nopal, una planta representativa del país que desde hace siglos se ha aprovechado de diversas maneras, principalmente para la alimentación humana, con

fines medicinales y de nutrición, así como para la alimentación del ganado, sin embargo, hasta la fecha no ha sido aprovechado en todo su potencial. Por sus características, las diferentes especies de nopal representan inmejorables alternativas para los agricultores de las zonas áridas del país. A diferencia de otras especies que se producen actualmente como maíz, trigo, otras gramíneas y hortalizas; que requieren condiciones de desarrollo demasiado sofisticadas y grandes inversiones para su producción, el nopal es una planta rústica que por sus características fisiológicas puede ser producida a bajo costo sin menoscabo del rendimiento. Actualmente se han desarrollado metodologías de producción a bajo costo que permiten la obtención de nopal verdura prácticamente durante todo el año, lo cual significa que los productores pueden comercializar el producto cuando las condiciones de mercado sean más convenientes y de esa manera obtener mayor rentabilidad.

En diferentes localidades del país, los investigadores se han dado a la tarea de mejorar los sistemas productivos de nopal cuidando las diferentes perspectivas de la producción; es decir, el manejo de fertilización y riegos, manejo de plagas y todos los demás aspectos relacionados con la agronomía de la planta, el siguiente paso es dar a conocer a la comunidad toda esta información para permitir el máximo aprovechamiento de este cultivo a través de esta obra. Se pretende proporcionar conocimiento que permitirá una alta rentabilidad, un manejo racional de los recursos hídricos y edafológicos que se utilizan en la producción, así como información sobre plagas que amenazan tanto los sistemas de producción comercial como los ambientes naturales donde esta planta se desarrolla. Esa información se presenta en los diferentes capítulos que conforman este volumen, el cual se da a conocer en un lenguaje sencillo, apropiado para el entendimiento de un público variado. El interés de los autores y editores es que este libro sea aprovechado por agricultores, estudiantes, técnicos e ingenieros en agronomía, investigadores, entre otros.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 3-18.

Capítulo 1

LA FAMILIA DE LAS CACTÁCEAS

Martín G. de Jesús Aguilar-García

Resumen

Dentro del grupo de plantas suculentas se incluye a la familia de las cactáceas, las cuales han desarrollado notables adaptaciones a la aridez; sus hojas han sido reducidas a espinas o escamas y los tallos han asimilado muchas de las funciones de la hoja, como es el caso de la fotosíntesis, además de almacenar agua. Los cactus son originarios de las regiones tropicales y subtropicales de América, aunque algunas especies pertenecientes al género *Rhipsalis* son nativas de África. La mayoría de las especies están representadas en México. Poseen flores muy vistosas, razón por la cual son utilizados como plantas de ornato, siendo muy codiciados principalmente por coleccionistas aficionados y comerciantes; favoreciendo su recolección, ocasionando que algunas especies se encuentren amenazadas o en peligro de extinción. El presente capítulo incluye principalmente información general, descripción botánica y clasificación taxonómica.

Palabras clave: cactáceas, distribución, diversidad, endemismo, zonas áridas

Abstract

Inside the group of succulent plants is included the family Cactaceae, which have developed outstanding adaptations to the aridity; their leaves have been reduced to spines or flakes and their stems have assimilated

many of the functions of the leaf, as in the case of the photosynthesis, in addition to the storing of water. The cacti are natives of the tropical and subtropical regions of America, although some species belonging to the genus *Rhipsalis* are native of Africa. Most of the species are represented in Mexico. They possess very showy flowers, reason for which they are used as ornamental plants, being very coveted for fond collectors and merchants; favoring their gathering, occasioning that some species be threatened or in danger of extinction. The present chapter includes mainly general information, botanical description and taxonomic classification.

Key words: cacti, distribution, diversity, endemism, arid zones.

Introducción

Se denominan plantas “crasas o suculentas” todas aquellas de tejidos aparentemente carnosos, más o menos espesos, muy suculentos (jugosos). Esta última palabra es la que mejor define a la especie, por denotar su riqueza en agua, mucilagos, lácteos, etc (Tiscornia, 1978). Este grupo de plantas se compone de numerosas especies, pertenecientes a varias familias: Cactáceas, Aizoáceas, Crasuláceas, Liliáceas, Euforbiáceas, Amarilidáceas, Asclepiadáceas, Compuestas, etc (Tiscornia, 1978), siendo las cactáceas la familia más numerosa e importante de este grupo. Comprende aproximadamente 125 géneros y más de 1,200 especies; de éstas, 1,000 se han reconocido como mexicanas (Roberts, 1989). Las cactáceas son una familia de plantas con tallos carnosos, ramas con espinas o escamas en lugar de hojas y, a veces, vistosas flores. Su nombre viene de la voz griega “kaktos” que significa espinoso. Prevalen en las tierras áridas y semiáridas, pero algunos géneros crecen en climas húmedos (UNAM, 1989). Muchos autores postulan la tesis de que las cactáceas se originaron en México y en las Antillas, debido a la enorme diversidad de ellas que se encuentra en esta región (UNAM, 1989). Este grupo de plantas nos identifica con el resto del mundo, debido a que México es el único país que posee en su bandera una cactácea (el nopal).

Distribución y hábitat

La familia de las cactáceas es originaria de América, en donde está distribuida desde el norte de Canadá, a 59° de latitud norte, hasta la Patagonia, en Argentina, a 52° de latitud sur, y desde el nivel del mar, en las dunas costeras, hasta los 5,100 m de altitud en Perú, siendo más abundantes entre los trópicos (Bravo y Sheinvar, 1995), sin embargo, existen tres especies del género *Rhipsalis* que aparentemente son naturales del África tropical (UNAM, 1989). Las cactáceas se encuentran tanto en selvas húmedas y tropicales como en los desiertos más áridos, y desde en niveles apenas superiores al del mar, donde el salitre se encuentra en las espinas e impregna la tierra, hasta en las montañas más altas donde pueden incluso estar cubiertas de nieve (Glass *et al*, 1996). Muchos cactus pueden soportar temperaturas de más de 50°C aproximadamente, aunque la temperatura del suelo pueda subir hasta alrededor de 60°C a causa de la absorción de los rayos del sol. Conjuntamente con esto, muchos cactus pueden sobrevivir con apenas 75 mm de lluvia por año (March, 1988).

Las zonas áridas del mundo se localizan en una faja comprendida entre los 20 y los 40 grados norte. Debido a la situación latitudinal de México, entre los 14 y los 32 grados norte, el país está incluido en esta faja, sin embargo deben tomarse en cuenta las cadenas montañosas, que producen un importante efecto sobre el clima, formando miles de microclimas, que traen consigo enormes variedades de vida (UNAM, 1989).

Las dos principales regiones áridas de México son los desiertos sonorenses y chihuahuenses. El desierto sonorense se localiza hacia el noroeste, mientras que el chihuahuense se encuentra en la parte central del país, ambas regiones se internan en el territorio de los Estados Unidos de América. El gran desierto Sonorense, ocupa 126,256 km² de terreno. Este desierto alberga gran cantidad de cactus de diversas especies (UNAM, 1989). La zona árida del desierto de Sonora comprende casi toda la península de Baja California, junto con la planicie costera de Sonora, y se

extiende a zonas adyacentes de Arizona y California (Bravo y Sheinvar, 1995), aquí las lluvias son impredecibles, generalmente escasas y las diferencias estacionales de la temperatura son marcadas, es el más cálido (Arias, 1997). En esta zona habitan numerosas cactáceas arbóreas hasta de 18 metros de altura, como el saguaro (*Carnegiea gigantea*), el cardón (*Pachycereus pringlei*); numerosas especies de biznagas del género *Ferocactus*, varias especies de chollas (*Cylindropuntia*, spp), el garambullo (*Lophocereus schottii*), el pitayo agrio (*Stenocereus gummosus*), el pitayo dulce (*Stenocereus thurberi*) entre otros, y abundantes biznaguitas o viejitos (*Mammillaria* spp) (Bravo y Sheinvar, 1995). El desierto Chihuahuense abarca del sur de Nuevo México y suroeste de Texas en Estados Unidos, así como Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, parte de Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí en México. Este a diferencia del Sonorense, es más fresco y menos árido (Arias, 1997).

Endemismo

La flora de México es considerada una de las más ricas y variadas del mundo. A ello han contribuido lo accidentado de su fisiografía, las grandes cadenas montañosas, la numerosa variedad de tipos de suelos, los amplios litorales, los altiplanos, los valles, las cuencas fluviales, etc. Presenta también un elevado índice de endemismo, pues numerosas entidades taxonómicas son autóctonas (Bravo y Sheinvar, 1995). La familia de las cactáceas es endémica de América, es decir, que solo en el continente americano podemos encontrar este grupo de plantas. México alberga una significativa diversidad de cactáceas, a nivel genérico (± 54) y específico (± 850). Esto representa la mayor variedad florística conocida para los países americanos (Arias, 1993). Wiggins (1980), menciona que en Baja California, el 70.3% de las especies de cactáceas, son endémicas (Tabla 1); sin embargo, Roberts (1989), señala que en México, Baja California es la región que presenta mayor diversidad y endemismo de cactáceas. De las más de 110 especies de cactus que se encuentran en la península y sus islas, 80 son endémicas.

Morfología de cactáceas (descripción botánica)

Los cactus no solo crecen en los desiertos sino también en las selvas tropicales, en las planicies, a lo largo de las costas y en las montañas. Estas especiales plantas han desarrollado muchas adaptaciones para sobrevivir en las condiciones desérticas. Son plantas perennes, con tallos carnosos protegidos por una gruesa cutícula, la cual está recubierta de cera para prevenir la pérdida de agua por evaporación. La formación de **tubérculos**, costillas y otras protuberancias se cree pueden servir como protectores contra los intensos rayos solares, así mismo, las espinas representan una forma de defensa ante el ataque de animales e insectos (Nolasco, 1992).

Tabla 1. Principales familias botánicas de Baja California y porcentajes de sus taxa endémicos (Wiggins, 1980).

Familias	Géneros	Especies	Subespecies	Endémicas	% de taxa endémica
Compositae	130	405	35	135	30.7
Gramínea	86	236	3	3	1.3
Leguminosae	55	207	36	74	30.5
Cactaceae	17	91	10	71	70.3
Scrophulariaceae	23	84	4	17	19.3
Euphorbiaceae	19	78	11	27	30.3
Polygonaceae	10	73	12	31	36.5
Brassicaceae	28	69	14	13	15.5

Los cactus tienen diversas formas: columnares, globulares, como racimos, con forma de raqueta, rastreros y de hábitos trepadores. Casi todos los cactus pueden tener algunas de estas formas básicas. También pueden tener diversos tamaños. Los hay muy grandes como los gigantescos "saguaros" (*Carnegiea gigantea*) y "cardones" (*Pachycereus pringlei*) que alcanzan hasta 15 m de altura y otros muy pequeños como algunos "viejitos" (*Mammillaria sp*) de apenas unos cuantos centímetros (UABCS-INTERCACTI, 1993).

La mayoría de los cactus son plantas de lento crecimiento, esto quiere decir que comparados con otras plantas o árboles crecen muy poco en el lapso de varios años (UABCS-INTERCACTI, 1993). El cacto saguaro, *Carnegieia gigantea*, un individuo de nueve años mide aproximadamente 13 centímetros de altura; 1.5 metros a los 27 años; 6 metros a los 83 años y 11 metros a los 157 años. Se calcula que los individuos más viejos pueden tener unos 200 años (UNAM, 1989). El cardón (*Pachycereus pringlei*), por ejemplo solo crece aproximadamente de 2.5 a 10 centímetros en un año bajo condiciones normales (Roberts, 1989). Las cactáceas, aunque tienen las estructuras básicas de las demás plantas productoras de flores, se distinguen porque sus órganos han experimentado profundas modificaciones anatómicas para adaptarse al medio seco, adaptación que les facilita la acumulación del agua absorbida durante las escasas lluvias y al mismo tiempo les ayuda a evitar, en gran parte, su evapotranspiración, pues con esta agua tendrán que vivir durante la mayor parte del año (Bravo y Sheinvar, 1995).

Como las demás plantas con flores, las cactáceas están integradas por raíz, tallo, hojas, flores, frutos y semillas; pero además poseen órganos transformados, como las **areolas** (yemas) y las espinas (hojas reducidas). En general todos los órganos de estas plantas, presentan adaptaciones a la aridez (Bravo y Sheinvar, 1995). Todas las cactáceas son xerófitas, mostrando sobre todo tendencia a la reducción de las superficies sometidas a transpiración y a la acumulación de agua en los tejidos. Todos los componentes de la familia muestran además una característica peculiar que las distingue de las restantes, existen unas formaciones denominadas areolas y que sustituyen a los nudos normales de las restantes plantas, sobre las que se forman las yemas que posteriormente dan origen a las hojas, flores, espinas y nuevos tallos (Pizzetti, 1987).

Raíz

Las raíces acumulan agua, reservas nutritivas y otras sustancias, además tienen la función de sostener a la planta en el suelo (Bravo y Sheinvar, 1995). Pueden ser bastante superficiales, en el caso del saguaro, extendiéndose mucho en amplitud, o bien ser **axonomorfos**,

como una zanahoria, y realizan entonces funciones de reserva. Esto sucede sobre todo en los pequeños cactus (como el peyote) de zonas extremadamente áridas, en las que el tallo reducido le corresponde un aparato radical totalmente anormal (Pizzetti, 1987). Las raíces adventicias pueden originarse en las areolas, como en los nopales *Opuntia* y *Nopalea*, o en las nervaduras del tallo como en *Selenicereus*, lo que permite a la planta su reproducción vegetativa (Bravo y Sheinvar, 1995).

Tallo

Es leñoso en los tipos de hojas persistentes y se modifica en los restantes. Junto con las funciones clorofílicas, le corresponde la realización de todos los intercambios gaseosos con la atmósfera. La forma puede ser cilíndrica, semicilíndrica o globular (Pizzetti, 1987). La forma globosa de tallos cuya superficie está muy disminuida en relación con su volumen (lo que también evita la excesiva transpiración), es propia de numerosas cactáceas que viven en zonas de gran aridez. En lugares menos áridos, como en los bosques tropicales caducifolios, las cactáceas tienen tallos arbóreos grandes, a veces gigantes y ramosos; como el tallo del género *Pereskia*, es arbóreo, con tronco bien definido, ramas numerosas, y hojas con limbo bien desarrollado, como en otras fanerógamas. Estas cactáceas con hojas laminares son consideradas las más primitivas. Los tallos de las *Opuntias* (nopales) son arbóreos, arbustivos o rastreros, aplanados y **articulados**. Los de los grandes *cereus* (cardones), son tallos arbóreos más o menos ramificados, hasta columnares, con ramas gruesas y carnosas, provistas de tubérculos que forman costillas longitudinales. Existen también cactáceas con tallos trepadores, como los del género *Peniocereus*, entre otros. En los matorrales xerófilos abundan cactáceas de tallos globosos, como las *Mammillaria*, *Coryphanta*, *Stenocactus*, etc., llamadas biznaguitas y las mayores (*Ferocactus*, *Echinocactus*, etc.), biznagas. Algunas cactáceas epifitas presentan tallos aplanados, muy delgados, casi sin espinas como los del género *Epiphyllum* (Bravo y Sheinvar, 1995). En numerosas especies, con la edad, la base del tallo parece lignificarse, pero jamás se trata de un verdadero leño sino de tejidos esponjosos que se endurecen, pero en que los que continúan pasando los vasos, protegidos por una superficie denominada suberosa,

cuya estructura recuerda mas la del corcho que una verdadera corteza (Pizzetti, 1987).

Hojas

Solo en los géneros más primitivos, como *Pereskia* y *Pereskiopsis*, existen hojas integradas por limbo y pecíolo; en todas las demás, el pecíolo se ha hipertrofiado en un tubérculo, en tanto que el limbo (porción laminar de la hoja) se ha reducido a una escamita o a vestigios microscópicos (Bravo y Sheinvar, 1995).

Areolas

Las areolas son las yemas de las cactáceas. Se desarrollan en la **axila** de los tubérculos, son más o menos redondeadas y producen nuevos tallos y flores, además de espinas, así como fieltro, lana y glóquidas o aguates (Bravo y Sheinvar, 1995). En el género *Opuntia* y *Pereskiopsis* las areolas presentan cortas y punzantes pelusas a cuyo solo contacto penetran en la piel provocando una irritación urticante, que dura muchas horas (Tiscornia, 1978).

Espinas

En la mayoría de las cactáceas estos órganos son característicos y están siempre presentes. Dichas espinas son consideradas como hojas modificadas, reducidas por la acción del medio seco, en donde los tejidos se atrofian y parte de ellos se esclerifica, aunque persisten los vasos conductores del agua que se condensa en la superficie. Pueden ser finas como agujas o muy gruesas; cilíndricas o aplanadas; rectas, curvas o retorcidas; muy pequeñas, como de 1 mm de longitud, o muy largas, hasta de 30 cm; rígidas o flexibles; su color varía desde el blanco hasta el negro, pasando por tonalidades amarillentas o rojizas. Muchas veces hay dos tipos de espinas en la misma areola: las llamadas radiales, las exteriores, son generalmente más delgadas y numerosas, y las centrales son más gruesas y escasas. Unas y otras pueden faltar en ocasiones. Son también conductoras del agua de rocío que sobre ellas se condensa; llevan el agua

a través de sus estructuras hasta los vasos liberianos que llegan a las areolas, y desde ahí la conducen hacia el interior de la planta (Bravo y Sheinvar, 1995). Las espinas representan una forma de defensa ante el ataque de animales e insectos, producen sombra y protección al tallo reflejando los rayos solares o formando una verdadera coraza, facilitan la propagación vegetativa cuando se adhieren a la piel de algún animal que dispersa los tallos (Arreola, 1997).

Flor

En la familia de las cactáceas, la flor es hermafrodita, es decir, que agrupa al gineceo y al androceo dentro de una sola estructura floral (Arreola, 1997). Aparecen generalmente en primavera y brotan de las areolas cercanas al ápice de los tallos, en corona o en hileras longitudinales, (Bravo y Sheinvar, 1995). En ciertas especies (*Mammillaria*) emergen entre los tubérculos o de sus bases, al final de una cavidad dorsal (Tiscornia, 1978). Algunas veces son tan grandes que llegan a medir hasta 40 cm de largo o tan pequeñas de apenas medio centímetro. Su color puede variar entre blanco, amarillo, rojo y violeta, aunque los sépalos externos pueden ser verdosos o parduscos (Pizzetti, 1987). A veces son diurnas, otras nocturnas o crepusculares. Algunas se abren a la salida del sol y se cierran por la noche o cuando está nublado. Otras se abren y se cierran a horas determinadas del día o de la noche. Las hay que duran sólo unas pocas horas, otras un día, y algunas viven varios días (Tiscornia, 1978). La polinización es efectuada por insectos, o incluso por pájaros o murciélagos (Glass *et al*, 1996).

Fruto

Realizada la fertilización, el ovario se transforma en fruto. El fruto tiene aspectos muy diversos. En el género *Mammillaria*, el fruto es una baya lisa y roja, semejante a un chilito. En cambio son lanosos, como en algunas biznagas y en algunos órganos (*Ferocactus* y *Pachycereus*); espinosos, como en las tunas (*Opuntia* sp) y en algunos órganos (*Stenocereus*). Los frutos tienen coloraciones amarillas, verdosas, rojas o purpúreas muy intensas, muy vivas, y en épocas de fructificación atraen a las aves y

mamíferos que se alimentan de ellos. Estos animales intervienen de este modo en la diseminación de las semillas. Los frutos pueden ser secos y **dehiscentes**, pero en la mayoría de los casos son carnosos y no se abren. En los frutos existe una cantidad más o menos grande de semillas, que varían según los géneros y las especies. Hay desde dos o tres hasta 3,000 o más en un solo fruto (Bravo y Sheinvar, 1995). La gran mayoría de los frutos de las cactáceas son comestibles, tal es el caso de las tunas, xoconostles, pitahayas, garambullos, chendes, etc. (Arreola, 1997).

Semilla

Las semillas, son óvulos fecundados que mediante el proceso de la germinación producen nuevas plantas. En las cactáceas, las semillas son generalmente pequeñas, de 1 a 2 mm de longitud, pero en algunas especies llegan a medir hasta medio centímetro. Tienen formas diversas: globosas, discoideas, reniformes, ovoides, y son de colores que varían del negro al crema, pasando por tonalidades pardas, castañas o con tintes rojizos. Están integradas por el embrión, las cubiertas protectoras y, a veces, restos de sustancias nutritivas (Bravo y Sheinvar, 1995). A lo largo de su vida, los saguaros (*Carnegiea gigantea*) producen cerca de 12 millones de semillas, de las cuales solo una llegará a ser una planta madura (UNAM, 1989).

Clasificación taxonómica

En el año de 1753 se publicó la obra *Species plantarum*, de Linneo, que establecía el sistema de nombres binomiales basados en raíces latinas y griegas para clasificar las plantas, el primer nombre indica el género, mientras el segundo designa a la especie que es el nombre descriptivo. Respecto a las cactáceas, fue en tiempos previos a Linneo, que Plumier (1703) describió el género *Pereskia* con las plantas que presentaban hojas laminares; Tournefort (1716), ordenó a las especies conocidas en su época, en dos géneros: *Opuntia* y *Melocactus*. (Guzmán, 1997). En 1899,

K. Schumann, propone dividir en tres subfamilias a las cactáceas: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* y *Cereoideae*.

A esta última la divide en tres tribus: *Mammillarieae*, *Rhipsalidae* y *Echinocactaceae*. N.L. Britton y J. N. Rose en el año de 1923 en su obra *The Cactaceae*, son los primeros en dividir en géneros pequeños a la familia, reconocen 124 géneros con 1,235 especies, las cuales ordenan en los tres grupos propuestos por Schumann, pero con la categoría de tribus (Tabla 2). F. Buxbaum (1958-1974), basándose en el análisis de flor y semilla propone una clasificación fitogenética, donde reconoce 143 géneros, a la subfamilia *Cereoideae* la agrupa en ocho tribus y en 1974 las ordena en nueve: *Leptocereae*, *Hylocereae*, *Pachycereae*, *Browningiae*, *Cereae*, *Trichocereae*, *Notocactae*, *Echinocereae* y *Cactae*. Para 1993, W. Barhlott y D.R. Hunt consideran nueve tribus en la subfamilia *Cactoideae*: *Cereae*, *Hylocereae*, *Pachycereae*, *Browningiae*, *Trichocereae*, *Cactaceae*, *Notocactae*, *Rhipsalidae* y *Echinocereae*. Las seis tribus de la subfamilia *Cactoideae* que están representadas en México son: *Hylocereae*, *Rhipsalidae*, *Pachycereae*, *Cereae*, *Echinocereae* y *Cactaceae* (Guzmán, 1997).

Uso de las cactáceas

Es indudable la importancia de la relación que siempre ha existido entre las plantas y el hombre, por ello, el hombre de todas las épocas, a obtenido formas de utilización tanto para consumo, como en la herbolaria, en construcción, para la manutención de animales de granja o para sombreados y jardinería (Piña, 1993).

Los frutos de cactáceas son en su mayoría comestibles a excepción de las especies más primitivas pertenecientes a la subfamilia *Pereskioideae*. Tunas, garambullos, pitahayas, entre otros, son los más utilizados, pues se conocen desde la época prehispánica hasta nuestros días. Los primeros datos que se tienen acerca del uso en México de estas plantas provienen de Tehuacan, Puebla, y son de hace 6,500 a 10,000 años, donde se encontraron restos semifosilizados de *Echinocactus grandis* en

las fases de Palo Blanco y Venta Salada (2000-1500 a.C.), que probablemente fueron utilizados como alimento por las tribus que habitaban esa región (Bravo y Sheinvar, 1995). Los cactus en general y sus frutos en particular, han jugado un papel importante en la vida diaria de los indioamericanos. Los frutos los consumían ya sea frescos o después de cocerlos en hornos de piso. También secaban al sol frutos y semillas de cactus; tales productos podían durar hasta un año o más y eran fáciles de transportar. Celebraban una “lunada de cacto” al inicio de la primavera, cuando brotaban los botones florales de ciertas especies de cactus, como el *Opuntia echinocarpa* y el *O. versicolor*, los cocinaban y horneaban como un manjar. Un indígena del desierto sonorense podía cosechar alrededor de 350 kg de frutos de saguaro por estación. Esta cosecha de frutos era tan importante para los indios papago y los pima que el tiempo de cosecha (junio) era el inicio de su calendario anual (Nobel, 1998).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la familia Cactaceae según Britton y Rose (1923).

<i>Tribu</i>	<i>Peresqueas</i>
<i>Tribu</i>	<i>Opunteas</i>
subgénero	Consolea
Subgénero	Platyopuntia
Subgénero	Cylindropuntia
Subgénero	Tephrocactus
<i>Tribu</i>	<i>Céreas</i>
Subgénero	Cerinas
Subgénero	Hilocerinas
Subgénero	Equinocerinas
Subgénero	Equinocactinas
Subgénero	Cactinas
Subgénero	Corifantinas
Subgénero	Epifilinas
Subgénero	Ripsalidinas

Fuente: Pizzetti, 1987

Desde épocas prehispánicas hasta nuestros días, las cactáceas han sido usadas ampliamente en medicina tradicional y por grupos indígenas en sus prácticas religioso-mágicas. Los curanderos las han empleado como analgésicos, antibióticos, diuréticos, para la tos, afecciones cardiacas y nerviosas, para combatir la constipación intestinal, por sus vitaminas y, últimamente, para curar algunos tipos de úlceras, controlar la diabetes, el colesterol y el peso corporal. Algunos de estos usos han llamado la atención de los médicos y comienzan a ser investigados científicamente (Bravo y Sheinvar, 1995).

Tabla 3. Formas de utilización de algunas especies de cactus.

Nombre científico	Nombre común	Usos
<i>Ferocactus peninsulæ</i>	Biznaga	Alimenticio, forrajero
<i>Stenocereus gummosus</i>	Pitahaya agria	Comestible
<i>Opuntia cholla</i>	Cholla pelona	Forrajero, medicinal, artesanal
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	Cardón barbón	Construcción, artesanía, medicinal
<i>Pachycereus pringlei</i>	Cardón pelón	Construcción, artesanía, medicinal
<i>Stenocereus thurberi</i>	Pitahaya dulce	Comestible
<i>Opuntia spp</i>	Nopal	Comestible

Fuente: Piña, 1993

El grupo de las cactáceas es considerado adecuado para la decoración de interiores de hogares; así también es sumamente cotizado por coleccionistas de vegetales exóticos y aun para realzar jardines públicos o privados (León *et al*, 1994). Alrededor de 300 especies de cactus están disponibles como ornamentales. Cactus pequeños en los siguientes géneros son en extremo populares: *Ariocarpus*, *Echinocereus*, *Epiphyllum*, *Gymnocalycium*, *Lobivia*, *Notocactus*, *Rebutia*, *Sulcorebutia* y en especial *Mammillaria* (Nobel, 1998).

Conservación de cactáceas

Uno de los problemas más graves a los que se enfrenta México, es la acelerada destrucción de sus especies. El responsable de esta funesta

destrucción es el hombre, que sin tomar en cuenta la ecología ha aniquilado praderas, bosques, selvas y zonas áridas, ya sea para el cultivo de subsistencia, para la ganadería, construcción de presas, industrias, caminos, carreteras para el desarrollo urbano, y mil cosas más. A esto se ha agregado la destrucción de que están siendo objeto las plantas ornamentales, especialmente las cactáceas (Bravo y Sheinvar, 1995). Desde el punto de vista ornamental este grupo es muy apreciado, lo que ha causado que muchas de sus especies sean codiciadas principalmente en el extranjero y por lo tanto, sujetas a intensa colecta, por lo que algunas han desaparecido de sus hábitats naturales (Hernández *et al*, 1990). Nolasco (1992), menciona que la depredación por parte de coleccionistas y comerciantes del mercado negro es muy grande. Aunado a esto, la deforestación indiscriminada ha impactado negativamente en las poblaciones naturales de cactáceas y flora acompañante.

Los esfuerzos por la conservación de los cactus se están volviendo cada vez más críticos. La CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) es un buen inicio para proteger a las especies amenazadas y en peligro de extinción, la familia Cactaceae esta en peligro más que cualquier otra familia vegetal. La belleza de las especies de cactus dignas de colección puede conducir a la desaparición de las poblaciones locales y en algunos casos a la extinción de especies (Nobel, 1998). En el ámbito mundial la CITES, regula a través de un sistema de permisos, el comercio de las especies silvestres, animales y vegetales amenazadas de extinción, así como de sus partes y derivados (Franco, 1997). El 18 de junio de 1991, México se unió al CITES; el convenio fue publicado en el Diario Oficial del día 24 del mismo mes (Bravo y Sheinvar, 1995). El 16 de mayo de 1994 se emite la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial. (Franco, 1997).

Con fecha 3 de julio de 2000 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General de Vida Silvestre, la cual de acuerdo a su

artículo primero es de orden público e interés social; reglamentaria del párrafo tercero del artículo 27 de la fracción XXIX, así como del inciso G del artículo 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y tiene por objeto establecer la concurrencia del Gobierno Federal; de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias; relativas a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la nación ejerce su jurisdicción. El 6 de marzo de 2002, se publica la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo; la cual abroga a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de mayo de 1994, así como su modificación publicada en el citado órgano de difusión oficial el 22 de marzo de 2000, y tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.

Bibliografía

- Arias M.S. 1997. Distribución general. *In*: Suculentas mexicanas: Cactáceas. CVS Publicaciones. México. Pp: 17-25.
- Arreola N. H. 1997. Formas de vida y características morfológicas. *In*: Suculentas mexicanas: Cactáceas. CVS Publicaciones. México. Pp: 27-35.
- Bravo H. H. y L. Sheinvar. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. Editorial Fondo de Cultura Económica. México. 233p.
- Britton, N. L. y J. N. Rose. 1963. The Cactaceae. 2a. Edición. Vol. I y II. Dover Publication Inc., E.U.A. 477p.
- Diario Oficial de la Federación. Miércoles 6 de marzo de 2002. México. D.F.

- Franco M., I. 1997. Legislación y conservación. *In*: Suculentas mexicanas: Cactáceas. CVS Publicaciones. México. Pp: 101-111.
- Glass C., C. Innes y M. Schneck. 1996. Cactus. Breve guía de estudio e identificación. Editorial Zendera Zariquiey. Barcelona, España. 80p.
- Guzmán C., L. 1997. Grupos taxonómicos. *In*: Suculentas mexicanas: Cactáceas. CVS Publicaciones. México. Pp: 37-41.
- Hernández C., T. Terrazas A. y E. Linares M. 1990. Las colecciones del jardín botánico del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 33p.
- León de La Luz, J.L., R. Coria B., M. Domínguez L. y R. Domínguez C. 1994. Flora iconográfica de Baja California Sur. *In*: Memorias del Segundo Encuentro sobre Botánica Económica Regional. Beltrán M. A., J.M. Agúndez E. y A. Escobar R. (eds.). Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México. Pp: 7-19.
- March K. 1988. Cactus y suculentas. Editorial Blume. Barcelona. España. 48p.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Editorial Trillas. México. 211p.
- Nolasco S., H. 1992. La propagación de cactáceas de Baja California Sur y su potencial económico, ecológico, social y cultural. Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz. México. 113p.
- Piña P., F. 1993. Catálogo de plantas útiles de Baja California Sur. SARH-INIFAP. Folleto técnico no.2. La Paz. México. 51p.
- Pizzetti M. 1987. Guía de cactus. Ediciones Grijalbo. Barcelona. España.
- Roberts N., C. 1989. Baja California plant field guide. Natural History Publishing Company. La Jolla, EE.UU. 309p.
- Tiscornia J. 1978. Cactus y otras plantas de ornamento. Editorial Albatros. Buenos Aires. Argentina. 122p.
- Universidad Autónoma de Baja California Sur y Grupo INTERCACTI. 1993. ¿Qué son los cactus?. Folleto de Educación Ambiental. La Paz, B.C.S., México.
- Universidad Nacional Autónoma de México. 1989. Cactus. México.
- Wiggins, I. L. 1980. Flora of Baja California. Stanford University Press. Stanford. 1025 p.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.).
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 19-25.

Capítulo 2

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE NOPAL

Arnoldo Flores-Hernández, Antonio Reyes-Agüero

Resumen

La clasificación taxonómica del nopal, al igual que para las demás especies vegetales y animales se ha basado en las relaciones filogenéticas que se deducen de la descripción de las características anatómicas visibles, utilizando para ello diferentes métodos, dependiendo de los recursos disponibles por los taxónomos. En nopal, esta tarea ha presentado serias dificultades debido a la diversidad de especies y ecotipos pertenecientes a la familia Cactaceae, la plasticidad morfológica del nopal y la variación debida a hibridación contribuyen a la dificultad de clasificaciones correctas. Sin embargo, actualmente se cuenta con técnicas analíticas de precisión, como la electroforesis, que permiten la identificación de una planta, mediante la obtención de secuencias de moléculas químicas de determinados órganos vegetales. Este tipo de estudios a nivel molecular no sustituyen del todo el estudio de las características anatómicas visibles, sino que se complementan entre sí, al igual que las características de cosecha y rendimiento y calidad para cultivares de interés comercial. Todo ello es examinado mediante el uso de herramientas estadísticas de análisis multivariado, que se han convertido en aliados de los investigadores para deducir el grado de parentesco o distancia genética existente entre ecotipos y, de esta manera, orientar de forma precisa la decisión sobre la clasificación taxonómica y registro de especies, sub-especies y variedades.

Palabras clave: *nopal, (Opuntia spp), taxonomía, clasificación.*

Abstract

The taxonomic classification of prickly pear; as well as for all the other vegetal and animal species, is supported in the phylogenetic relationships that are revealed from the visual anatomic-characters description, and it has used different methodologies, depending on the available resources of the taxonomist. On this species, this work has faces severe difficulties due to the high diversity of species and ecotypes within the Family Cactaceae. In this context, both morphologic plasticity and variation caused by hybridizing contribute to make more difficult the correct classification. Nevertheless, currently have been developed high-precision analytic techniques, like the electrophoresis, that allow the identification of a plant, through the obtaining of chemical molecular sequences of a determined vegetal organ. This sort of molecular studies does not substitute at all the study of visual anatomic-characters, but they are complementary each other, and they can be enriched with the consideration of commercial desirable-characters, like yielding potential and quality. All this universe of characters must be examined through the use of multivariate analysis statistical tools, which became allies to researchers to elucidate the degree of genetic distance among ecotypes, and, in this route, to orientate accurately the decision about the taxonomic classification and the registration of species, sub-species or cultivars.

Key words: *prickly pear, (Opuntia spp), taxonomy, classification*

Introducción

La taxonomía de organismos vegetales y animales de alguna manera pretende una clasificación estrictamente genealógica que atienda al ideal de un todo subordinado a un principio de descendencia o consanguinidad. Ello desde luego es difícil de lograr debido a la extinción de los individuos menos aptos en la lucha por la sobrevivencia, la atención (prioridad) y/o protección a grupos “familias” de importancia económica y social (cultural),

y la existencia de organismos que aún permanecen sin ubicar o ubicados de manera incorrecta (Casiano-Conzatti, 1981).

Diferentes métodos han sido utilizados para ubicar la posición de un organismo vegetal dentro de su comunidad o reino, todos ellos con base en las relaciones filogenéticas de las plantas, que se deducen de la descripción de las características anatómicas visibles; detallando caracteres ligados al tallo, hoja, flor fruto y semilla, que permiten agruparlas en cuanto a las semejanzas observadas. El avance en el análisis de los caracteres de las plantas que se pueden utilizar para su clasificación, paulatinamente se ha profundizado en diferentes campos desde el anatómico y genético (citogenético) hasta el bioquímico; este último basado en estudios de electroforesis para la obtención de secuencias de moléculas químicas como ácido desoxirribonucleico (ADN), proteínas e isoenzimas de un determinado órgano vegetal que sirve para identificar a la planta (Weier, 1980; Santamour, 1982). En nopal, estos últimos análisis se están realizando con el propósito de auxiliar a su clasificación taxonómica, a la vez que permita su descripción varietal y contar con una herramienta de registro de los cultivares sobresalientes.

Avances en la clasificación de Nopal

Las Cactáceas, originarias de América, son de las familias de plantas de más amplia distribución y variación, incluyendo cerca de 125 géneros, más de 1,200 especies y dentro de ella el género *Opuntia* es de los de mayor distribución y representatividad con más de 200 especies (Barthlott y Hunt, 1993). En *Opuntia*, los problemas en su clasificación se acentúan debido a la gran diversidad de especies y ecotipos; producto de procesos de hibridación natural, además de que existe una variedad de sistemas de clasificación con muchas sinonimias en ellos.

Dentro de la amplia gama de los sistemas de clasificación que ubican a la planta de nopal de acuerdo a sus diferencias fenotípicas contrastantes, destacan; el sistema de clasificación de Britton y Rose (1937), de Bravo-Hollis (1978), de Sánchez-Mejorada (1982) y el más reciente de Barthlott y

Hunt (1993). Trabajos específicos han sentado las bases para aclarar la ubicación de determinados géneros y especies, encontrándose situaciones en las que las descripciones realizadas se atribuían a ejemplares únicos de jardines y herbarios, ignorándose el hecho de que la observación y reconocimiento de la variabilidad existente en las poblaciones naturales y silvestres es fundamental para describir una especie y delimitar un grupo (Bracamontes, 1981; Scheinvar, 1999). Por otra parte, la plasticidad morfológica del nopal debida a su constitución genética y el ambiente en que se desarrolla, origina una variación difícil de evaluar en campo (Maddams, 1972). Además, la variación debida a la hibridación presenta poblaciones de diferente origen, lo que es producto del tipo de reproducción detectado en nopal (Grant y Grant, 1971, 1979, 1982; McLeod, 1974). Los problemas de identificación taxonómica de *Opuntia* son frecuentes entre investigadores dedicados a esta labor, los reportes indican que no hay coincidencia exacta entre las características de las plantas analizadas con la descripción existente en la literatura especializada (Sistemas de Clasificación), por lo que la ubicación del material se realiza por aproximación a las características descritas en dichos manuales y fortalece la tesis de la hibridación y plasticidad ecológica reportada en los estudios de nopal. En virtud de lo anterior, se han descrito métodos basados en análisis estadístico para explicar los caracteres que tienen mayor influencia en la variación presente en la planta de nopal y ubicar de alguna manera los materiales en estudio con el mínimo error o designarlos en categorías intermedias (híbridos) o diferentes. Así por ejemplo, en un estudio taxonómico se ubicó por aproximación a una población en las especies *Opuntia rastrera*, *O. phaeacantha*, *O. macrocentra* y *O. lindheimeri*, además en determinados híbridos; encontrándose que cinco componentes principales explican en su conjunto el 71.7 % de la variación total analizada de 17 diferentes características (Espinoza *et al.*, 1988). El análisis de componentes principales es la base para generar diagramas de dispersión que permiten relacionar caracteres de interés diverso como grado de ploidía con caracteres morfológicos atribuidos a la condición de sequía en nopal (cutícula gruesa, estomas hundidos, número de espinas, etc.) o entre estos mismos (Muñoz *et al.*, 1995). Dichos análisis también pueden realizarse en caracteres de interés relacionados con determinado componente de la

planta, por ejemplo el fruto (tuna), lo que facilita la agrupación de cultivares con base en el número, tamaño, peso, cantidad de semillas, porcentaje de cáscara, firmeza, etc. que sirven como indicadores de producción y calidad (Valdez *et al.*, 1995).

Se tiene entonces que los estudios actuales sobre clasificación han surgido por la necesidad de tener las herramientas que permitan identificar los materiales sobresalientes de nopal para su registro, así, es posible contar con formatos de descriptores y listados de caracteres de interés específicos (Mondragón *et al.*, 1995; Gutiérrez, 1995). No obstante, el uso de técnicas moleculares resulta de las opciones más recomendables para la descripción varietal de cualquier especie, no sólo para estudios genéticos y taxonómicos sino como identificación particular de la variedad para su explotación comercial. En específico, el uso de las isoenzimas se ha enfocado a estimar y entender la variabilidad genética en poblaciones naturales, conocer el flujo genético, reconocer el grado de hibridación entre especies cercanas, su distribución y relaciones filogenéticas, entre otros problemas (Murpy *et al.*, 1990). En algunos estudios de la variación natural de poblaciones de plantas, las isoenzimas han sido utilizadas como marcadores moleculares (génicos) especialmente para conocer la presión de selección en relación con las condiciones ambientales del hábitat (Ledoux, 1974).

En nopal (*Opuntia* spp), la información sobre isoenzimas se está analizando con la finalidad de detectar polimorfismo en los sistemas enzimáticos: ácido shikímico deshidrogenasa (SAD, E.C. 1.1.1.25), fosfatasa ácida (ACP, E.C. 3.1.3.2), malato deshidrogenasa (MDH, E.C. 1.1.1.37), enzima málica (ME, E.C. 1.1.1.40), glutamato oxaloacetato transaminasa (GOT, E.C. 2.6.1.1), fosfoglucomutasa (PGM, E.C. 2.7.5.1), 6-fosfogluconato deshidrogenasa (6-PGD, E.C. 1.1.1.44) fosfohexosa (fosfoglucona) isomerasa (PHI, E.C. 5.3.1.9) y aconitasa (ACO, E.C. 4.2.1.3), en nueve cultivares agrupados en las especies representativas del tipo frutal (tunero). Dicha información permitirá deducir el grado de parentesco (relación filogenética) o distancia genética existente entre ellos, lo que orientará la decisión sobre su clasificación taxonómica en el sentido

de considerarlas especies diferentes o posibles variedades de una sola especie.

Bibliografía

- Barthlott, W. and D.R. Hunt. 1993. Cactaceae. *In*: K. Kubitzki (Eds.). The Families and genera of vascular plants. Vol. II: Flowering Plants. Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, Germany. 161-197 p.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F. Vol. I; 743 p.
- Bracamontes, L.R.M. 1981. Consideraciones sobre la clasificación de las cactáceas. *Cact. Suc. Mex.* 26 (1): 20-24 p.
- Britton, N.L. and J.N. Rose. 1937. The Cactaceae. Second Edition. Dover Publication, New York. Vol. I, 1963, 225p.
- Casiano-Conzatti, C. 1981. Flora taxonómica Mexicana. Tomo I, 3ª Edición. Instituto Politécnico Nacional. 1-2p.
- Espinoza, A.J., Medina, T.J.G y Elizondo, E.J.L. 1988. El problema de la variabilidad morfológica en el nopal: Un enfoque metodológico. *En*: López G.J.J. y M.J. Ayala O. (Eds). El Nopal. Memorias de la tercera reunión nacional y primera internacional. UAAAN, Buenavista, Coah. Méx. 73-80p.
- Gutiérrez, A.F. 1995. Evaluación y comparación de la tuna de 14 selecciones de nopal (*Opuntia* spp) en Aguascalientes. *En* Pimienta-Barrios, E; C. Neri-Luna; A., Muñoz-Urías, F.M. Huerta-Martínez (comp.). Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Memorias del sexto congreso nacional y cuarto congreso internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 131-136p.
- Grant, V. and K.A. Grant. 1971. Natural hybridization between cholla cactus species (*Opuntia spinosior* and *Opuntia versicolor*). National Academy of Sciences. *Proceeding.* 68(9):1993-1995.
- Grant, V. and K.A. Grant. 1979. Systematics of the *Opuntia phaeacantha* group in Texas. *Bot. Gaz.* 140(2):199-207.
- Grant, V. and K.A. Grant. 1982. Natural pentaploid in the *Opuntia lindheimeri*, *O. phaeacantha* group in Texas, USA. *Bot. Gaz.* 143(1): 117-120p.

- Ledoux, L. 1974. Genetic manipulations with plant material. Plenum Press, New York and London. 379-380p.
- Mondragón, J.C., M.R. Fernández M., J. Rodríguez A. y C. Flores V. 1995. Propuesta de descriptores para el registro de variedades de nopal. *En* Pimienta-Barrios, E; C. Neri-Luna; A. Muñoz-Urías y F.M. Huerta-Martínez (comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del sexto congreso nacional y cuarto congreso internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 127-131p.
- Maddams, W.F. 1972. The problem of variability. *Cact. and Suc. J. Great Brit.* 34 (4):74-78p.
- McLeod, M.G. 1974. Cytotaxonomic investigation of juice fruited prickly pear of Arizona (Cactaceae- *Opuntia* serie *Opuntioideae*). *Am. J. Botany.* 61(5): 47.
- Muñoz, O.A., A. García V. y E. Pimienta B. 1995. Relación entre el nivel de ploidía y las variables anatómicas- morfológicas en especies silvestres y cultivadas de nopal tunero (*Opuntia* spp). *En* Pimienta-Barrios, E; C. Neri-Luna; A. Muñoz-Urías y F.M. Huerta-Martínez (comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del sexto congreso nacional y cuarto congreso internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 7-11p.
- Murphy, W.R., W.J. Sites., G.D. But and H. Ch. Haufler. 1990. Proteins: Isozyme electrophoresis. *In: Molecular Systematics.* Hillis, D.M. and Mortis, C. (Eds.). Sinauer Associated Inc. Publish. Sunderland Massachusetts. USA. 45-126 p.
- Santamour, C. 1982. Cambial peroxidase isoenzyme in relation to systematics of acer. *Bulletin of the Torrey Botanical Club.* 109(2): 152-161.
- Sánchez-Mejorada, H. 1982. Consideraciones generales sobre la clasificación de las cactáceas. *Cact. Suc. Méx.* 27(1):3-9.
- Scheinvar, L. 1999. *Opuntia albicarpa* Scheinvar, una nueva especie para la ciencia del Estado de México. *Revista del Jardín Botánico Nacional.* (UNAM). Vol. XX: 167-169.
- Valdez C. R., C. Gallegos V., Y F. Blanco M. 1995. Agrupamiento jerárquico de veintinueve genotipos de *Opuntia* spp mediante características de fruto. *En* Pimienta-Barrios, E; C. Neri-Luna; A. Muñoz-Urías y F.M. Huerta-Martínez (comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del sexto congreso nacional y cuarto congreso internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 3-6p.
- Weier, E. 1980. *Botánica.* Ed. Limusa, México. 412p.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.).
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 27-47.

Capítulo 3

ECOLOGÍA DEL NOPAL

Alejandra Nieto-Garibay

Resumen

En este capítulo se exponen las características principales de los **hábitats** donde es posible encontrar especies silvestres de nopal. Especial atención merecen los nopales cultivados, cuya distribución y establecimiento depende en principio de la mano del hombre para posteriormente adaptarse a las condiciones en que se desarrollarán. A lo largo del capítulo se utiliza la palabra opuntias o nopal de forma indistinta. En el capítulo se aborda la ecología del nopal caracterizando primero de manera general los tipos de hábitat donde se puede encontrar, desierto, bosque y selva. La distribución del género *Opuntia* se muestra a nivel mundial y nacional con el fin de ubicar la potencialidad de colonización del mismo. Se describen las principales características ecológicas a las que se debe su éxito en las zonas áridas, principalmente las morfológicas y fisiológicas. Como parte de la ecología del nopal se describe el clima y la parte mineral del suelo como factor **abiótico** y la vegetación como factor **biótico** donde se distribuyen las opuntias ya sea de forma silvestre o cultivada. Por último, se expone la importancia del conocimiento de la ecología del nopal en algunas de las diversas líneas de investigación de las opuntias.

Palabras clave: *ecología, opuntias, nopal, factores bióticos, factores abióticos, hábitat, distribución.*

Abstract

Characteristics of the various habitats within dry forests, deserts, and rain forests where species of nopal are found are described in this chapter. In Mexico, the term "nopal" is used to describe the opuntias. The broad distribution of *Opuntia* crops and wild *Opuntia* in México and in the world supports the adaptability of *Opuntia*. This chapter describes opuntias morphological and physiological properties that support its successful adaptation in arid zones. As a part of nopal ecology, the weather and mineral soil are described as important abiotic factors in the typical areas of wild and cultivated nopales. The natural vegetation type is one of the biotic factors that help explain where opuntias live. Finally, the importance of understanding nopal ecology is described as the background of several research themes.

Key words: *ecology, opuntias, nopal, biotic factor, abiotic factor, habitat, distribution.*

Introducción

El conocimiento de la ecología del nopal incluye el estudio de sus interacciones con el medio biótico o abiótico. Se entiende por medio biótico todo aquello que está vivo, animales y plantas, y por medio abiótico lo que no tiene vida como el clima, la parte mineral del suelo y química del agua. El nopal al igual que cualquier otra planta **co-habita** con otras plantas y animales. A diferencia de muchas plantas con requerimientos específicos, el nopal al igual que todas las plantas que pertenecen a la familia de las cactáceas tienen propiedades que le permiten establecerse en lugares cuyas características pueden diferir de manera extrema (frío-calor; árido-húmedo), sin embargo, su hábitat predilecto es el árido y semiárido. La importancia ecológica del nopal radica en ese poder de adaptación que le permite distribuirse en tan diferentes ambientes. Su adaptación ha llevado al género a cambiar sus aspectos morfológicos dependiendo de las exigencias del sitio donde se desarrolla (Kiesling,

1999). De esta manera conocer su ecología, es decir, como es el lugar donde nacen, crecen y se desarrollan, permite entender sus estrategias de vida. En un sentido aplicado, la información generada acerca de su ecología puede ser utilizada por el hombre para su cultivo. Dicha información permite conocer los requerimientos naturales para su desarrollo, lo cual permite a su vez manejar de manera más efectiva dichos requerimientos, con el fin de lograr mejores producciones. Esto conlleva a una explotación racional de las opuntias con el cuidado de no exterminarlas. Por ello, es importante el desarrollo de investigaciones de comunidades de nopales tanto silvestres como cultivados, ya que de manera simultánea al entendimiento se puede obtener su aplicación.

La ecología del nopal

La **ecología** se ocupa del estudio científico de las interrelaciones entre los organismos y sus ambientes y por tanto de los factores físicos y biológicos que influyen en estas relaciones y son influidos por ellas. La raíz griega *oikos* significa "casa" o "lugar para vivir" y ecología (*oikos logos*) es literalmente el estudio de organismos "en su hogar", en su medio ambiente nativo (Odum, 1987). La ecología del nopal entonces, es su relación con todo tipo de factor que le rodea tanto vivo como no vivo (Therón y Vallin, 1987). Por lo tanto hablar del hábitat o lugar donde se encuentra el nopal es hablar del suelo, clima, vegetación e incluso la fauna con la que cohabita.

Hábitat

Hablar de la situación actual de la ecología de los nopales cuyo género es *Opuntia*, es hablar de una gran diversidad de ambientes ya sean naturales o bajo algún tipo de manejo por el hombre. Es fácil observar la presencia de estas plantas en desiertos, bosques y selvas, cada uno con características propias y extremas si se comparan entre sí. Con el fin de tener una idea más clara a continuación se describen los ambientes en los que pueden encontrarse las opuntias.

Desierto: Región caracterizada por un clima árido lo que generalmente se debe a una cantidad de precipitaciones muy limitada. Es frecuentemente la presencia de una cadena montañosa reteniendo la lluvia o de unas zonas de alta presión que provoca este fenómeno. En este medio **xerófilo** (medio seco), la sequedad hace el papel del factor limitante de la vida, teniendo como consecuencia una **productividad primaria** de poca importancia cuyo volumen corresponde al de las precipitaciones. La fauna y la flora del desierto se distinguen por su capacidad de adaptación a la escasez de humedad. La vegetación consiste casi exclusivamente en plantas vivaces cuya facultad para retener el agua o quedarse dormida -al estado de grano- hasta la llegada de lluvias acelerando su crecimiento. Más del 14% de la superficie del planeta está ocupada por desiertos, situados principalmente en áreas vecinas a los trópicos. En este ambiente el factor limitante es el agua: las precipitaciones no llegan a los 250 mm por año, mientras que la temperatura media anual es de 30°C. La vegetación dominante es herbácea y de carácter xerófilo, es decir, adaptadas a la sequedad del ambiente. Los suelos de los desiertos son, en general, sumamente áridos y están compuestos de arena (Barrameda.com; Rzedowski, 1978; SEP, 1999).

Bosque: Los bosques templados son típicos de todo el continente europeo, la región oriental de Asia (en especial, China y Japón) y América del Norte. También se les encuentra en áreas templadas y templado-frías de América del Sur. Gran parte de ellos ya han sido talados para la obtención de madera y el aprovechamiento del suelo con fines agropecuarios. La vegetación es predominantemente arbórea, aunque también hay arbustos y plantas herbáceas. De forma general las temperaturas media anuales es de 23°C y el promedio anual de precipitaciones de 1.000 mm. El factor limitante es el agua, pues existe un período del año en que las precipitaciones son menores. El suelo del bosque templado tiene un alto contenido de materia orgánica que se acumula fundamentalmente en las dos primeras capas u horizontes, lo que queda demostrado por el color oscuro de las mismas (Barrameda.com; Rzedowski, 1978; SEP, 1999).

Selva: Se caracterizan por temperaturas medias anuales de 25°C, abundantes precipitaciones, de hasta 4.500 mm año⁻¹ y su factor limitante es la luz. El paisaje es parecido en todas esas áreas, pero cada una de ellas tiene características propias. El suelo, que proporciona agua y sales minerales es poco fértil en la selva, ya que la materia orgánica es rápidamente descompuesta por el calor y la humedad y los nutrientes son lavados por las intensas lluvias. Además, permanece húmedo, ya que el follaje espeso absorbe casi toda la luz y no permite el paso de los rayos solares hacia el interior. La vegetación dominante es arbórea, con ejemplares de 20 hasta 40 m de altura. Al carecer de clima frío, las plantas conservan su follaje durante todo el año. La mayor parte de la vegetación consiste en árboles de madera dura, con muy pocas plantas herbáceas (Rzedowski, 1978; SEP, 1999).

Si se observan las características de cada ambiente es fácil comprobar la capacidad que tienen las especies de *Opuntia* para adaptarse a diversos ambientes. Pueden desarrollarse en distintos climas desde los fríos como los bosques, hasta los cálidos como los desiertos. En distintos suelos desde los más fértiles en bosques y selvas; en segundo término, hasta los más infértiles como los desiertos. En lugares con abundante precipitación como las selvas, como la mínima en el desierto. Nobel (1999) menciona que las opuntias se pueden encontrar desde abajo del nivel del mar como en los desiertos de California, hasta elevaciones de más de 4700 m en las montañas de Perú, desde regiones tropicales en México con temperaturas que generalmente se mantienen a más de 5 °C, ha regiones de Canadá donde la temperatura puede estar a menos de 40 °C en invierno. Aunque su distribución es muy amplia, el desierto es el tipo de hábitat en donde predomina la presencia de las opuntias, gracias a sus características ecológicas que le permiten una mejor adaptación a este tipo de hábitat. En México el nopal se distribuye principalmente en las zonas áridas y semiáridas.

Distribución

Además de los diferentes hábitats en los que se encuentra el nopal, conocer su distribución permite conocer toda una gama de características

donde se puede desarrollar este vegetal. Por ello es tan importante dentro de su ecología tener una mayor idea de su distribución. En la actualidad los estudios y la información existente acerca de este tema son muy variables, algunas especies cuentan con más estudios que otras, por lo que todos los estudios que se van generando al respecto alimentan un acervo de información muy valioso.

En el mundo

El poder de adaptación que poseen las opuntias les permite colonizar casi cualquier medio, su amplio intervalo para modificar su morfología al paso del tiempo, ha permitido que este género se adapte a una gran diversidad de hábitats. Gracias a sus características se ha registrado la presencia de las opuntias en gran parte del mundo, la Figura 1 muestra la distribución mundial de las opuntias como un resumen de los datos de Barbera (1999). Países como Chile, Perú, Brasil, México, Bolivia, Argentina y Colombia, Estados Unidos, Italia, España, Sudáfrica, África del Norte, Oriente Medio poseen algunas especies de éste género. Es importante aclarar que la distribución que se marca en la Figura 1 a nivel mundial no significa que las especies de *Opuntia* se distribuyan en todo el país señalado.

No obstante su amplia distribución, en la mayoría de los casos el establecimiento de las opuntias obedece a sitios con características de las zonas áridas y semiáridas. Tal es el caso de la parte desértica del Sur de Estados Unidos, la altiplanicie Mexicana y parte norte de África. Una de las explicaciones a tal distribución podría ser el centro de origen del género. Granados y Castañeda (1977) señalan tres teorías al respecto: una de ellas menciona que el género *Opuntia* es originario de América debido a la gran variedad de especies que presenta; la segunda teoría toma como base las similitudes morfológicas con las portulacáceas, se piensa que las cactáceas derivó de las portulacáceas y su origen podría estar en México, puesto que en este país existe el mayor número de géneros e individuos. La tercera teoría considera que probablemente fueron dos los centros de diversificación, uno en el norte y otro en el sur del continente, ambas zonas están separadas por el Istmo de Panamá, cuyo clima impide la

progresión de los taxa de un lugar a otro. La teoría más aceptada es que el centro primitivo de diferenciación de las cactáceas fue el sistema del Golfo de México y del Caribe, desde donde emigraron para constituir las dos zonas categóricas actuales una en América del Norte y otra en América del Sur.

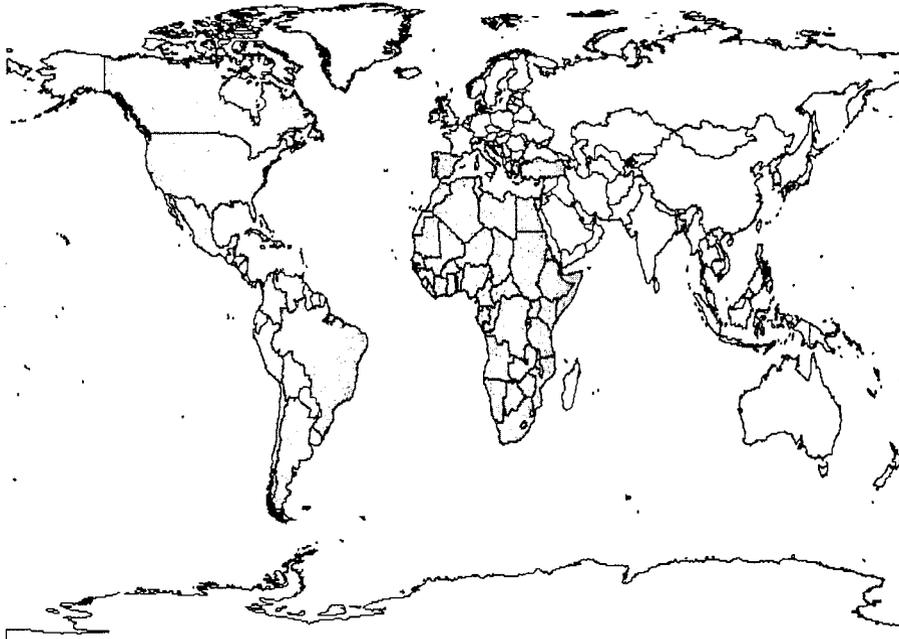


Figura 1. Distribución mundial de las opuntias según Barbera (1999).

En México

Según la clasificación de zonas áridas y semiáridas mencionada por Parra y Villarreal (1981), en México existen 56 millones de kilómetros cuadrados cubiertos por zonas áridas y 23 de zonas semiáridas, que sumadas equivalen aproximadamente al 40 % de la superficie total del país (citados en: PROCYMAF, 2002). Por otro lado, Rzedowski (1978) en su clasificación considera que en general el 60 % del territorio nacional es

una zona árida. Independientemente de las diferentes clasificaciones que existan y las posibles diferencias en porcentajes de superficie con características áridas o semiáridas de México, su importancia para la distribución de las opuntias es determinante, ya que son el hábitat predilecto de este género. Debido a la gran superficie árida de la República Mexicana, las nopaleras se pueden encontrar en prácticamente todo el país tanto de manera silvestre como cultivada. Dentro de su amplia distribución existe literatura más específica de donde se pueden encontrar diferentes especies de opuntias. Granados y Castañeda (1997) mencionan tres zonas nopaleras propuestas por Marroquín (1964) que se basa en la abundancia de nopal y su incidencia natural. Las especies características son: *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* y *O. imbricata*:

- a) Zona nopaleda principal. Comprende a Zacatecas e incluye partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.
- b) Zona nopalera del noroeste: Norte de Tamaulipas y noroeste de Nuevo León
- c) Zona nopalera difusa: Incluye sólo las partes cálidas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

Pimienta (1990) menciona que las *nopaleras silvestres* son las más distribuidas de México y se encuentran principalmente en Zacatecas, San Luis Potosí y Jalisco. En Jalisco, un ejemplo de nopalera silvestre es la *Opuntia streptacantha* y *Opuntia leucotricha* D.C. (Bravo et al., 1991).

Una de las especies más comunes a escala nacional es la *Opuntia ficus-indica* comúnmente llamada "nopalito", esta especie se siembra en gran parte de los estados de la República. Su amplia distribución se debe a la plasticidad de la planta en su adaptación a diferentes condiciones ambientales. La especie se puede encontrar en cultivos extensivos, cultivos traspatio o solares como parte un huerto en casa. El cultivo de nopalito se puede encontrar en:

Aguascalientes. Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1990).

Baja California. Es la excepción de los estados del norte, pues es el único en producir nopal y no consumirlo. En este Estado se produce nopal por dos razones. La primera es para exportarlo a los EE.UU. por las personas que emigran a este país y la segunda es para distribuirla por los grandes núcleos de población estadounidense de origen mexicano que consume nopalito en el estado de California. En esta región se produce nopalito en cuatro municipios: Mexicali, Tijuana, Ensenada, y Tecate (Cervantes *et al.*, 2000).

Coahuila. Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993).

Distrito Federal. En Milpa Alta, esta delegación es el mayor productor de nopal en nuestro país, en esta región se calculan unas 27,000 plantas de nopal por hectárea tomando en cuenta que son alrededor de unas 7,500 hectáreas (Cervantes *et al.*, 2000).

Durango. Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993).

Guanajuato. En este Estado al igual que en Michoacán se produce el nopalito en pequeñas áreas esparcidas por todo el Estado, pero cuenta con una entidad llamada Valtierrilla que tiene aproximadamente 250 ha, en ella y en todo el Estado se cultiva el nopal pelón, el de hule o el nopal negro (Cervantes *et al.*, 2000). Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1990).

Jalisco. Son pequeñas zonas nopaleras, la más importante se encuentra cerca del Lago de Chapala (Cervantes *et al.*, 2000).

Morelos. En este Estado el productor más importante es el municipio de Tlalnepantla con cerca de 350 ha cultivadas y 450 productores de nopalitos (Cervantes *et al.*, 2000).

Puebla. En ella hay dos entidades nopaleras la primera comprende entre los municipios de Atlixco y Cholula, la segunda esta en el municipio de

Acatzingo, en estas entidades se cultiva el nopal trueno (Cervantes *et al.*, 2000).

Michoacán. La producción de nopalito no está concentrada en un sólo lugar sino que se expande por todo el Estado. Sin embargo, sobresale Uruapan que se encuentra al sur del Estado, con 250 ha. En ella se cultiva en un 90% el nopal blanco y en un 10% el nopal negro o verde (Cervantes *et al.*, 2000).

Oaxaca. Aquí la producción de nopal se concentra en los valles del centro (Cervantes *et al.*, 2000).

San Luis Potosí. Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993). Granados y Castañeda 1997 mencionan que esta especie se encuentra en densidades de 200 a 600 individuos por hectárea (Cervantes *et al.*, 2000).

Zacatecas. Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993).

Características ecológicas

Como se mencionó anteriormente el nopal se encuentra distribuido mayormente en las regiones áridas y semiáridas como los desiertos. El éxito que tienen las opuntias para adaptarse mejor a estos lugares se debe a las características ecológicas que poseen al igual que toda la familia de las *cactáceas* a la que pertenece y que han desarrollado a través de los años. Las condiciones para la vida en un desierto deben obedecer a adaptaciones para climas con temperaturas extremas, alta radiación solar, fuertes vientos, poca humedad en el ambiente y suelo, suelos salinos y generalmente arenosos. Aunado a ello, deben enfrentarse a precipitaciones erráticas o nulas en largos períodos de tiempo. Por lo que el agua se convierte en el factor limitante para su vida. Las características ecológicas que incluyen las morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del nopal han permitido su permanencia en estas regiones gracias a que juntas se combinan para lograr una economía del agua (Nobel, 1999). La fisiología de los nopales al igual que la gran mayoría de

las plantas de las zonas áridas o semiáridas debe evitar al máximo la pérdida de agua a través del proceso de transpiración que enfrentan.

Características morfológicas

La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales. Esta puede considerarse como el sello distintivo de su parte aérea (tallo, flores y frutos) y resulta de la producción masiva de células de ciertos tejidos **parenquimatosos**, asociada a un aumento en el tamaño de las **vacuolas** y a una disminución de los espacios intercelulares. Este fenómeno permite a los órganos de estas plantas acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves períodos de humedad y por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la **evapotranspiración** (Kramer, 1989).

Raíz

Aunque son semejantes a cualquier planta, la diferencia de la generalidad es que sus raíces desarrollan pelos radicales cuando se encuentran en un suelo húmedo y pueden desaparecer en suelos secos. Es una característica que permite a la planta absorber de manera rápida toda el agua posible mientras este presente. La raíz deriva de una raíz principal y en algunos casos puede derivarse del tallo. Son gruesas y su tamaño es proporcional al tamaño de la parte aérea. El tiempo de vida de la raíz es permanente (Nobel, 1999; Aguilar 1998; Monroy 1989).

Tallo

El tallo se caracteriza por tener una cutícula gruesa y cubierta de una cera de una sustancia grasosa llamada cutina, suave al tacto. Esta primer capa del tallo llamada dermis tiene algunas funciones principales: 1) evita la pérdida de grandes cantidades de agua por el proceso de **transpiración**; 2) regula el movimiento de la entrada de dióxido de carbono y salida de oxígeno por la planta; 3) retiene agua dentro del cuerpo; y 4) protege a la planta del ataque de hongos, esporas, insectos y luminosidad intensa (Sudzuki, 1999; Granados y Castañeda, 1996). El tallo es ramificado y

multiarticulado. Se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoides llamados cladodios o pencas. Estos cladodios son aplanados en forma de raqueta, son suculentos y almacenan gran cantidad de agua, su principal función es fotosintética (Monroy, 1989).

Hoja

En el nopal solamente existe en los renuevos de pencas (cladodios) cuando están tiernas. Son hojitas cilíndricas y **caducas**, en forma de cuernitos; herbáceas, en cuyas axilas se hallan las **areolas** de las cuales brotan las espinas. Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, o sea en unos cuantos días, en cuyo lugar quedan las espinas (Monroy, 1989).

Flor

La flor de la planta se produce en las areolas, localizadas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, ya que algunas pueden brotar al primer año y en otras al segundo o al tercero. Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, etc., según la especie de nopal. Por lo general, las flores son grandes; el ovario es inferior, unilocular, con muchos óvulos y lóbulos del estigma (cinco a diez); el androceo posee gran cantidad de estambres. Son hermafroditas anatómicas; algunas, sin embargo, son unisexuales (*Opuntia robusta*). La floración tiene lugar en primavera, durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque hay entidades en las que se realiza en otras épocas del año (Monroy, 1989).

Fruto

El fruto del nopal (tuna) es carnoso, de forma ovoide a esféricas; sus dimensiones y coloraciones pueden variar según la especie, encontrándose frutos de 4 a 12 cm. o más de longitud, de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso, etc. Semillas lenticulares, con **testa** clara y arillo ancho (Monroy, 1989). Las características morfológicas de las opuntias pueden variar tanto como lugares en donde se distribuyen. Espinoza *et al.*

(1990) mencionan que debido a su gran polimorfismo la investigación de las opuntias se hace difícil, sin embargo, esto vuelve a reforzar el gran poder de adaptación que tienen las plantas para colonizar diferentes ambientes.

Características fisiológicas

El éxito ecológico que tienen las opuntias se debe también a su fisiología. Uno de los procesos más importantes dentro de la fisiología de cualquier planta es la transpiración. La transpiración es un proceso determinante en las relaciones hídricas de las plantas porque la evaporación de agua produce el gradiente de energía que es el responsable del movimiento del agua a través de ellas. Sin embargo, el precio de este proceso está en la gran pérdida de agua que se lleva a cabo para que exista dicho movimiento, se estima que del 90 al 95 % del agua que la planta toma del suelo se pierde por transpiración (Kramer, 1989). El control en la pérdida de agua por transpiración es quizá la característica más importante en las opuntias para la economía del agua. Las opuntias presentan un mecanismo que les permite mantener sus estomas cerrados durante el día y abiertos durante la noche, reduciendo al máximo la pérdida de agua en el día cuando las temperaturas son altas, la humedad ambiental es baja y la **demanda evaporativa** es alta. Las opuntias al abrir por la noche sus estomas, permiten la toma de CO₂ sin mayor problema, cuando las temperaturas son más bajas, la humedad relativa es mayor y por lo tanto la demanda evaporativa es menor. A este tipo de metabolismo se le llama metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) y es entonces determinante en la conservación del agua en la planta (Nobel, 1999; Pimienta, 1990; Nobel, 1998).

Otro aspecto importante en la fisiología de las opuntias son los potenciales hídricos que mantienen. El potencial hídrico define la energía que necesita la planta para conservar y proveerse de agua. Su valor generalmente está dado en Mega pascales (MPa) y siempre es negativo debido a que el agua que se mueve por las plantas no está libre de **solutos** y su movimiento obedece a un gradiente negativo. El potencial hídrico de las opuntias (-0.3

a -0.6 MPa) es significativamente mayor a la de cualquier planta con la que pueda co-habitar aún de especies tolerantes a la sequía -1.0 a -3.0 MPa (Turner y Jones, 1980). Lo anterior significa que mientras más negativo es el valor de potencial hídrico de la planta, es mayor la energía requerida para tomar el agua del suelo, por lo que las opuntias cuentan con una gran ventaja al presentar potenciales hídricos más positivos, es decir un menor gasto de energía para adquirir y conservar el agua dentro de ellas.

El Nopal y los factores bióticos y abióticos característicos que le rodean

En el inicio del presente capítulo se mencionó que los factores bióticos y abióticos constituyen el hábitat y la ecología de una especie. En esta sección se exponen algunos de los factores que caracterizan las zonas donde habitan las opuntias, haciendo énfasis en los que con mayor probabilidad se distribuyen. Se trata la vegetación como factor biótico, el suelo en su parte mineral y el clima como factores abióticos.

El nopal y la vegetación que le rodea

Al igual que las cactáceas (Rzedowski, 1978) las opuntias encuentran su **nicho ecológico** preferido en el tipo de vegetación denominado *matorral xerófilo*. El matorral xerófilo se localiza en las zonas áridas y semiáridas del país; ocupan la mitad del territorio nacional, son importantes porque son el centro de origen y evolución de muchos grupos de plantas (Cervantes *et al.*, 2000; Rzedowski, 1978). La composición florística del matorral xerófilo entre las zonas áridas y semiáridas en México es muy similar, lo caracterizan una gran cantidad de endemismos lo que a su vez lo hace diferente de la vegetación propia de otros lugares con aridez en el mundo (Granados y Castañeda, 1997). Dentro del matorral xerófilo se encuentran diferentes composiciones florísticas, las cactáceas se encuentran principalmente en el matorral crasicale. Esta composición florística agrupa a todas aquellas comunidades arbustivas de clima árido y semiárido donde predominan las plantas de tallo suculento o carnoso,

como las cactáceas. Con frecuencia este tipo de matorral relativamente denso y rico en diversidad de especies comparte el espacio con huisache, mezquite y gobernadora. La mayor parte de esta comunidad vegetal tiene su origen en la región neotropical, por tanto su distribución inicia en la Provincia Xerófila Mexicana, se prolonga por Jalisco, Aguascalientes y Zacatecas donde predominan cholla, viejito, nopal cardón y nopal duraznillo, entre otras especies de carácter endémico. Tales nopaleras se desarrollan en lugares con régimen pluviométrico anual entre 300 y 500 mm. De modo que las cactáceas columnares o de mayor tamaño no penetran hacia el norte de México a causa de la mayor aridez, sin embargo especies como cholla, viejito y candelilla que son de menor estratificación se pueden observar de Durango a Chihuahua (Rzedowski, 1978).

En el matorral crasicaule se encuentran especies de opuntias como la *Opuntia azurea*, *Opuntia decumbens* entre individuos de *Stenocereus weberi*, *Opuntia leucotricha* junto con *Opuntia myrtillocactus*, *Echinocereus*, *Echinocactus*, *Mammillaria*, etc. asociadas con *Prosopis*, *Acacia*, *Yucca* y *Mimosa*, *Opuntia grahami*, *Opuntia huajuapensis*, *Opuntia imbricata* en matorral crasicaule, con dominancia de *Fouqueria*, *Yucca* y *Prosopis*. *Opuntia jaliscana* en vegetación xerófila con presencia de *Dasylium*, *Agave* y *Bursera*. *Opuntia phaeacantha* var. *Chihuahuensis* con *Yucca*, *Fouqueria* y *Prosopis*. *Opuntia pilifera*. *Opuntia robusta* con presencia de *Yucca decipiens*, *Acacia* y *Quercus grisea*.

Las opuntias se encuentran también asociadas a tipo de vegetación como el matorral espinoso entre las nopaleras silvestres se encuentra la *Opuntia lindheimeri*, *Opuntia phaeacantha* var. *Chihuahuensis*, *Opuntia pilifera* con *Ipomea* y *Opuntia*, *Opuntia polyacantha*, *Opuntia spinosior*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck var. *Hernández* (Bravo, 1978).

En el matorral de *Acacias* y *Larrea* se encuentra la *Opuntia joconostle* con *Acacia schaffneri* y *Opuntia leptocaulis*. En el matorral desértico micrófilo se encuentra a *Opuntia rufida*. En matorrales costeros *Opuntia stricta* var.

Dillenii (Bravo, 1978; Bravo y Sánchez-Mejorada, 1991). Es muy común ver a las Opuntias silvestres en las zonas áridas o semiáridas del mundo y aunque menos común, se pueden observar Opuntias en las zonas de transición. Estas zonas se caracterizan por tener especies vegetales que parecería pertenecer a dos o más tipos de vegetación. Por ejemplo, las partes bajas de las sierras, donde se encuentran co-habitando especies cactáceas con árboles típicos y característicos de bosque húmedos como encinos, pinos, etc. Como se mencionó anteriormente los tipos de vegetación con los que puede llegar a encontrarse las opuntias silvestres son muy diversas y abarca especies que son características de bosques, selvas y desiertos.

Climas en los que se pueden encontrar a las opuntias

El clima es el resultado de la interacción de diversos elementos y factores atmosféricos, como la lluvia, el viento, la vegetación, las nubes, la altitud, los cuerpos de agua y el relieve. Los climas definen el tipo de flora y fauna que predomina en una región. Los matorrales xerófilos ocupan gran parte de estas regiones sus temperaturas medias oscilan entre los 12 y 26°C, se pueden encontrar en latitudes que van de los 0 a los 2500 msnm, su precipitación media anual oscila entre los 100 y 600 mm. Sin embargo, la amplia distribución de las opuntias permite encontrarlas en los siguientes climas también:

Régimen cálido

Con temperaturas medias anuales mayores a los 25°C. Estas temperaturas se registran en las zonas costeras localizadas a no más de 1000 de altitud (SEP, 1999; Flores y Martínez, 2000; Aguayo, 2000). En este tipo de régimen se encuentran opuntias como la *Opuntia pilifera*, *Opuntia stricta* var. *Dilleni*, *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck var., Hernández.

Régimen semicálido

Con temperaturas medias anuales entre los 18 y 25 °C. Este tipo de comportamiento térmico se presenta a lo largo del año en todas las zonas del territorio nacional que tienen de 1,000 a 1,800 m de altitud (SEP, 1999;

Flores y Martínez, 2000; Aguayo, 2000). En este régimen se pueden encontrar por ejemplo, la *Opuntia decumbens*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia jaliscana*, *Opuntia phaeacantha* var. *Chihuahuensis*, *Opuntia pilifera*, *Opuntia rufida* (Monroy, 1989; Bravo, 1978; Pimienta, 1999).

Régimen templado

Con temperaturas medias anuales entre los 12 y 18 °C. Estas temperaturas se presentan hacia el norte y centro del país y, en general, en terrenos con una altitud de 1,900 a 2,900 m (SEP, 1999; Flores y Martínez, 2000; Aguayo, 2000). Ejemplos de la presencia de opuntias a estas alturas lo son la *Opuntia Polyacantha*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia jaliscana* *Opuntia lasiacantha*, *Opuntia robusta* (Bravo, 1978; Granados y Castañeda, 1997).

Régimen semifrío

Con temperaturas medias anuales entre los 5 y 12 °C. Este régimen es propio de las áreas localizadas por arriba de 2,900 y hasta 4,000 m de altitud sobre el nivel del mar; (SEP, 1999; Flores y Martínez, 2000; Aguayo, 2000).

Régimen frío o polar de montaña

Con temperaturas medias anuales menores a los 5 °C. Las temperaturas más bajas que tienen lugar en el país son características de las zonas montañosas que superan los 4,000 m de altitud (SEP, 1999; Flores y Martínez, 2000; Aguayo, 2000). Como lo es al caso de opuntias del Perú reportadas a 4700 msnm (Nobel, 1999).

Existen especies de opuntias que por su alto poder de adaptación se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm, es decir, su presencia está tanto en regímenes cálidos, como semicálidos y templados. Tal es el caso de *Opuntia ficus-indica*. Esta misma especie se ha reportado en Bolivia a 3000 msnm donde el régimen sería similar a un régimen semifrío de nuestro país (Barbera, 1999).

Suelos y opuntias

Diversos autores coinciden en que las condiciones óptimas de un suelo para el desarrollo del nopal es que sea de origen calcáreo, que tenga una textura franca, franco arcillosa arenosa, franca arenoso y arena franca, que el suelo sea poco profundo de 10 a 15 cm, con pH de 6.5 a 8.5, es decir, con tendencia alcalina (Granados y Castañeda, 1999; Bravo, 1978; Monroy, 1989). Los mejores suelos para las plantaciones de nopal son los de origen ígneo o calcáreo con textura arenosa, profundidad media y con un pH neutro o de preferencia alcalino. Bravo (1978) menciona que las Opuntias se desarrollan muy bien en suelos pedregosos como *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia jaliscana*, *Opuntia phaeacantha* var. *Chihuahuensis*, *Opuntia tomentosa* var. *Hernández*. En estos tipos de suelo se representa la mayor parte en número y extensión, de los grandes cultivos nopalersos en el país, tal es el caso de la zona de Milpa alta en la Ciudad de México.

El conocimiento de la ecología y su importancia para el cultivo del nopal

A través del conocimiento de la ecología del nopal se ha logrado el mejoramiento de su cultivo. Por ser una planta de amplia distribución fue fácil observar las características en las cuales podía cultivarse. Las conclusiones generales a las que se han llegado a través del tiempo han permitido deducir que es una planta poco exigente para su manejo, se adapta muy bien a suelos pobres, posee bajos requerimientos de agua y soporta temperaturas extremas. Debido a la importancia económica del cultivo existe un sin número de investigaciones que ofrecen información diversa del cultivo del nopal. Dicha información abarca estudios acerca de la ecología general del nopal que incluyen su desarrollo en diversos hábitats y sus interacciones con el medio que les rodea (Pimienta, 1990; Nobel, 1999). Dentro de estos trabajos el estudio de las especies silvestres es importante debido a que representan un material genético con características que pueden ser aprovechadas para mejorar aquellas especies de nopal que son cultivadas o potencialmente cultivables, además de permitir ser la ruta por medio de la cual es posible conocer

más acerca de su proceso de domesticación y centro de origen (Kiesling, 1998). Por otro lado, existen estudios que se han concentrado en modificar algunas características en las que se desarrolla el cultivo de manera natural con el fin de crear mejores condiciones para su desarrollo, el cultivo en micro túneles (Murillo-Amador, 1996; Mejía, 1988). El objetivo principal de dichos estudios se dirige al incremento de la producción de las especies con miras comerciales (Flores-Valdez, 1994). La demanda del mercado mundial del cultivo ha ido en aumento y dependiendo de las exigencias del mismo, los científicos han orientado sus investigaciones hacia la obtención de un producto capaz de cubrir dichas demandas. Los más característicos son aquellos que delimitan los requerimientos de los cultivos como fertilización, suelo y riego (Aguilar, 1998; Orona *et al.*, 2000; Zúñiga *et al.*, 2002). Existe un sin número de literatura acerca del cultivo del nopal, la información para la generación de dicha literatura tuvo y tiene sus base en el conocimiento básico del estudio de las especies del nopal y este empieza por conocer la ecología “su casa” del mismo.

Bibliografía

- Aguayo Q. S. 2000. El almanaque Mexicano. Ed. Proceso/Grijalbo, México, 435 p.
- Aguilar B. G. 1998. Variaciones morfológicas del nopal (*Opuntia ficus-indica* Miller) cultivado en material inerte (agrolita) con suministro de soluciones nutritivas. BIOTAM 9(2).
- Barbera G. 1999. Historia e importancia económica. *In*: Agroecología, cultivo y usos del nopal. (Eds.) Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta B. FAO, 222 p.
- Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta B. 1999. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección vegetal 132, Roma Italia, 222 p.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. UNAM, México, D.F. Volumen I, 743 pp.
- Bravo, H. H. 1978. Las cactáceas de México. UNAM. México, D.F. Volumen III, 643 pp.
- Bravo, H. H. y H. Sánchez-Mejorada R. 1991. Las cactáceas de México. UNAM. México, D. F., Volumen II, 404 pp.

- Cervantes M R., M. C. Juárez G., A. Sánchez C. 2000. Vegetación de las zonas áridas del Centro Norte de México, estados de Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Chihuahua. In: VIII Coloquio de Geografía de Campo, UNAM, México 20 p.
- Cervantes M. J. F., J. A. Gutiérrez H., M. León G. y Y. Medellín C. 2002. Trabajo de comparativo de la producción y factores limitantes del nopal, del municipio de Tlalnepantla en el Estado de Morelos con la producción de Milpa Alta en el D.F. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Espinoza J. A., J. Galo M. T. y J. L. Elizondo E. 1990. El problema de la variabilidad morfológica en el nopal: un enfoque metodológico. In: El nopal su conocimiento y aprovechamiento. Memorias de la 3ª. Reunión Nacional y 1ª. Reunión Internacional, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Saltillo, Coahuila, México. 359 p.
- Flores P. M. A. y M. Martínez S. 2000. Geografía de México. Oxford University Press, México.
- Flores-Valdez, C. A. 1994. Producción, industrialización y comercialización del nopal como verdura en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de Agroindustrias y de Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México 5-6 pp.
- Kiesling, R. 1998. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. Journal Professional Assoc. Cactus Development 3:50-59. 1998.
- Kramer P. J. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Ed. Harla, México 538 p.
- Mejía L. F. 1988. Experiencias obtenidas sobre el cultivo del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) bajo el sistema de microtúnel para producción en invierno. In: Programas y Resúmenes. 3ª Reunión Nacional y 1ª Reunión Internacional sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. (Eds.) López G. J. J. y Ayala O. M. J. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coah. México, 63-174 pp.
- Monroy R. Betancur H. y Oliver R. 1989. "Estudio comparativo de las características edáficas del cultivo del Nopal *Opuntia* sp. de tres edades diferentes". In: Resúmenes. XXI Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo
- Murillo-Amador B. 1996. Parámetros fisiotécnicos de eficiencia y productividad de nopal verdura (*Opuntia* spp) bajo condiciones de producción intensiva. Tesis de Maestría. Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, México 113 p.

- Nobel P. S. 1999. Biología ambiental. *In: Agroecología, cultivo y usos del nopal.* (Eds.) Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta B. FAO, 29-35 p.
- Nobel P., 1998. Los incomparables agaves y cactus. Trillas, México, 211 p.
- Odum, E. P. 1987. Ecología. Serie de Biología Moderna. CECSA, México 295 p.
- Orona C., M. Rivera G., A. Flores H., J. G. Martínez R. 2000. Producción de nopal hortícola bajo riego por goteo en la Comarca Lagunera. X Congreso Nacional de Irrigación, ANEIS, A.C. Chihuahua, 46-53 p.
- Proyecto de Conservación y Manejo Sustentables de Recursos Forestales en México (PROCYMAF). 2002. Especies forestales no maderables y maderables no tradicionales de zonas áridas y semiáridas en los Estados de Durango, Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. UAM-Iztapalapa, SEMARNAP y Banco Mundial.
- Pimienta, B. E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Pimienta, B. E. 1993. El nopal tunero (*Opuntia* spp). Una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. Ciencia 44:345-356 pp.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 1999. Atlas de México. México.
- Sudzuki F. H. 1999. Anatomía y morfología. *In: Agroecología, cultivo y usos del nopal.* (Eds.) Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta B. FAO, 222 p.
- Therón A. y Vallin J. 1987. Ecología de las ciencias naturales. Editorial Hora S.A., España, 133 pp.
- Turner N. C. y M. M. Jones. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. *In: Adaptation of plants to water and high temperature stress.* Turner N.C. y Kramer P.J. Australia.
- Zúñiga R. T., J. A. Cueto W., E. Olivares S. y E. Salazar S. 2002. Crecimiento radical del nopal con diferentes dosis de nitrógeno en hidroponía. Terra 21:41-45 p.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 49-68.

Capítulo 4

ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DE LOS NOPALES SILVESTRES DE BAJA CALIFORNIA SUR

Reymundo Domínguez-Cadena

Resumen

En las zonas áridas, las difíciles condiciones ambientales afectan seriamente el establecimiento de las semillas germinadas. La familia Cactacea es un grupo de los más vulnerables a estas condiciones, en algunas regiones, las poblaciones son declinadas drásticamente. México posee una gran diversidad de cactáceas, cuenta con 61 de los 125 géneros en el mundo, por su abundancia, algunos pueden ser localizados en áreas nativas, como los nopales (*Opuntia* spp) se dispersan en el altiplano mexicano, las formas globulares representadas por *Ferocactus* y *Mammillarias* son más abundantes en el norte, las formas epifitas son abundantes en las zonas húmedas del sur y suroeste. Los tipos columnares, incluidos *Neobuxbaumia* de la zona desértica de Puebla, *Pachycereus* y *Stenocereus* a lo largo de la costa del Océano Pacífico hasta la Península de Baja California, *Carnegiea* en el norte de Sonora. En México, el cultivo de los Nopales está basado en dos o tres variedades provenientes de las especies *Opuntia ficus-indica* y *Nopalea auberii*. Estas variedades producen diversos productos para consumo humano y alimento de animales domésticos, pero no son explotados a niveles industriales. En la Península de Baja California, el cultivo del nopal es muy limitado, y la producción no alcanza rangos significantes. Sin embargo, la información taxonómica de las especies de nopal silvestre está bien

documentada, de 9 especies 5, *Opuntia basilaris*, *O. megacarpa*, *O. littoralis*, *O. chlorotica*, y *O. megacantha* están distribuidas desde el norte del Desierto de Vizcaíno hasta el Desierto de Mohave, sur de California y el Desierto de Sonora y Arizona. *Opuntia bravoana*, *O. taponia*, *O. pycnacantha* and *O. lagunae* están distribuidas desde el sur del Desierto de Vizcaíno hasta la región del Cabo, abarcando algunas Islas del Golfo de California. De los nopales encontrados en Baja California Sur, existe poca información ecológica y biológica, por lo tanto no es posible conocer adecuadamente el uso, manejo o conservación de las especies en riesgo.

Palabras clave: *Opuntia*, *Nopalea*, zonas áridas, cactáceas, nopales, distribución, taxonomía.

Abstract

In most arid zones, harsh conditions seriously affect establishment of seedlings. The cactus family is one of the groups most affected by harsh arid conditions. In some very dry regions, populations have declined drastically. México has a diverse range of cacti, with 61 of 125 genera in the world, and some genera have expanded beyond their native areas. Nopales (*Opuntia spp*) dispersed into the Mexican high plains. Globular cactus (*Ferocactus* and *Mammillarias*) are most abundant in the far north. Epiphytic cacti are abundant in humid zones in the southeast. Large columnar types include *Neobuxbaumia* in the desert zone of the state of Puebla, *Pachycereus* and *Stenocereus* along the Pacific coast of the Baja California Peninsula, and *Carnegeia* north of Sonora. In México, cactus cultivation is based on three "nopales," such as *Opuntia ficus-indica*, *Nopalea auberii*, and *N. cochinifolia*. These varieties are producing diverse products for human consumption and livestock, but not for industrial use. In the Baja California Peninsula, nopal cultivation is very limited, and production does not reach significant rank. However, the taxonomic information of wild species is very well documented, with nine species present. *Opuntia basilaris*, *O. megacarpa*, *O. littoralis*, *O. chlorotica*, and *O. megacantha* are distributed from the northern Vizcaino Desert to Mohave Desert of southern California and the Sonora Desert of Arizona and

Sonora. *Opuntia bravoana*, *O. tapon*, *O. pycnantha* and *O. lagunae* are distributed from the southern Vizcaíno Desert to the tip of the Peninsula, and are also present on some islands in the Gulf of California. Of wild nopales found in Baja California Sur, there are scanty biological and ecological investigations, so that it is not possible to know the best uses, management, or conservation of species at risk.

Key words: *Opuntia*, *Nopalea*, *arid zones*, *Cactaceae*, *nopales*, *distribution*, *taxonomy*.

Introducción

El principal propósito reproductivo de las plantas de cualquier comunidad vegetal es generar un flujo continuo de individuos a través del tiempo. Se dice que los patrones de reclutamiento y mortalidad son los responsables de mantener esa continuidad en cada especie. En las zonas áridas, por lo general todas las especies vegetales experimentan serias limitaciones para el establecimiento de nuevos individuos y entre los grupos de especies más afectados se encuentran las cactáceas. En muchos casos se han observado disminuciones considerables en el crecimiento de las poblaciones, ello eventualmente las conduce a la extinción local (McAuliffe, 1991); condición que ha permitido a muchas especies de este grupo evolucionar desarrollando individuos que alcanzan una longevidad que comprende desde algunas décadas hasta varios cientos de años (Goldber y Turner, 1986; Vasek, 1980). En las cactáceas, generalmente los fenómenos de reclutamiento y mortalidad han sido escasamente documentados, por lo que en la actualidad resulta de gran importancia realizar más investigaciones que conduzcan a conocer los aspectos biológicos, que eventualmente nos darían como resultado proponer, si así lo ameritan, distintos aprovechamientos agronómicos o de conservación.

En América Latina, México es el país con mayor diversidad de cactáceas. Byrd-Graf (1982) reporta que de los 125 géneros que comprende esta familia a nivel mundial, 61 se encuentran en este país. Este mismo autor esquematiza las cactáceas; por su origen, abundancia y hábito de

crecimiento en cuatro grandes regiones de distribución de la siguiente manera: a) los nopales, representados por diversas especies del género *Opuntia*, se encuentran dispersos principalmente desde el norte de la República hasta el centro del altiplano mexicano, b) los cactus globulares, incluyendo las especies del género *Mammillaria* que son más abundantes en la región desértica del norte, abarcando desde San Luis Potosí hasta Chihuahua, c) las cactáceas epifitas, las cuales son más comunes y abundantes en las zonas húmedas y boscosas del sureste del país, desde Veracruz hasta Chiapas y Tabasco y d) los tipos columnares de mayor talla, incluyendo a *Neobuxbaumia* en la zona desértica de Puebla, sur de Oaxaca, *Pachycereus* desde las costas tropicales del Pacífico Mexicano hasta la Península de Baja California y el Oeste de Sonora, *Stenocereus* y *Carnegeia*, en el norte de Sonora. En la misma obra de este autor, puede denotarse que, en este país, las especies de esta familia, al igual que las los individuos de las gramíneas y leguminosas, tienen un amplio rango de dispersión, abarcando diversos hábitat, desde zonas tropicales húmedas hasta zonas muy áridas, por lo que su valor ecológico en el medio es sumamente importante.

En las cactáceas, el grupo que más ha llamado la atención para estudios biológicos ha sido el de las columnares. Moran (1968) reporta que el cactus gigante, llamado comúnmente saguaro (*Carnegiea gigantea*) se distribuye en gran parte del Desierto Sonorense y biológicamente es una especie muy importante para el equilibrio ecológico del medio, ya que a cambio de perpetuar su especie, contribuye en la cadena trófica al proveer abundante alimento y refugio para una gran diversidad faunística. Es tal la importancia de los cactus columnares que con sus propias características y condiciones, el cardón (*Pachycereus pringlei*) representa para la Península de Baja California lo mismo que el saguaro en Sonora. En este mismo sentido biológico, las distintas especies de nopal (*Opuntia* spp) lo son para el altiplano mexicano. De acuerdo con Granados y Castañeda (1991), poblaciones densas llamadas "nopaleras" se extienden desde Aguascalientes y Jalisco hasta Durango, Coahuila y Chihuahua, llegando al norte de Nuevo León y Tamaulipas.

Mayer *et al.* (1981) citan que desde tiempos remotos, en diversos países de América Latina, el nopal ha sido una fuente importante de alimento y su consumo en las diversas zonas áridas ha desempeñado un papel muy importante para el desarrollo y sobrevivencia de muchas comunidades rurales. Entre los países de América Latina, México tiene un lugar preponderante, pues alrededor del 70 % del territorio tiene posibilidades de desarrollar actividades agrícolas y ganaderas, en algunos casos, con recursos muy limitados debido a la escasez de agua (CONAZA, 1992). De acuerdo a esta última fuente, los periodos de sequía en las zonas áridas de México se prolongan hasta más de 10 años continuos, durante los cuales se presentan fuertes cambios climáticos contrastantes, como la incidencia de severas heladas o altas temperaturas que anualmente se registran en el norte y centro del país, en cambio, la incidencia de la precipitación pluvial está regida por cortos periodos (de 1 a 3 meses) de lluvias esporádicas, en estos lugares ocurren a veces leves lloviznas en las temporadas invernales o torrenciales aguaceros en el verano, como las ocasionadas por los huracanes en las regiones áridas en las costas del Océano Pacífico en el noroeste mexicano.

Estas intermitencias medioambientales son soportadas con mucho éxito por las distintas especies de nopal, pues morfológicamente son plantas que han evolucionado adaptándose al medio árido (Nobel, 1982, citado por Granados y Castañeda, 1991), permitiéndoles prevalecer y tener la capacidad de reproducirse en estos ambientes áridos. El nopal es una de las plantas que tiene mayor resistencia a la sequía, sus tejidos están compuestos de mecanismos especializados y adaptados para captar, retener y evitar la pérdida de agua. Fisiológicamente cuenta con sistema fotosintético llamado CAM (Metabolismo del ácido crasuláceo), que le permite realizar sus funciones metabólicas sin la incidencia directa de luz solar, mecanismo adaptado y modificado para evitar la excesiva pérdida de agua.

En México, en diferentes regiones se han venido desarrollando trabajos de investigación para el aprovechamiento del nopal por algunas décadas. Las especies que se han empleado para el fitomejoramiento han sido

básicamente *Opuntia ficus-indica* y algunas del género *Nopalea*, principalmente *N. auberii*. Las variedades mejoradas que se han desarrollado, se han cultivado masivamente y se han obtenido de ellas una diversa gama de productos, tanto agroindustriales como para consumo directo. El aprovechamiento de esta planta se presenta en diferentes niveles, por ejemplo, para consumo humano se comercializan presentaciones con usos alimenticios como verduras (en fresco y enlatados), con fines medicinales, cosmetológicos y otros de aprovechamientos agropecuarios, como el de abonos orgánicos y forraje para alimentar principalmente al ganado bovino. En el continente americano, después de México los países que más explotan este recurso son Guatemala, Estados Unidos y Argentina. Muchos productos derivados del nopal están siendo explotados en algunos países de Europa, como España, Italia, también en países del continente Africano como, Norte de África, Túnez, Argelia, en algunas regiones del Medio Oriente como Madagascar y la India (Mayer y McLaughlin, 1981).

Aspectos biogeográficos de los nopales silvestres de Baja California Sur

Wiggins (1980) y Roberts (1989) mencionan que en la Península de Baja California se encuentran bien documentadas 10 especies de nopal, aunque entre ellas se encuentra *Opuntia ficus-indica*, que es una especie que en antaño fue introducida y que ha permanecido en áreas silvestres disturbadas o en rancherías abandonadas. Las otras nueve especies son consideradas nativas, cinco de ellas: *Opuntia basilaris*, *O. megacarpa*, *O. littoralis*, *O. chlorotica* y *O. megacantha*, se distribuyen más ampliamente desde los márgenes al norte del Desierto de Vizcaíno en Baja California Norte hasta el sur de California, Desierto de Mohave, Arizona y Sonora. De las otras cuatro especies: *Opuntia bravoana*, *O. taponia*, *O. pycnantha* y *O. lagunae*; algunos autores como Bravo-Hollis (1978) y Anderson (2001) mencionan que se distribuyen desde los márgenes al sur del Desierto de Vizcaíno, hasta la llamada Región del Cabo en el extremo meridional de la Península de Baja California y en algunas Islas del Golfo de California. *O. lagunae* y *O. pycnantha* tienen distribución muy

limitada, por ejemplo: *O. lagunae* se localiza en altitudes mayores a 1500 msnm en la parte alta de la Sierra de La Laguna y *O. pycnacantha* solo en altitudes cercanas al nivel del mar en las Islas Magdalena y Margarita. Por otro lado, *O. bravoana*, se dispersa más ampliamente en altitudes que van desde los 200 a los 1000 msnm en la laderas de las sierras de La Laguna, de la Giganta y de Guadalupe, en algunas Islas del Golfo de California, (registradas en la Isla Cerralvo y de San Pedro Nolasco, cerca de Guaymas, Sonora). Finalmente, *O. tapona* se distribuye desde el nivel del mar y zonas bajas hasta en laderas a más de 1000 msnm en la sierra de La Giganta, costas e Islas del sur del Golfo de California hasta la Región del Cabo. En la figura 1 se indica la distribución geográfica de cada una de las especies señaladas. Dado lo anterior y como primer acercamiento para el estudio de los nopales silvestres de Baja California Sur, este trabajo pretende aclarar las incógnitas prevaecientes sobre los aspectos biológicos y ecológicos de las diferentes especies encontradas en la entidad, pues a falta de información bibliográfica, se argumenta el desconocimiento, tanto de los aspectos bióticos como de los abióticos que influyen en su desarrollo. Es necesario conocer la morfología y la estructura poblacional, siendo fundamental para entender la biología floral, los agentes polinizadores, la producción de recursos alimenticios y la dispersión de semillas, esperando dar realce a la importancia ecológica de estas especies en el ecosistema desértico.

Descripción, fenología y sinonimia de los nopales silvestres endémicos de Baja California Sur

Bravo-Hollis (1978), realizaron una breve descripción, indicándose el primer orden, el género, la especie, la identificación del autor (generalmente primer apellido) y el año de su descripción taxonómica, también se mencionan (sí existen) los diferentes sinónimos, anotándose en formato itálico y en primer posición la nomenclatura vigente. Adicional, bajo la referencia de Wiggins (1980) también se incluye en arreglo una breve sinopsis de los principales caracteres de identificación de cada una de las especies de nopales nativos que se distribuyen en Baja California Sur.

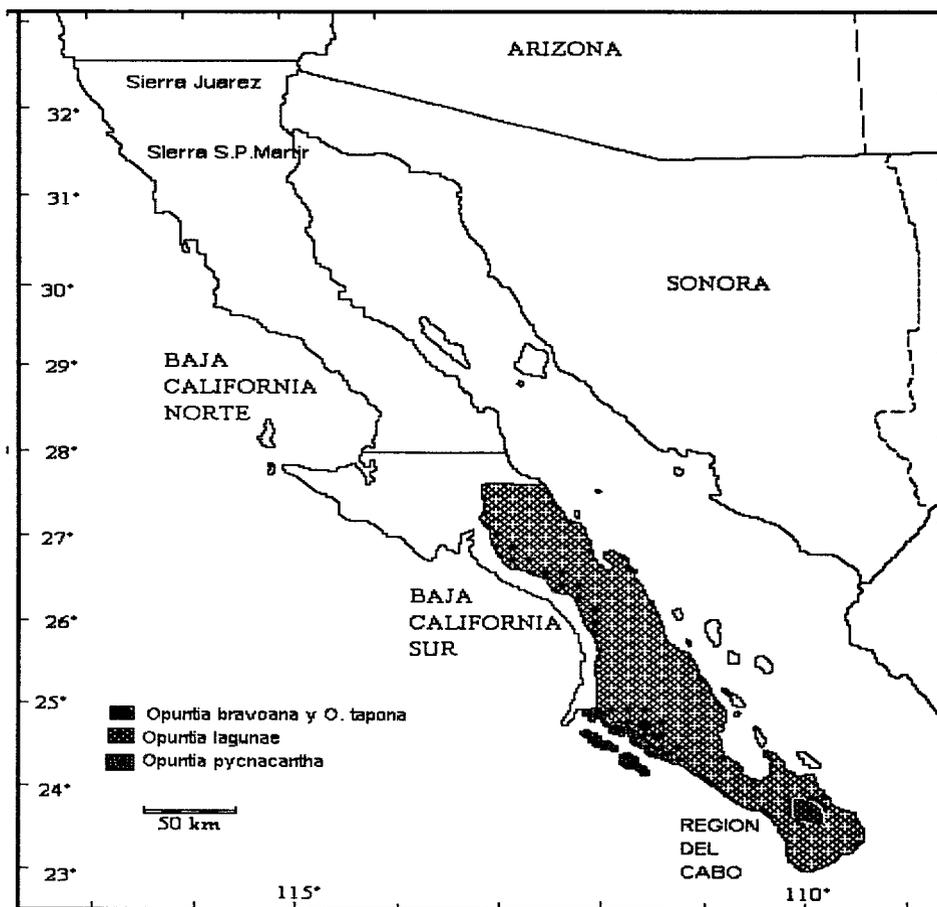


Figura 1. Distribución geográfica de los nopales silvestres de Baja California Sur (de acuerdo con Bravo-Hollis, 1978; Wiggins, 1980).

Identificación taxonómica y claves de las especies

Plantas formando cadenas postradas, más común de 2 a 3 artículos (menos de 5) si las ramas son ascendentes, menos de 1 m de alto. Espinas 7 a 12 por areola cubriendo todo el artículo, finamente pulverulento *Opuntia pycnantha*

Plantas erectas o ascendentes, ramificadas, usualmente más de 1 m de alto, las ramas no forman cadenas postradas. Artículos con manchas púrpuras abajo de las areolas, a veces todo el artículo púrpura, glabros o algo papilosos, areolas en su mayoría carentes de espinas, sí están presentes son aplanadas*Opuntia bravoana*

Artículos **obovados** a casi redondos, hasta de 15 cm de diámetro, espinas generalmente 5, rígidas hasta de 5 cm de largo, blanco-amarillentas. Espinas numerosas horizontales a deflexas.....*Opuntia lagunae*
 Espinas en su mayoría deflexas.....*Opuntia tapona*

Descripción de las especies

Opuntia bravoana Baxter, 1933

Esta especie tiene preferentemente un crecimiento erecto, con tronco bien definido, las plantas se encuentran en terrenos montañosos desde 200 a más de 1000 msnm. Bravo-Hollis (1978) menciona que es más abundante en la Región del Cabo, aunque Wiggins (1980) la reporta en las estribaciones de la Sierra de La Giganta, Sierra de Guadalupe y en las Islas Cerralvo y San Pedro Nolasco, cerca de Guaymas, Sonora. Identificar en campo esta especie es sencillo, ya que presenta artículos ovoides (mencionados comúnmente como pencas) típicamente en el tono del verde más oscuro y crecen en más bien definida forma arbustiva de 1 a 2 m de altura y hasta 2 m de diámetro (ancho), los frutos son pequeños y numerosos, de color rojo, las espinas generalmente son de 2 cm de largo, en algunas ocasiones en individuos juveniles llegan a medir hasta 6 cm. Las flores son amarillas con tinte rojo, cerca de 8 cm de diámetro, los filamentos o **estambres** son amarillo-rojizos en la base, el estilo es corto y blanco, los lóbulos del estigma son amarillo-verdoso a pálidos de 5 a 8 cm de largo.

Opuntia pycnacantha Engelm. In Coulter, 1896

Opuntia pycnacantha var. *margaritae* Coulter, 1896

Opuntia margaritana (Coulter) Baxter, 1931

En Baja California Sur, estas plantas tienen distribución mucho más limitada, se localizan en las partes bajas cercanas a la costa en las Islas Magdalena y Margarita y en las llanuras de Magdalena, cercanas a la costa frente a estas Islas. Son plantas rastreras que crecen en suelos arenosos y salinos, su crecimiento es de baja altura, tiene la particularidad de formar raíces en cada artículo que se encuentre en contacto con el suelo y de esta manera, crear nuevos individuos que en ocasiones forman densas colonias. Los artículos o pencas tienen forma orbicular desde 8 a 15 cm de ancho y a veces de 18 cm de largo, son finamente pulverulentos, que casi se cubren con las espinas que tiene de 7 a 12 por areola, son de 0.5 a 3 cm de largo, tiene color café a rojizo-pálido, son deflexas (dobladitas hacia abajo), las espinas centrales son ligeramente aplanadas y menos deflexas que las espinas radiales. Las flores son de color amarillo con tinte rojizo (en algunas ocasiones, en campo se observan flores rojas en plantas con espinas rojizas), el tamaño varía de 4 a 6 cm de diámetro, los segmentos interiores del perianto son obovados o acuminados de 2 a 2.5 cm de largo, amarillentos. El fruto llega a tener hasta 4 cm de largo, es muy espinoso de color verdoso, las semillas son grandes.

Opuntia lagunae Baxter, 1932

También esta especie se distribuye restringidamente solo en las partes altas (en ocasiones se pueden encontrar individuos a 700 msnm, pero es más común entre los 1000 a 2000 msnm), únicamente en la sierra de La Laguna, localizada en la región del Cabo. Estas plantas forman densas colonias hasta de 5 m de ancho con individuos no mayores a 1.5 m de altura. Sus artículos pueden tener diversas formas: obovados a **orbiculares**, incluso algunos casi redondos. El tamaño puede llegar hasta 15 cm, tanto de ancho como de largo, pueden ser de color verde claro, con espinas aciculares, rígidas hasta de 5 cm de largo, las cuales son a menudo de color blanco-amarillento y siendo generalmente cinco, encontrándose extendidas horizontalmente o deflexas, las flores son de color amarillo brillante, hasta de 7 cm de diámetro. El fruto es obovado, hasta 7 cm de largo, de color rojo púrpura.

Opuntia taponia Engelman in Coulter 1896

Opuntia angustata Engelman var. *Comonduensis* Coulter 1896

Opuntia comonduensis (Coulter) Britton & Rose 1908

Son plantas arbustivas de hasta 1 m de altura, poseen tronco grueso y corto hasta de 20 cm de altura, mayoritariamente cubierto por espinas de 3 a 5 cm de largo, dobladas hacia atrás. Las ramas están integradas por grupos de dos y hasta cinco artículos, son extendidas y en algunas ocasiones descendentes. Los artículos o pencas son de forma orbicular hasta obovados, de seis a 18 cm de largo por 10 a 30 cm de largo, son de color grisáceo pálido, de glauco a finamente tomentosos. Las areolas están distantes entre sí de 1.5 a 3 cm, tienen ensanchamiento oval a orbicular de 2 a 3.5 cm de largo. Las flores se desarrollan casi siempre en el ápice del artículo. Los frutos miden de 3 a 5 cm de largo y de 2 a 4 de diámetro y son carnosos de color rojo, con semillas generalmente casi redondas, amarillentas y lisas hasta de 4 mm de diámetro.

Especies introducidas

Es importante considerar que en las dos últimas décadas se han introducido a Baja California Sur, al menos cuatro especies de nopal, una de ellas es la variedad *Chapingo*, que ha sido originada a partir de *Opuntia ficus-indica* y mejorada para proveer forraje de buena calidad, es cultivada intensivamente en las regiones agrícolas de esta entidad. Las otras especies no nativas son *Opuntia tuna* y *Opuntia undulata*, las cuales solo se encuentran en jardines y avenidas de las zonas urbanas. *Nopalea auberii*, recientemente recategorizada como *Opuntia auberii* (Anderson, 2001) es cultivada intensivamente en huertos de traspatio, para su venta comercial local como verdura, todas estas especies aún no se han encontrado colonizando hábitat silvestres, la excepción es *Opuntia ficus-indica*, que como se mencionó, se le ha encontrado en áreas disturbadas.

Cabe señalar que en algunas localidades de las serranías de Baja California Sur, se encuentran dispersas por lo menos dos categorías taxonómicas intraespecíficas (variedades, subespecies o formas híbridas)

de nopales aún no determinadas. Estas categorías señaladas pueden diferenciarse por presentar caracteres morfológicos distintos a los descritos en las especies documentadas, se ha observado en algunos casos la notoria ausencia de espinas o el desarrollo de artículos distintos a las especies ya mencionadas, quizá en esta variación, también tengan influencia las condiciones topográficas donde se encuentren.

Aspectos biológicos de los nopales nativos de Baja California Sur

En general, de todas las etapas del ciclo de vida en las cactáceas, el establecimiento de nuevos individuos es la fase más crítica, frecuentemente ocurre bajo condiciones climáticas impredecibles, teniendo como factor común baja incidencia de lluvia, alta irradiación solar y fuerte depredación (Harper, 1977; Noy-Mier, 1973; Valiente-Banuet, 1991). Por esta razón muchas especies de cactáceas han desarrollado estrategias de supervivencia, una de ellas es la longevidad de sus individuos, entre ellos están muchas especies de cactus gigantes, que en algunos casos se han documentado hasta 300 años de vida. Otras especies, incluyendo todas las chollas y nopales, han desarrollado como alternativa evolutiva la formación de nuevos individuos a partir de la clonación de tallos (es decir la formación de raíces en pencas o artículos que toquen suelo), condición que también permite rescatar individuos cuando accidentalmente son desprendidos de la planta madre.

Para sustentar los conceptos anteriores, el principal aspecto ecológico a estudiar es la biología floral y se ha encontrado que ninguna de las especies de nopal silvestre de Baja California Sur ha sido aun estudiada. La información encontrada proviene solo de observaciones de campo y de los especímenes de herbario. De las cactáceas estudiadas en Baja California Sur, las especies que más han llamado el interés, han sido las columnares gigantes, concretamente *Pachycereus pringlei*, donde Fleming *et al* (1996) le han relacionado en influencia evolutivamente con el pequeño murciélago lengüilargo (*Leptonycteris curasoae*). León de la Luz

y Domínguez-Cadena (1998) analizaron la fenología reproductiva de la pitahaya agria (*Stenocereus gummosus*) con implicaciones para su cultivo.

El objetivo central del estudio de la biología floral es determinar los factores que intervienen en las etapas más importantes y críticas para la perpetuación de las especies. Estas etapas son la fecundación con la polinización como estadio asociado y la fructificación con los agentes dispersores de las semillas. Para determinar estos aspectos en los nopales, es necesario primeramente conocer las estructuras morfológicas de los órganos florales que intervienen en las distintas etapas reproductivas de estas plantas. Bravo-Hollis (1978) menciona que en los nopales, las flores tienen mucha semejanza, principalmente en la dominancia de los colores amarillos. Las estructuras reproductivas están compuestas por dos tipos de órganos, los que constituyen el hipanto (compuesto por sépalos, pétalos y estambres) que dan forma a un tubo floral (no evidente en los nopales) y los que constituyen los órganos florales, conformados por el androceo (parte masculina, es decir los estambres) y el gineceo (es el pistilo, parte femenina).

Como en la mayoría de las cactáceas, el desarrollo de la flor tiene origen en una yema que se encuentra protegida por escamas en forma espiral, a diferencia de las columnares que las desarrollan en costillas, en los nopales, éstas comúnmente se desarrollan en la parte superior del borde del artículo (penca), en muy raras ocasiones se observan en la parte lateral de los mismos. Como se observó en las claves de identificación, por su semejanza, en los órganos florales, éstos no son incluidos como característica distintiva para identificación de especies.

La flor en desarrollo tiene entre sus componentes el androceo; este órgano está formado por un grupo de numerosos estambres, que son los responsables de producir el polen y que a su vez se conforman por la **antera** -saco donde se produce el polen-, el tubo conectivo y el filamento. Otro componente de la flor es el gineceo (que esta compuesto por tres órganos que son el **ovario**, el **estilo** y el **estigma**), el estigma es la parte donde se recibe el polen, mientras que el estilo es el tubo conductor del

polen hacia el ovario, ahí el polen se deposita directamente en los óvulos y cuando esto ocurre, es el momento de la fecundación. En los nopales, como en la mayoría de las cactáceas, el ovario consta de una cavidad -llamada también placenta- la cual, a partir de los **funículos**, forma cuerpos carnosos al desarrollarse hasta la maduración, estos cuerpos son llamados pulpa, a su vez, la pulpa está cubierta por una capa de consistencia carnosa, misma que en el exterior se encuentra cubierta por una densa formación de pequeñas espinas. En los nopales, el **perianto** es un conjunto de hojas modificadas que cubren y protegen a los estambres y al pistilo, sustituyendo lo que en otro grupo de plantas sería el cáliz y la corola, también llamados tépalos, éstos se encuentran ordenados en forma de espiral y generalmente son de color amarillo (Bravo-Hollis, 1978).

Agentes polinizadores

Al igual que para la mayoría de las cactáceas de zonas áridas, para las especies de nopal de Baja California Sur se argumenta, por observaciones personales del autor, que la floración es nocturna, es decir la **antesis** (momento en que la flor se abre), ocurre al anochecer y permanece abierta hasta la tarde del siguiente día, se supone que la polinización se realiza pocas horas después de ocurrir la antesis. Poco se sabe de la duración del periodo de floración, como también se desconoce la fauna polinizadora, pero de acuerdo a observaciones de campo, es posible dilucidar que la labor mecánica de la polinización en estas especies, se realiza por insectos, en su mayoría mariposas nocturnas y en el día las avispas y abejas. Por el hábito de crecimiento de los nopales entre los arbustos, se descarta por completo la incidencia del murciélago en la polinización, inclusive de algunas aves como la paloma de ala blanca (*Zenaida asiata*) y del carpintero (*Melanerpes uropigialis*) (Medel-Narváez, 2003). Bajo aspectos funcionales, sin considerar la sexualidad de los individuos (machos, hembras, hermafroditas y estériles), es posible establecer que en ausencia de polinizadores bióticos (murciélagos, aves e insectos), los nopales pueden llevar a cabo eficientemente la polinización también por el viento, fenómeno llamado "**anemófilo**", aunque la auto polinización es otro

paso evolutivo que permite a muchas especies desarrollar semillas fértiles, fenómeno bien documentado en el cardón gigante (Fleming *et al.*, 1996).

Estructura poblacional y sistemas de reproducción

Se conoce a la estructura poblacional como una rama de la demografía, en la que, en un momento dado describe el estado en que se encuentra una población y define la posible tendencia en que se encuentran todos los individuos. Como otros aspectos ecológicos, el estatus de la población de los nopales silvestres de Baja California Sur tampoco es conocida, únicamente se sabe que son cactáceas de crecimiento rastrero a arborescente, se ha mencionado en su taxonomía que tienen la peculiaridad de persistir por varias décadas, que sus ramas están conformadas desde 1 a no más de 5 artículos, en algunas ocasiones forman pequeñas colonias, pero en su mayoría se encuentran individuos aislados sin llegar a constituir densas colonias que compitan por espacio con las demás especies de la comunidad, solo es un componente disperso de la vegetación árida, como lo menciona Rzedowski (1978).

Shreve y Wiggins (1964) indican que los nopales ocupan un rango amplio de distribución en el Desierto Sonorense; de las cactáceas, son una de las especies más representativas en el estrato arbustivo. Los nopales no son plantas de tallos leñosos, ello representa una limitación para emplear los métodos tradicionales para evaluar la estructura de sus individuos como población. Parker (1989) menciona que la edad en algunas cactáceas puede determinarse por otros procedimientos, hasta el momento el más empleado ha sido la caracterización de clases de tamaño. Con este procedimiento se logra mostrar los individuos dominantes y a través de ello cuantificar la proporción de los jóvenes y de edad reproductiva, valor empleado para determinar el grado de producción de frutos, pues algunos autores como Schmidt y Buchmann (1986) mencionan que el número de brazos y la altura de la planta se correlacionan con el número de flores por planta.

Con respecto a los nopales descritos para Baja California Sur, a pesar de ser especies notablemente bien localizadas en el territorio peninsular, hasta el momento no se conocen sus patrones biológicos ni ecológicos, a través de estos estudios se puede entender y analizar entre otros aspectos, los implicados en la formación y desarrollo de flores y frutos, el proceso de polinización y dispersión de la especie, las relaciones ínter específicas con otras especies de su mismo género. Teóricamente, los nopales como muchas otras especies se reproducen por medio de semillas, requiriendo para ello condiciones ecológicas y ambientales muy específicas. El propósito de cada semilla es establecer un nuevo individuo, este proceso requiere de la formación de frutos con semillas viables, por lo que uno de los factores importantes en su caso lo es la polinización, la que a su vez implica un sistema complejo en donde los componentes bióticos interaccionan para lograr la fertilización. En los nopales se desconoce la causa que incide sobre la tasa baja de sobrevivencia que afecta el reclutamiento de nuevos individuos, quizá algún componente biótico dispersor de semillas de esta región este ausente, o en su caso sean depredadas por completo, poniendo en riesgo el equilibrio ecológico del medio.

En la mayoría de las cactáceas de zonas áridas, la ausencia de algún componente (biótico y/o abiótico) las ha obligado a evolucionar hacia otra vía de establecimiento de sus nuevos individuos (Granados y Castañeda, 1991). Los nopales, se han adaptado muy eficientemente perpetuando su especie en otra vía, que no implica frágiles procesos reproductivos, como la regeneración de nuevos individuos a través de la clonación o separación de ramas o pencas (técnicamente nombrados cladodios o artículos), de esta vía tampoco se tiene documentada ninguna información para las especies silvestres de Baja California Sur.

Polinización y sexualidad de los nopales

Las investigaciones realizadas a la fecha sobre aspectos de la biología floral que han incluido la polinización y sexualidad de cactáceas del Desierto Sonorense, se han reportado únicamente en cactáceas

columnares como el saguaro y más recientemente del cardón gigante (Fleming *et al.*, 1996) y del tetetzo (*Neobuxbaumia mezcalensis* y *N. macrocephala*) (Valiente-Banuet *et al.*, 1997). Aún sigue en espera de abordarse este tipo de estudios en los nopales silvestres de Baja California Sur, sin embargo, es importante mencionar que la polinización es el proceso que permite la depositación de los granos de polen de las anteras hasta el estigma del pistilo. En la naturaleza, este proceso se observa como una labor singularmente mecánica, de allí, puede postularse que no todo tenga éxito, pues no todos los visitantes, dado el caso, tendrán certeza para realizarla. En relación con la sexualidad de los nopales, también es un tema desconocido, pero por la estructura floral, es posible argumentar que no difiere mucho de las especies columnares, en este caso, por el comportamiento observado en la estructura de la población, se lograrían encontrar una expresión sexual trioica (esta expresión agrupa: machos, hembras y hermafroditas), lo que faltaría por determinar, sería la abundancia de individuos con flores que presenten esterilidad femenina (gamo dioicos), individuos con esterilidad masculina (gino dioicos) y los que tengan ambos sexos funcionales (hermafroditas).

Conclusiones

Se considera que las especies de nopales silvestres encontrados en Baja California Sur, son especies de vital importancia en los eslabones de las cadenas tróficas del medio donde se encuentren, pues forman parte del sustento de mucha fauna. Razón suficiente para mencionar la falta de estudios biológicos y ecológicos que aborden estas especies, esta falta de información genera un desconocimiento real acerca de los usos potenciales y las prácticas para su óptimo manejo y conservación a que puedan estar sujetas cada especie.

En los estudios futuros a realizarse, es indispensable definir los aspectos de la biología floral de cada especie, dando pauta para: a) establecer la incidencia de visitantes florales diurnos y nocturnos, b) determinar el papel que juega cada uno en la polinización, c) establecer fenológicamente la frecuencia de sexos, d) determinar el éxito en la fructificación, e) definir la

estructura de la población de cada especie, y f) evaluar el reclutamiento de nuevos individuos.

Dados los antecedentes, hipotéticamente la particular importancia sería esclarecer los factores bióticos y abióticos que inciden en la fenología floral y su influencia patrón poblacional.

Agradecimientos

El autor, agradece al Dr. José Luis León de la Luz, al M.C. José Juan Pérez Navarro y al Téc. Miguel Domínguez León, por su ayuda en la identificación de algunas características fenotípicas de los nopales silvestres, así como por la facilidad otorgada para consulta de material bibliográfico en el laboratorio de botánica.

Bibliografía

- Andersen, E.F. 2001. The Cactus family. Timber Press. Portland Oregon, USA. 776 p.
- Byrd-Graf, A. 1982. Exotica. Pictorial cyclopedia of exotic plants from tropical and near-tropic regions. Edit. Roehrs Company Publishers, New Jersey, USA. 2 vols.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. 2a Ed., Vol. 1. UNAM. México, D.F.
- CONAZA. 1992. Nopal Cultivo Alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Edit. Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de la Reforma Agraria. Saltillo, Coahuila, México.
- Fleming, T.H., M.D. Tuttle and M.A. Horner. 1996. Pollination biology and the relative importance of nocturnal and diurnal pollinators in three species of Sonoran Desert columnar cacti. The Southwestern Naturalist 41(3): 257-269.
- Fleming, T.H., S. Maurice, S.L. Buchmann and M.D. Tuttle. 1994. Reproductive biology and relative male and female fitness in a trioecious cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). American Journal of Botany 81(7):858-867.
- Goldber, D.E. and R.M. Turner. 1986. Vegetation change and plant demography in permanent plots in the Sonoran Desert. Ecology 67:695-712.

- Granados, S.D. y A.D. Castañeda. 1991. El Nopal: Historia, Fisiología e Importancia Frutícola. Edit. Trillas, México, D.F. 227 p.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. London.
- Medel-Narváez, A. 2003. Biología floral y estructura poblacional de cardón [*Pachycereus pringlei* (S. Wats.) Britton and Rose (cactaceae)] en El Comitán, Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. México. 89 p.
- León de la Luz, J.L. y R. Domínguez-Cadena. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitahaya agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. Acta Botánica Mexicana 14: 75-87.
- Mayer, B.B. and L.L. McLaughlin. 1981. Economic uses of *Opuntia*. Cact. Succ. J. 53:107.
- McAuliffe, J.R. 1991. Demographics shifts and plant succession along a late Holocene soil chronosequence in the Sonoran Desert of Baja California. Journal of Arid Environment 20: 165-178.
- Moran, R. 1968. Cardón. Pacific Discovery 21:2-9.
- Moreno, P.N. 1984. Glosario Botánico Ilustrado. Edit. CECSA. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Ver., México. 300 p.
- Noy-Mier, I. 1973. Desert Ecosystem: Environment and producers. Annual Review of Ecology and Systematic 5: 125-140.
- Roberts, C.N. 1989. Baja California Plant Field Guide. Natural History Publishing Company. La Jolla, California, USA. 309 pp.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Edit. LIMUSA, S.A. México. 432 p.
- Shreve, F., and I.L. Wiggins. 1964. Vegetation and Flora of the Sonoran Desert. 2 vol. Stanford University Press, Stanford, Calif. USA.
- Schmidt, O.J. and S.L. Buchmann. 1986. Floral biology of the saguaro (*Cereus giganteus*) I. Pollen harvest by *Aphis mellifera*. Oecologia 69: 491-498.
- Valiente-Banuet, A. 1991. Dinámica de establecimiento de cactáceas: Patrones generales y cronosecuencias de los procesos de facilitación por plantas nodriza en los desiertos. Tesis de Doctorado. UNAM, Mexico.

Vasek, F. 1980. Early successional stages in Mojave Desert shrub vegetation. *Israel Journal of Botany* 28: 133-148.

Wiggins, I.L. 1980. *The Flora of Baja California*. Stanford University Press. Stanford, Calif. USA.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.

B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.

Pp. 69-92.

Capítulo 5

BIOQUÍMICA DE NOPAL (*Opuntia* spp)

Arnoldo Flores-Hernández

Resumen

El nopal (*Opuntia* spp) en las zonas áridas procura aliviar el efecto del estrés alterando su propio metabolismo, generando mecanismos de respuesta que en este trabajo se enfoca a las características bioquímicas del aparato fotosintético y del sistema de síntesis de proteínas. Los resultados reportados en brote y raíz de cultivares de nopal con mayor y menor porcentaje de supervivencia en zonas áridas, sometidos a estrés por calor, muestran diferencias importantes en cultivar, tejido y edad del brote. Se identificó la estrecha relación entre la tolerancia al calor y el cultivar de mayor índice de supervivencia, y una tendencia definida en los factores bioquímicos estudiados: Esto es, que en condición de alta temperatura se espera que el cultivar tolerante se manifieste por la disminución del contenido de clorofila, aumento en la actividad de la PEP'Casa y en el contenido de prolina del brote de nopal y en explantes de raíz, por la disminución de la proteína soluble y ausencia de proteínas de bajo peso molecular (32 y 36 kDa), así como la presencia en cinco sistemas enzimáticos, de loci y alelos: MDH₃₋₁, MDH₄₋₁, MDH₅₋₁, PGM₁₋₁, GOT₁₋₁, ME₁₋₁, ME₁₋₂, ME₁₋₃, PGD₃₋₁ y PGD₃₋₃.

Palabras clave: *estrés, clorofila, PEP'Casa, prolina, proteína, isoenzima.*

Abstract

In arid lands, the prickly pear (*Opuntia spp*) alleviates stress effects by altering its metabolism, which generates response mechanisms that, in this work, focuses on biochemical characteristics of the photosynthetic apparatus and the protein synthesis system. The results are reported for buds and roots of prickly pear cultivars with greater and lesser percentages of survival in arid areas where subjected to heat stress. These cacti show important differences among cultivation practices, tissue, and age of the bud. A narrow relationship was identified for heat tolerance and cultivation practice of bigger index of survival, and a defined tendency in the studied biochemical factors. It is expected, in conditions of high temperature, that tolerant cultivars, there is a decrease in chlorophyll content, increase in PEP'Casa activity, and for the proline content of the prickly pear bud and root explants decrease in the soluble protein and absence of low molecular weight proteins (32 and 36 kDa), as well as the presence, in five enzymatic systems, of loci and alleles: MDH3-1, MDH4-1, MDH5-1, PGM1-1, GOT1-1, ME1-1, ME1-2, ME1-3, PGD3-1, and PGD3-3.

Key words *stress, chlorophyll, PEP'Casa, proline, protein, isoenzyme.*

Introducción

La bioquímica entendida como la ciencia que estudia la composición química del ser vivo en los distintos aspectos de su metabolismo, resulta en nopal una de las herramientas de gran utilidad en el estudio de sus procesos biológicos sobre todo en las condiciones de aridez en que normalmente habita. Particularmente toma importancia cuando se emplea para conocer el valor nutrimental de la planta y su efecto medicinal, pero resulta crucial en el estudio de sus procesos metabólicos complicados, considerando que el metabolismo fotosintético de tipo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) del nopal, está íntimamente relacionado con la expresión de los caracteres morfológicos y fisiológicos que le permite prosperar en las difíciles condiciones del semidesierto. En nopal se generan mecanismos de respuesta a las condiciones de estrés de su

hábitat, que se expresan en un conjunto de características bioquímicas, algunas de las cuales se han estudiado de manera aislada, pero que indudablemente están estrechamente relacionadas. Este entendimiento del efecto fisiológico, molecular y bioquímico del estrés resulta el primer paso hacia el desarrollo de estrategias para la obtención de plantas tolerantes. En este capítulo se indican algunas de las consideraciones generales sobre los componentes químicos del nopal ligados a la alimentación y a sus alternativas medicinales. Se detallan con mayor extensión y profundidad los componentes bioquímicos que se encuentran vinculados con la respuesta, detectada en el brote y la raíz (sitios de mayor actividad celular), al estrés por calor. En esto último se consideró como base los resultados obtenidos en el trabajo de tesis doctoral: Características bioquímicas relacionadas con el estrés por calor en nopal (Flores, 1997).

Características generales

Es común considerar que el nopal es igual bajo cualquier condición ambiental, la realidad es que presenta una notable variación en muchas de sus características básicas, debidas a su composición genética y/o a las condiciones de su hábitat. En lo referente a la composición química, el nopal presenta diferencias notables de acuerdo a la edad y estrato de la planta. Al respecto se tiene que es conveniente dividir para su estudio la planta de nopal en tres partes (estratos) aprovechables: 1) inferior, "tallo" o cladodio suberificado; pencas con mayor grosor con tendencia a cilíndricas, de color verde-café y agrietamiento de su superficie. 2) medio, "penca" o cladodio maduro; pencas ovales, verdes y cuyas pencas terminales dan origen a los frutos (tunas y nopalitos). 3) superior, "brote" o nopalito; pencas iniciales de color verde intenso y consistencia suave. En un análisis de la composición química realizado en 20 cultivares diferentes agrupados en cuatro especies de nopal, en condiciones de riego, se encontró una alta variación a nivel de estrato (Tabla 1), observándose una diferencia significativa a nivel de cultivar cuando se analizaron por estratos dichos cultivares (Flores, 1995). Por lo tanto, es importante considerar la

parte útil de la planta (estrato), para que sobre ello se haga el análisis y la selección correspondiente del cultivar.

Tabla 1. Análisis bromatológico (% por unidad de peso fresco) de los estratos: brote, penca y tallo de 20 cultivares de nopal. URUZA-UACH, Bermejillo, Durango, 1995.

Variable	min.			máx.			Media			DE		
	Brote	Penca	Tallo									
Ceniza	11.8	19.4	19.4	18.3	33.6	28.1	16.2	24.9	23.8	1.6	3.8	2.5
Proteína	6.0	3.1	2.0	13.5	6.3	7.1	10.7	4.6	3.6	1.7	0.9	1.3
Grasa	1.1	1.2	1.0	2.0	2.3	1.8	1.5	1.7	1.3	0.2	0.2	0.2
Fibra	6.3	7.8	10.0	10.8	12.7	16.0	8.0	9.7	12.3	1.1	1.3	1.4
ELN	57.6	46.1	51.2	68.0	67.4	64.5	63.3	58.9	58.8	2.6	5.0	3.6
Agua							92.5	85.9	80.3			

Valores min.= mínimo, máx.= máximo, DE= desviación estándar. ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

Además de los componentes químicos anteriores, existen elementos menores, minerales y vitaminas específicas que dan un valor adicional en la alimentación del hombre y ganado, tanto de tipo bovino como caprino y ovino, e incluso porcino. El nopal, presenta una extensa gama de aprovechamiento según se trate de raíz, "tallo" (penca), brote (nopalito), flor y fruto. Entre sus usos destaca el tipo alimenticio y medicinal. En estos aspectos existe gran controversia debido en parte a la amplia variación en la composición de las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del nopal dentro de la planta (estratos) y entre plantas (cultivares). Así, en la recomendación de determinado producto derivado del nopal es muy importante caracterizar dicho material (clasificación taxonómica e identificación del tipo de órgano utilizado, consistencia, edad, composición química, etc.), ya que las propiedades medicinales atribuidas a la planta de nopal, requieren de dicha información. No obstante, ha sido tradicional y empírico su uso en tratamientos como: obesidad, diabetes (hipoglucemia), colesterol alto (hiperlipidemia), arteriosclerosis, úlceras gástricas (gastritis), desintoxicación del colon e intestinos y mejoramiento de la digestión entre otros. Los diferentes componentes químicos que se han asociado al control y ayuda en los tratamientos anteriores son: contenido de fibras solubles e insolubles, mucílago (polisacárido), aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas y

otros compuestos complejos. En tratamientos naturistas (licuados, jugos, cápsulas, ungüentos, etc.), el nopal recobra en estos tiempos su presencia en el mercado.

Metabolismo de nopal bajo condición de estrés

Factores ligados al metabolismo fotosintético tipo CAM

El mecanismo fotosintético que exhibe la planta de nopal (*Opuntia* spp), es referido como metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM, por sus siglas en inglés). El metabolismo CAM se considera una importante adaptación bioquímica-fisiológica del metabolismo fotosintético del carbono en las plantas que se desarrollan bajo condiciones de estrés, particularmente en estrés hídrico. En ambientes áridos, cuando hay suficiente agua, las plantas CAM abren sus estomas y asimilan el CO₂ ambiental en la oscuridad y en la luz y crecen con requerimientos hídricos significativamente bajos en comparación con otras plantas en el mismo hábitat. Cuando no hay suficiente agua, la planta cierra sus estomas durante el día y el intercambio gaseoso diurno CO₂-H₂O con el ambiente cesa totalmente, lo que le permite a la planta un ahorro de agua. Sin embargo, continúa su crecimiento por la incorporación del CO₂ durante la noche (cuando abren sus estomas) y su conversión a carbohidratos en la fotosíntesis diurna (Bastide *et al.*, 1993; Osmond y Holtum, 1981). Además de su tolerancia a la sequía, las especies de *Opuntia* también toleran temperaturas extremas, en contraste con la mayoría de las especies vegetales: En relación con ello, la mayoría de las especies mantienen su temperatura cercana a la del ambiente, en tanto que en el género *Opuntia* la temperatura de sus órganos fotosintéticos llega a ser hasta 15 °C superior a la de su ambiente natural (Gates *et al.*, 1968), lo anterior indica que esta planta tolera el calor en lugar de evitarlo.

La fotosíntesis. Conocida como el proceso que realiza la conversión de energía electromagnética de cierta longitud de onda (luminosa) en energía química, es efectuada por las plantas y ciertas bacterias y resulta uno de los eventos más afectados por la variación de la temperatura y la concentración de gases del ambiente (Hall y Keys, 1983). La fotosíntesis puede dividirse en

dos fases: La primera, involucra la captura de energía electromagnética de cierta longitud de onda (por las clorofilas) y su traducción a energía química (ATP) y equivalentes reductores (NADPH) por la cadena transportadora de electrones. En la segunda, el ATP y NADPH son consumidos en la fijación de CO₂ y en su transformación a azúcares por el ciclo de asimilación del carbono (Hipkins y Baker, 1986). La reacción que conduce a la fijación de CO₂ en las plantas C4 y CAM, se realiza inicialmente en el citoplasma de las células del mesófilo de las hojas y tallo, por la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa (PEP'Casa) (Anderson y Beardall, 1991; Ting, 1985). En las dos fases del proceso fotosintético, descritas brevemente, existen componentes que pueden verse afectados por el estrés por calor y considerando que ambas fases funcionan coordinadamente es difícil discriminar los efectos primarios y secundarios del estrés. Por ello, es común que se manejen separadamente dichas fases y se cuantifique globalmente el efecto del estrés por calor sobre el contenido de clorofila, como representante de la fase fotoquímica (1ª fase) y sobre la actividad de la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa (PEP'Casa), actividad parcial de la 2ª fase bioquímica de fijación del carbono (Drilias *et al.*, 1994).

Contenido de clorofila. El contenido de clorofila está estrechamente relacionado con la eficiencia de la actividad fotosintética y es un factor fácilmente influenciado por las condiciones de luz, temperatura y edad del tejido entre otras (Gross, 1987; Lichtenthaler, 1987). De acuerdo con los resultados obtenidos en el brote de nopal, la temperatura de estrés tiene un importante efecto sobre el contenido de clorofila (Tabla 2), que además parece ser dependiente del tipo de cultivar (alta y baja producción de biomasa y sobrevivencia), y del tipo de tejido del brote (superficial "clorénquima" y medular "parénquima"). En dicha Tabla, es notoria la misma tendencia observada en el contenido de clorofila expresado tanto en peso fresco (g), como en peso seco (g) y por unidad de volumen (cm³) de tejido de brote de nopal, destacando la disminución del contenido de clorofila del brote de nopal conforme aumentó la temperatura. Esta tendencia también se observó en otras especies como *Solanum* (Reynolds *et al.*, 1990; Nagarajan y Bansal, 1990), *Triticum* (Vierling y Nguyen, 1992) y *Gossypium* (Gadallah, 1995).

Tabla 2. Comparación de medias (Tukey ≤ 0.05) del efecto de la temperatura sobre el contenido de clorofila (Chl en mg) por unidad de peso fresco, seco y volumen del tejido en brote de cultivares de nopal.

Variables	Chl/Peso fresco (mg/g)	Chl/Peso seco (mg/g)	Chl/Volumen (mg/cm ³)
Temperatura			
25 °C	0.046 ^A	0.77 ^A	0.061 ^A
37 °C	0.042 ^A	0.73 ^A	0.060 ^A
47 °C	0.031 ^B	0.53 ^B	0.046 ^B
Cultivar			
CV A	0.036 ^B	0.64 ^B	0.051 ^B
CV B	0.043 ^A	0.72 ^A	0.061 ^A
Clorofila			
Total (a + b)	0.059 ^A	1.02 ^A	0.084 ^A
Clorofila a	0.036 ^B	0.60 ^B	0.051 ^B
Clorofila b	0.023 ^C	0.41 ^C	0.032 ^C
Tejido			
Clorénquima	0.062 ^A	0.84 ^A	0.096 ^A
Parénquima	0.017 ^B	0.52 ^B	0.015 ^B

CV. A (alta producción de biomasa y sobrevivencia) y el CV. B (baja producción de biomasa y sobrevivencia). Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas al nivel $\alpha=0.05$

Las interacciones realizadas entre temperatura vs cultivar, vs clorofila, vs tejido (datos no mostrados), permiten plantear las siguientes observaciones generales:

1.- La diferencia detectada del contenido de clorofila entre cultivares tiene especial importancia, ya que la disminución drástica del contenido de clorofila en el cultivar de superior adaptación a las zonas áridas y tratado con una temperatura relativamente alta (37 °C), en comparación con el cultivar de inferior adaptación (que no manifestó esta tendencia ni a los 47 °C), puede utilizarse como un probable indicador para la selección. Este fenómeno de inhibición de biosíntesis o activación de la degradación de clorofila después del tratamiento por calor también se ha observado en tabaco (Valcke *et al.*, 1992).

2.- En la interacción temperatura vs contenido de clorofila a y b, se observó una tendencia similar al descenso en los dos tipos de clorofila a y b conforme

umenta la temperatura, dicha tendencia también se ha observado como consecuencia de otros tipos de estrés en diferentes especies. Entre ellos, el estrés hídrico en algodón (Gadallah, 1995) y el incremento de la acidez del suelo (pH 6.2 a 2.2) en sorgo (Gadallah, 1994). La disminución similar de los tipos de clorofila *a* y *b* por efecto de la temperatura alta, se comprobó por la relación *a/b*, la cual se mantuvo aproximadamente constante en 1.8 en el clorénquima del cultivar tolerante y 1.9 en el susceptible. Dicha relación en clorofila *a/b* en el tejido del parénquima fue menor (1.3) a la del clorénquima y se mantuvo aproximadamente constante en ambos cultivares. La relación clorofila *a/b* fue baja comparada con los valores promedio (3.0) de plantas de *Opuntia ficus indica* cultivadas en invernadero (Muyi *et al.*, 1993) y con datos de otras plantas de sol (3.2 a 3.4) y de sombra (2.5 a 2.9) reportados por otros autores (Lichtenthaler, 1987). Probablemente la condición de luz artificial (350 ft-ca) durante la aplicación del calor, o algún otro factor no controlado, pudo afectar particularmente la producción o desarrollo de clorofila *a*.

3.- La separación clara entre los tejidos de clorénquima y parénquima del brote de nopal por una frontera natural de haces vasculares (Figura 1), permitió establecer que en clorénquima (tejido más superficial), se registró una disminución drástica del contenido de las clorofilas *a*, *b* y total desde los 37 ° C en el Cultivar A (alta producción de biomasa y sobrevivencia), mientras que en el Cultivar B (baja producción de biomasa y sobrevivencia) la disminución se dio en forma gradual y no resultó estadísticamente significativa. En el parénquima, no se observó efecto de la variación de la temperatura sobre el contenido de las clorofilas, en ninguno de los dos cultivares.

Actividad de la enzima PEP'Casa

Los daños indirectos por calor cuando el tejido se expone durante varias horas o días a temperaturas moderadamente altas, son todos de tipo metabólico. El primer efecto producido por el calor es de tipo enzimático, relacionado con el cambio en las reacciones metabólicas (Levitt, 1980). Los resultados en la actividad de la enzima PEP'Casa en el brote de nopal (Tabla 3) mostraron que el cambio en la reacción de fijación de CO₂ por la enzima

PEP'Casa, se da hacia un aumento en la actividad de dicha enzima expresada en gramos de peso fresco y en miligramos de clorofila, conforme aumenta la temperatura, detectándose diferencias al nivel de cultivar y tejido.

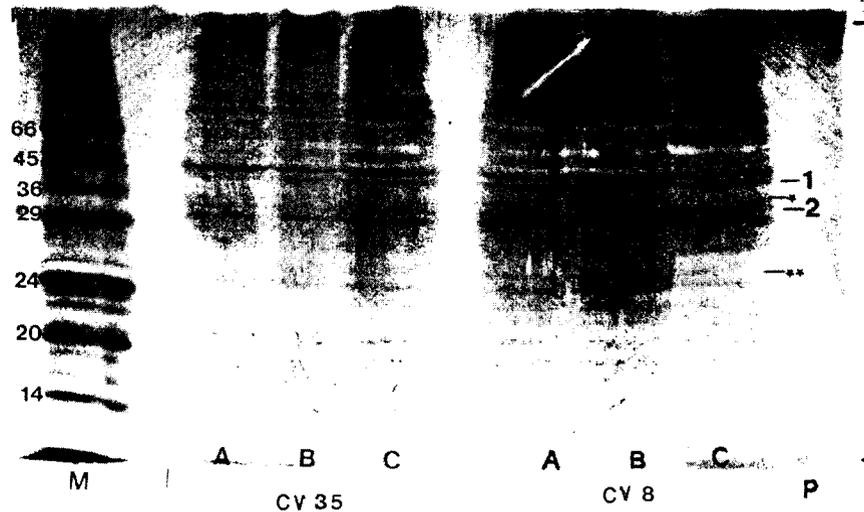


Figura 1. Vista del gel de poliacrilamida con proteínas de raíz de nopal mantenido a las temperaturas; A = 25°C, B = 37°C y C = 47°C. M = marcador de peso molecular. P= proteínas de nopal: 1 y 2, aparecen a 47 °C en el CV B (baja sobrevivencia clave 35)* y ** = desaparecen a 47°C en el CV A (alta sobrevivencia, clave 8).

Una sugerencia para el manejo de la información sobre la actividad de la PEP'Casa, se refiere al cuidado en la interpretación de las diferencias que pueden obtenerse, cuando los valores de la actividad de esta enzima se expresan en las unidades de peso fresco (g) y de clorofila (mg). Así por ejemplo, en el parénquima del CV A, el valor de la actividad de la PEP'Casa por gramo de peso fresco fue de $0.0087 \text{ mmol g}^{-1} \text{ min}^{-1}$, mientras que por unidad de clorofila fue de $0.291 \text{ mmol mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (1 g de peso fresco presenta sólo 0.0298 mg de clorofila). Por lo tanto, la actividad de la PEP'Casa puede modificarse si se altera la concentración de clorofila; aunque el valor de la actividad se mantenga constante si se expresa por unidad de peso fresco y

actividad se mantenga constante sí se expresa por unidad de peso fresco y este último se haya mantenido constante. Este efecto se notó particularmente en la variable tejido y se explica en párrafos siguientes.

Tabla 3. Actividad de la PEP'Casa (mmol min^{-1}) de nopal con base en el peso fresco y clorofila total (Chl total).

Variable	Peso fresco (g)	Chl total (mg)
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
25	0.0101 ^B	0.2238 ^B
37	0.0118 ^B	0.2517 ^B
47	0.0124 ^A	0.3917 ^A
Cultivar		
CV. A	0.0135 ^A	0.3273 ^A
CV. B	0.0094 ^B	0.2508 ^B
Tejido		
Clorénquima	0.0144 ^A	0.1838 ^B
Parénquima.	0.0085 ^B	0.3943 ^A

CV. A (alta producción de biomasa y sobrevivencia), CV. B (baja producción de biomasa y sobrevivencia). Letras diferentes dentro de columnas indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

En los resultados obtenidos (Tabla 3), se registró una variación importante al nivel de cultivar y en las interacciones registradas temperatura vs cultivar y vs. tejido (datos no mostrados), todo ello permite concluir lo siguiente:

1.-La mayor actividad enzimática registrada en el Cultivar A respecto al Cultivar B, probablemente presenta ventajas adaptativas importantes. Dicha respuesta ha sido plenamente identificada en otras especies vegetales, incluyendo algunas plantas con metabolismo C_3 (cacahuete) y C_4 (sorgo y amaranto) (Ghosh *et al.*, 1989; Gramatikopoulos y Manetas, 1990), distinguiéndose la mayor actividad en plantas C_4 ($29.0 \pm 13.2 \text{ mmol mg}^{-1} \text{ Chl min}^{-1}$), respecto a las plantas C_3 ($1.5 \pm 0.5 \text{ mmol mg}^{-1} \text{ Chl min}^{-1}$) (Ting y Osmond, 1973).

2.-Para la variable tejido se registró un aspecto aparentemente contradictorio, en el manejo de unidades, señalado previamente para la actividad de la PEP'Casa en unidades de peso fresco (g) y de clorofila (mg). La diferencia al nivel de tejido, aún cuando los valores resultaron

muy bajos, indica que mientras la actividad de la PEP´Casa por gramo de peso fresco del clorénquima es estadísticamente igual a la del parénquima (excepto a 47 °C), la misma actividad expresada por mg de clorofila del clorénquima es estadísticamente menor a la actividad en el parénquima. Ello se debe a que la actividad de la PEP´Casa en el clorénquima es dividida entre una cantidad mucho mayor de clorofila presente en este tejido. Además de lo anterior, en el contenido de clorofila se registró una disminución significativa como resultado del efecto de las temperaturas elevadas, de modo que la estimación real de la actividad enzimática también se alteró por dicho efecto colateral. Se tiene entonces, que mientras no se establezca la relación de la clorofila con la actividad de la PEP´Casa, se podrían inferir resultados marcadamente diferentes según se calculen con base en el peso fresco o la concentración de estos pigmentos en los tejidos. Por otra parte, si se considera que la localización de la enzima PEP´Casa en plantas CAM no está dentro de los cloroplastos, peroxisomas o mitocondrias (Spalding *et al.*, 1979) y que la reacción de fijación de CO₂ por la PEP´Casa se realiza en el citoplasma de las células del mesófilo (Ting, 1985), se deduce que es muy probable que la representación de la actividad de la PEP´Casa basada en el contenido de clorofila no sea la más adecuada en este tipo de plantas.

Factores ligados a la síntesis de proteínas

La respuesta de la planta a las condiciones de estrés biológico y ambiental que interfieren con su desarrollo normal, ha sido objeto de numerosos estudios. En la actualidad el énfasis es mayor hacia el análisis de su expresión génica. Una de las primeras reacciones del metabolismo de la planta ante diferentes condiciones de estrés; inundación, altas concentraciones de sales, exposición intensa a luz ultravioleta, estrés por calor, déficit hídrico, etc., es la síntesis de juegos de proteínas específicas, pero también es la interrupción de la síntesis de las proteínas que normalmente produce. Todo ello conduce a la formación de nuevas proteínas, degradación de otras, acumulación de productos químicos intermedios del metabolismo y presencia de productos químicos que

participan en procesos de regulación de la actividad celular y de la planta (Martín y Tuan-Hua, 1986).

Acumulación de prolina. Aparte de ser las unidades estructurales de las proteínas, los aminoácidos tienen una amplitud de funciones en la planta. La prolina, uno de los aminoácidos contenidos en las proteínas de todos los organismos y de los tejidos de las plantas, se acumula frecuentemente en respuesta a varios tipos de estrés ambiental, como sequía (Naidu *et al.*, 1992; Stewart y Lee., 1974; Shing *et al.*, 1972), salinidad (Treichel, 1975), bajas temperaturas (Benko, 1986; Chu *et al.*, 1974; Gates *et al.*, 1971), altas temperaturas (Oshanina, 1972), entre otros (Kathiresan, 1987). Comúnmente la evaluación de prolina ha sido bajo el enfoque de que el incremento de la concentración de prolina libre en el tejido es consecuencia del estrés hídrico. Lo anterior debido a que la incorporación de prolina en las proteínas es inhibida durante el estrés hídrico por influencia de la deshidratación del tejido (pérdida de agua), con la consiguiente acumulación de solutos (azúcares y prolina libre) relacionada con el ajuste osmótico. No obstante, las diversas interpretaciones al fenómeno de acumulación de prolina en las plantas, ha originado notables discrepancias en la descripción del papel funcional de dicho aminoácido en los tejidos vegetales (Naidu *et al.*, 1992; Hanson y Hitz, 1982; Kramer, 1983). No obstante, se ha puesto de manifiesto una importante utilidad en la presencia, acumulación y cuantificación de la prolina en los vegetales, ya que se ha utilizado como un indicador confiable de selección en plantas (Singh *et al.*, 1972; Van-Resburg y Kruger, 1994).

En nopal, estudios de la cuantificación de prolina realizados en el brote de la especie *Opuntia megacantha*, sometido a diferentes tratamientos por calor, indican que los factores; edad y temperatura, afectan la concentración de prolina libre en el tejido del brote o nopalito. La Tabla 4 muestra el promedio de cada variable y basándose en ello se concluye:

1.- La diferencia entre los tres tratamientos de temperatura (25, 37 y 47 °C), indica un incremento significativo en la concentración de prolina a medida que la temperatura se incrementó, lo que también coincide con el estudio realizado por Bawa y Sen (1993) donde se analizaron concentraciones de prolina en plantas del desierto de la India, en éstas se

dio un aumento en la cantidad del aminoácido a medida que las condiciones adversas se presentaron (sequía y frío). No obstante, se debe diferenciar si el aumento de solutos (ajuste osmótico) se debe a la disminución relativa de agua en el tejido o es por la formación de solutos internamente. En este trabajo, aún cuando no se determinó el contenido de agua de los brotes, no se consideró que pudiera verse disminuido por las diferentes temperaturas aplicadas, ya que la planta con brote estaba a capacidad de campo y el tiempo de aplicación de la temperatura fue muy corto (3 horas), por lo que es más probable que el aumento en la concentración de prolina se deba al incremento en la síntesis de este aminoácido como respuesta al estrés por calor.

Tabla 4. Promedio del contenido de prolina (mg g^{-1} peso seco) en variables analizadas.

Variable	Prolina (mg g^{-1} peso seco)
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
25	0.7996 ^A
37	0.9631 ^B
47	1.0037 ^C
Edad	
Edad 1	0.8147 ^A
Edad 2	1.0297 ^B
Cultivar	
Cultivar 8	0.9296 ^A
Cultivar 35	0.9147 ^A

Letras diferentes en subíndices indican diferencias significativas (Tukey al nivel $\alpha = 0.05$).

2.- La concentración de prolina en la edad 2 (tres meses) estadísticamente diferente a la edad 1 (un mes), puede indicar que los brotes más maduros tienen mayor desarrollo de sus estructuras funcionales y que probablemente le permita mayor capacidad en la respuesta al estrés por calor, con el incremento en la concentración de prolina.

3.- Respecto a su valor medio no se presentó diferencia estadística significativa en el contenido de prolina entre el Cultivar A y el Cultivar B (baja producción de biomasa y sobrevivencia). Sin embargo, una vez

analizada la respuesta de dichos cultivares respecto a las diferentes temperaturas aplicadas, en las dos edades de brote consideradas (datos no mostrados), se observó en el CV A una tendencia a aumentar la concentración de prolina hasta los 47 °C, a diferencia del CV B que tiene su máxima concentración a los 37 °C. Las diferencias en las concentraciones, como ya se mencionó son claramente visibles al analizar dicha cantidad en la edad de tres meses. Por lo tanto no se descarta la idea de que el contenido de prolina a temperatura de estrés (47 °C), resulte un indicativo en la selección de los cultivares para regiones con condiciones ambientales desfavorables.

Presencia de proteínas de estrés por calor. Cuando las células en cultivo o las de los organismos completos son expuestas a elevadas temperaturas, cambia su patrón de expresión génica. Usualmente la síntesis de algunas proteínas específicas, se incrementa drásticamente, mientras que la síntesis de la mayoría de los polipéptidos de la célula es severamente reducida (Watson *et al.*, 1987). Las proteínas inducidas por calor o de choque térmico (hsp, por sus siglas en inglés), fueron identificadas inicialmente en *Drosophila melanogaster* como respuesta al aumento brusco de la temperatura (Ashburner y Bonner, 1979) y ya se han detectado desde las células de las bacterias hasta en las de los humanos. En plantas se ha comprobado su síntesis en respuesta a otros factores de estrés como déficit hídrico, ácido abscísico, salinidad, dinitrofenol, arseniato y altas concentraciones de auxinas y etileno (Czarnecka *et al.*, 1984; Heikkilä *et al.*, 1984; Howarth, 1990; Lindquist, 1986).

En plantas superiores la mayoría de las hsp (proteína de choque de calor) pertenecen a los grupos de alto (70-110 kDa) y bajo (15-30 kDa) peso molecular. El grupo de alto peso molecular puede clasificarse dentro de varios subgrupos o familias como la hsp70, hsp60 y hsp90, que podrían estar destinados a proteger, preservar y recuperar la función de varios complejos proteicos (Vierling, 1991). También el otro grupo de hsp, de bajo peso molecular, puede participar en la protección celular mediante la degradación de proteínas: Esta actividad sirve para proteger a la célula, no por el mecanismo proteolítico -que es una actividad normal de la célula-,

sino porque probablemente evita la acumulación de productos tóxicos. Estas proteínas hsp, también conocidas como ubiquitinas, marcan a las proteínas para su degradación y el mecanismo de proteólisis depende de esta marca (Schlesinger, 1990). A pesar de la atención prestada a estas proteínas, solo en escasos estudios se ha podido establecer la relación de la presencia de una determinada proteína (hsp) con la tolerancia de la planta al estrés. Específicamente, en plántulas de maíz ha sido posible relacionar la presencia de una proteína (hsp) de 45 kDa con la tolerancia al estrés por calor y sequía (Ristic *et al.*, 1991).

Tabla 5. Contenido de proteína soluble (mg g^{-1} de tejido fresco) de la raíz de los cultivares 8 y 35 (tolerante y susceptible a la sequía, respectivamente) de nopal mantenidos durante 3 horas a diferentes temperaturas.

Cultivar	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
	25	37	47 $^{\circ}$
CV A	3.73 ± 0.163	3.62 ± 0.140	3.17 ± 0.154
CV B	2.26 ± 0.265	3.38 ± 0.109	2.85 ± 0.120

CV A (alta producción de biomasa y sobrevivencia), CV B (baja producción de biomasa y sobrevivencia).

En nopal, la determinación de las proteínas solubles que pueden ser afectadas por calor se efectuó en tejido de la radícula (pencas enraizadas "explantes" en agrolita húmeda), ya que en el tejido del cladodio, la gran cantidad de mucílago que contienen estos órganos aéreos de la planta impidió la extracción y separación correcta de las proteínas. En la Tabla 5 se presentan los resultados del contenido de proteína soluble total de raíz de nopal en diferentes tratamientos por calor. Se observa que en el Cultivar A (alta producción de biomasa y sobrevivencia) se registró disminución significativa cuando los explantes se mantuvieron a 47°C , mientras que en la raíz del el Cultivar B (baja producción de biomasa y sobrevivencia) no se tuvo una tendencia definida. La reducción (degradación aparente) del contenido de las proteínas solubles del CV A, conforme aumentó la temperatura, se relaciona con lo observado en la especie C_3 *Nerium oleander*, nativa de zonas áridas, en que se reportó una reducción de la concentración de proteínas solubles y un aumento de proteína insoluble,

proteínas dentro de la célula no es determinada sólo por su síntesis, sino también por su degradación (Vierstra, 1993).



Figura 2. Corte transversal del brote de nopal, región próxima a la cutícula. P= Parénquima, H.V.= Haces vasculares, C= Clorénquima.

La separación de las proteínas solubles por electroforesis en gel de poliacrilamida, permitió distinguir el efecto del calor en la raíz de nopal, mediante la detección de la presencia y ausencia de algunas proteínas (bandas) en los dos cultivares expuestos a tratamientos por calor (Figura 2). El cálculo del peso molecular de dichas proteínas se realizó a partir de la curva de calibración previamente elaborada con los marcadores moleculares o proteínas de peso molecular conocido.

Mediante la comparación de los carriles o regiones en las que las muestras de proteína de los dos cultivares se separaron en bandas individuales, se identificó en el CV B, la presencia de proteínas de 32 y 36 kDa a 47 °C, las

Mediante la comparación de los carriles o regiones en las que las muestras de proteína de los dos cultivares se separaron en bandas individuales, se identificó en el CV B, la presencia de proteínas de 32 y 36 kDa a 47 °C, las que no se registraron a 25 ° ni 37 °C. Estas proteínas que se identificaron únicamente en los extractos de las raíces de los cladodios mantenidos a 47°C, podrían asociarse con, o identificarse como proteínas de choque por calor. No obstante, dichas proteínas parecen estar presentes en el CV A desde los 25 °C. Esto indica que dichas proteínas podrían estar involucradas con la tolerancia al estrés por calor. Otro efecto probablemente relacionado con la tolerancia al calor, se refiere a la disminución de la concentración de las proteínas de 24 y 32.4 kDa a temperaturas elevadas (47 °C) en el CV A (alta producción de biomasa y sobrevivencia), dichas proteínas estuvieron presentes en el cultivar de baja producción de biomasa y sobrevivencia en los tres niveles de temperaturas.

Las proteínas de raíz de nopal se ubicaron en el grupo de las proteínas de bajo peso molecular, grupo que comprende a las proteínas asociadas con el choque por calor de la mayoría de los cultivos vegetales (Vierling, 1990). Las proteínas de choque por calor de bajo peso molecular constituyen el único grupo que se producen en las células de plantas superiores, codificado por familias multigénicas (Key *et al.*, 1981; Nover *et al.*, 1989). Específicamente, en nopal (*Opuntia ficus indica*), Somers *et al.* (1991) registró la síntesis de 31 familias de proteínas de choque térmico inducidas a 30°C y 19 familias a 45°C, con ambas temperaturas predominan las proteínas con pesos moleculares entre 71-75 kDa y 62 kDa. De todas ellas sólo una proteína, la de 37kDa coincide con la que se encontró en el presente estudio, también de 37 kDa inducida a 47°C. Por otro lado, Sommers *et al.* (1991), también detectaron la síntesis de dos proteínas a 30°C, una de 33 y 37 kDa; éstas podrían corresponder con las proteínas de 32 y 36 kDa observadas a 47°C. Dado que la electroforesis se hizo en condiciones desnaturalizantes, es posible que estas proteínas sean polipéptidos y además sean sub-unidades de una proteína nativa.

Relación de factores bioquímicos en condición de estrés por calor

En muchas plantas de importancia comercial y experimental se ha investigado la tolerancia a diferentes factores ambientales adversos (estrés). Por ejemplo, los cultivos unicelulares de *Nicotiana* tratados simultáneamente con alta temperatura (40° C) y concentración de NaCl (1-2%), acumulan transitoriamente prolina, además de que dicha acumulación se correlaciona positivamente con una mayor termo tolerancia (Shevyakova *et al.*, 1994). En cotiledones de rábano (*Raphanus sativus* L) sometido a condiciones salinas (NaCl), se mostró una acumulación significativa de prolina acompañada de una disminución del contenido de clorofilas (Le Dily *et al.*, 1993). En el cultivo de pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) la inclusión natural de prolina o solutos compatibles (polietilenglicol), a un medio de ensayo para detectar la actividad de la PEP'Casa con bajos niveles de sustrato (fosfoenolpiruvato), aumentó la actividad de la PEP'Casa arriba de 30°C, con un rango óptimo en la actividad de dicha enzima, entre 27-29°C y 37°-39°C (Drilias *et al.*, 1994). Como en los casos anteriores, existen muchos otros estudios donde se relaciona la expresión de dos o más características bioquímicas sobre la incidencia de uno o más factores de estrés.

En nopal, los trabajos realizados por el autor de este capítulo sobre el contenido de clorofila, actividad de la enzima PEP'Casa, contenido de prolina y proteína soluble, presencia de proteínas de estrés por calor y actividad isoenzimática (datos no mostrados), indican que el cálculo de las características bioquímicas en diferentes unidades (peso fresco, peso seco y proporción de clorofila) y con diferentes factores de variación: cultivar (superior e inferior en producción de biomasa y sobrevivencia), tipo de tejido (clorénquima y parénquima o raíz) y edad de los brotes (2 y 6 meses), permitió reconocer en un primer nivel de acercamiento, que la tolerancia al estrés por calor está relacionado con el cultivar de mayor porcentaje de sobrevivencia a factores de estrés en zonas áridas y que ambos factores están íntimamente relacionados con las características bioquímicas del aparato fotosintético y del sistema de síntesis de proteínas. Con base en la relación observada entre los factores analizados (Tabla 6) y a reserva de

estudios con mayor número de cultivares y condiciones de evaluación, se concluye que los componentes químicos analizados individuales o en combinación pueden utilizarse como índices de selección. Esto es que en condiciones de alta temperatura se espera que el cultivar tolerante se manifieste por la disminución del contenido de clorofila, aumento de la actividad de la PEP'Casa y del contenido de prolina del brote de nopal y en explantes de raíz, por la disminución de la proteína soluble y ausencia de proteínas de bajo peso molecular (32 y 36 kDa), así como la presencia, en cinco sistemas enzimáticos, de loci y alelos: MDH₃₋₁, MDH₄₋₁, MDH₅₋₁, PGM₁₋₁, GOT₁₋₁, ME₁₋₁, ME₁₋₂, ME₁₋₃, PGD₃₋₁ y PGD₃₋₃. Sin embargo, no se descarta el hecho de que ciertas modificaciones al metabolismo de tipo CAM: obligadas y facultativas, pudieran de alguna manera implicarse con la respuesta observada en algunas características bioquímicas estudiadas. Por lo que sería conveniente, en futuras investigaciones, realizar el estudio con plantas desarrolladas y mantenidas *in situ*, para evitar efectos debidos al cambio de ambiente (condición de zonas áridas-invernadero).

Tabla 6. Características bioquímicas de dos cultivares de nopal (*Opuntia megacantha*) en condiciones de alta temperatura (47°C).

Tejido	Carácter	Tendencia		Observación
		CV A	CV B	
Brote	Clorofila			Variación por calor sólo en clorénquima
	-Contenido	Disminuye	no cambia	
Brote	PEP'Casa			Evaluar con base en el peso fresco
	-Recuperación	rápida	lenta	
Brote	-Actividad	Aumenta	Disminuye	Variación por el efecto de edad
	-Recuperación	no varía	lenta	
Brote	Prolina			Variación por el efecto de edad
	-Contenido	aumenta	no cambia	
Raíz	Proteína			Variación por el efecto de edad
	-Contenido	Disminuye	no cambia	
	-Ausencia	24 y 32.4 *	-----	
Raíz	-Inducción	-----	32 y 36	MDH ₃ , MDH ₄ MDH ₅ , PGM ₁ , GOT ₁ , ME ₁ , PGD ₁
	Isoenzimas			
	-Loci polimórfico	-----		

PEP'Casa: actividad de la fosfoenol piruvato carboxilasa, *: Peso molecular en kDs.

Bibliografía

- Anderson, W.J. and J. Beardall. 1991. Molecular activities of plant cell. Blackwell Scientific Pub. 142-148 p.
- Ashburner, M. and J.J. Bonner. 1979. The induction of gene activity in *Drosophila* by heat shock. *Cell* 17:241-250.
- Bastide, B., D. Sipes, J. Hann and P.I. Ting. 1993. Effect of severe water stress on aspects of crassulacean acid metabolism in *Xerosicyos*. *Plant Physiol.* 139(6):719-726.
- Benko, A. 1986. The content of some aminoacids in young apple shots in relation to frost resistance. *Biología Pl.* 11:334-337.
- Björkman, O., R.M. Badger and A.P. Armond. 1980. Response and adaptation of photosynthesis to high temperature. In: *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Turner, C.N. and Kramer, J.P. (Eds). John Wiley & Sons 15:233-249.
- Czarnecka, E.E., L.S. Edelman, F. Schoffel and J.J. Key. 1984. Comparative analysis of physical stress. *Plant Mol. Biol.* 3:345-358.
- Chu, M.T., D. Aspinall and G.L. Paleg. 1974. Stress metabolism. VI.-Temperature stress and the accumulation of proline in barley and radish. *Aust. Journal Plant Physiol.* 1:87-97.
- Drilias, P., H. Gousias, N. Manetas and N.A. Gavalas. 1994. Temperature dependence of phosphoenolpyruvate carboxylase activity in the presence of cosolutes. *Photosynthetica.* 30(2):225-232.
- Flores, H.A. 1995. Variación en la composición química en estratos de la planta de 20 variedades de nopal (*Opuntia* spp). 6° Reunión Nacional y 4° Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Univ. Autónoma de Guadalajara, México.
- Flores, H.A. 1995. Características bioquímicas relacionadas con el estrés por calor en nopal (*Opuntia* spp). Tesis Doctoral. Instituto de Recursos Genéticos. Programa de Genética. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México, México.
- Gadallah, M.A. 1994. The combined effects of acidification stress and kinetic on chlorophyll content, dry matter accumulation and transpiration coefficient in *Sorghum bicolor* plants. *Biologia Plantarum* 36(1):149-153.
- Gadallah, M.A. 1995. Effect of water stress, abscisic acid and prolina on cotton plants. *Journal of Arid Environments* 30(3):457-462.

- Gadallah, M.A 1995. Effect of water stress, abscisic acid and proline on cotton plants. *Journal of Arid Environments* 30(3):457-462.
- Gates, C.T., W.T. Williams and R.D. Court. 1971. Effect of drought and chilling on maturation and chemical composition of townsville stylo. *Aust. J. Agric. Res.* 22:369-381.
- Gates, D.M., R. Aldefer and E. Taylor. 1968. Leaf temperature of desert plants. *Science* 159:994-995.
- Ghosh, S., S. Gepstein, B. Glick, J. Heikkilä y B. Dumbroff. 1989. Thermal regulation of phosphoenolpyruvate carboxylase in C3 y C4 plants native to hot and temperature climates. *Plant Physiol.* 90:1298-1304.
- Gramatikopoulos, G. and Y. Manetas. 1990. Diurnal changes in phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate orthophosphate dikinase properties in the natural environment; interplay of light and temperature in a C4 thermophile. *Physiol. Plantarum* 80(4):593-597.
- Gross, J. 1987. Pigments in a fruits. *Food Science Technology*. Academic Press. 4-7 p.
- Hall, N.P. and J.A. Keys. 1983. Temperature dependence of the enzymic carboxylation and oxygenation of RUBP'Case in relation to effect of temperature on photosynthesis. *Plant Physiol.* 72:945-948.
- Hanson, A.D. and W.D. Hitz. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficit. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33:163-203.
- Heikkilä, J.J., E.T. Papp, G.A. Schultz and J.B. Bewley. 1984 Induction of heat shock messenger-RNA in maize. *Plant Physiol.* 76:270-74.
- Hipkins, M.F. and N.R. Baker. 1986. Photosynthesis, energy transduction a practical approach. IRL Press. England. 1-27 p.
- Howarth, J.C. 1990. Heat shock proteins in sorghum and pearl millet; ethanol, sodium arsenite, sodium malonate and the development of thermotolerance. *J. of Exp. Bot.* 41, 228:877-883.
- Kathiresan, K. 1987. Role of proline in plants under stress conditions. *Indian Review of Life Sciences.* 7:203-220.
- Key, J.L., C.Y. Lin and Y.M. Chen. 1981. Heat shock proteins of higher plants. *Proceedings of the National Academy of Science. USA.* 78:3526-30.

- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. Academic Press. New York.
- Le Dily, F. J., P. Billard, J. Le Saos and C. Huault. 1993. Effects of NaCl and gabaculine on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons. *Plant Physiol. Biochem.* 31(3): 303-310.
- Levitt, J. 1980. Response of plant to environmental stress. Vol. 1, 2a Ed. *Physiological Ecology*. Academic Press. pp 389-392.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148:350-385.
- Lindquist, S. 1986. The heat shock response. *Ann. Rev. Biochem.* 55:1151-1191.
- Martín, M.S. and D. Ho. Tuan-Hua. 1986. Alteration of gene expression during environmental stress in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 37:363-76.
- Muyi, C., M.P. Miller and P.S. Nobel. 1993. CO₂ exchange and growth of the crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus indica* under elevated CO₂ in top chamber. *Plant Physiol.* 103:519-524.
- Nagarajan, J. and K.C. Bansal. 1990. Growth and distribution of dry matter in a heat and a susceptible potato cultivar under normal and high temperature. *J. of Agronomy and Crop Science.* 165(5): 306-311.
- Naidu, P.B., D. Aspinall and G.L. Paleg. 1992. Variability in proline accumulating ability of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars induced by vapor pressure deficit. *Plant Physiol.* 98:716-722.
- Nover, L., D. Neumann and K.D. Scharf. 1989. Heat shock and other stress response systems of plants. Springer Verlag. Berlin, Germany.
- Oshanina, N.P. 1972. Nitrogen exchange of plants in the south-western kyzilkum. *In: Ecophysiological foundation of ecosystems and productivity in arid zones. Inter. Symp. U.S.S.R.*
- Osmond, C.B. y M.A.J. Holtum. 1981. Crassulacean acid metabolism. *In: The biochemistry of the plants.* Hatch, M.D. y Boardman, N.K. (Eds.). Academic Press. Vol.8:284-297.
- Paleg, L.G. and D. Aspinall. 1981. Drought resistance in plants. Academic Press. pp 243-369.

- Reynolds, M.P., E.E. Ewing and T.G. Owens. 1990. Photosynthesis at high temperature in tuber-bearing *Solanum* species. A comparison between accessions of contrasting heat tolerance. *Plant Physiol.* 93(2):791-797.
- Ristic, Z., J.D. Gifford and D.D. Cass. 1991. Heat shock proteins in two lines of *Zea mays* L. that differ in drought and heat resistance. *Plant Physiol.* 97:1430-1434.
- Schlesinger, J.M. 1990. Heat shock proteins. *J. of Biol. Chem.* Vol. 265, N° 21: 12111-12114.
- Singh, T.N., D. Aspinall and L.G. Paleg. 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: A potential metabolic measure of drought resistance. *Nature (London) New Biol.* 236:188-190.
- Sommers, J.D., W.R. Giroux and F.W. Gary. 1991. The expression of temperature stress proteins in a desert cactus (*Opuntia ficus indica*). *Genome.* 34:940-943.
- Spalding, H.M., R.M. Schmitt, S.B. Ku and G. Edwards. 1979. Intercellular localization of some key enzymes of crassulacean acid metabolism (CAM) in *Sedum praealtum*. *Plant Physiol.* 63:738-743
- Stewart, C.R. and J.A. Lee. 1974. The role of proline accumulation in halophytes. *Planta.* 120:279-289.
- Ting, P.I. and B.C. Osmond. 1973. Photosynthetic phosphoenolpyruvate carboxylases characteristics of alloenzymes from leaves of C3 and C4 plants. *Plant Physiol.* 51:439-447.
- Ting, P.I. 1985. Crassulacean acid metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36:595-622.
- Treichel, S. 1975. The effect of NaCl on the concentration of proline in different halophytes. *Z. Pflanzenphysiol.* 76:56-68.
- Valcke, R., K.V. Loven and J.H. Argyroudi. 1992. Does a heat shock treatment affect photosynthesis in *Nicotiana tabacum*. Regulation of chloroplast biogenesis. NATO ASI series, Serie A, Life Sciences. Vol. 226:457-462.
- Van-Resburg, L.V. and G.H.J. Kruger. 1994. Applicability of abscisic acid and (or) proline accumulation as selection criteria for drought tolerance in *Nicotiana tabacum*. *Can. J. of Bot.* 72: 1535-40.
- Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Ann. Rev. Plant Phys. Plant Mol. Biol.* 42:579-620.

Vierling, R.A. and T.H. Nguyen. 1992. Heat shock protein gene expression in diploid wheat genotypes differing in thermal tolerance. *Crop Science* 32(2):370-377.

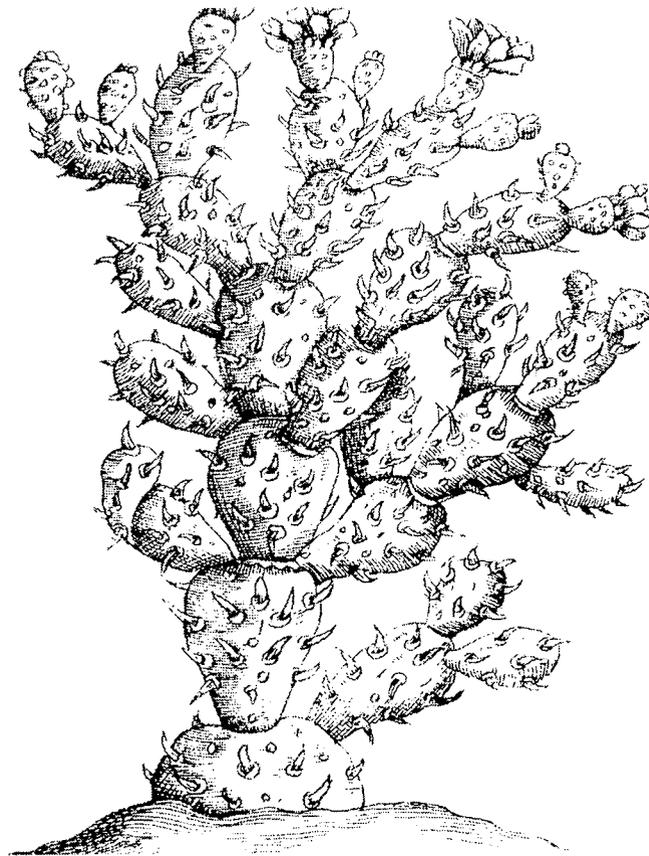
Vierstra, D.R. 1993. Protein degradation in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 44:385-410.

Watson, Hopkins, Roberts, Steitz, and Winer. 1987. *Molecular Biology of the gene*. 4° Ed. Vol. I. Benjamin/Cummings Pub. Co. Inc. pp 485,738.

Zeltich, I. 1971. *Photosynthesis, photorespiration and plant productivity*. Academic Press.

Segunda Parte

Aspectos de Cultivo, Producción y Comercialización de Nopal Verdura



El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Arnador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 95-116.

Capítulo 6

USO DE RIEGO DE ALTA TECNOLOGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL

Ignacio Orona-Castillo, Enrique Troyo-Diéguez, Alejandra Nieto-Garibay, Luis Felipe Beltrán-Morales

Resumen

En México, tradicionalmente el cultivo de nopal se realiza bajo condiciones de temporal, concentrándose su producción y superficie en la zona centro del país (Milpa Alta, Distrito Federal). Sin embargo, los sistemas de producción de esta zona se caracterizan por presentar un atraso tecnológico que les impide hacer un uso más eficiente del suelo y el agua que poseen. A diferencia de los cultivos tradicionales como el maíz, el frijol, los forrajes y varios frutales establecidos en las zonas de riego, el nopal representa una opción productiva aún no explorada. Su metabolismo ácido crasuláceo, baja demanda hídrica y su amplia capacidad de adaptación a condiciones extremas de temperatura y altitud, así como los múltiples usos a que puede destinarse lo perfilan como un cultivo prometedor. En la última década, ante la demanda creciente de nopalitos para el consumo nacional y de exportación, productores de otras entidades ubicadas al norte del país han visto en el nopal una alternativa de producción. Por ello han iniciado su adaptación bajo superficies con riego, pues en dichas zonas, la precipitación es muy reducida. Ante esta situación y considerando que en las zonas áridas el agua es la condicionante principal para la actividad agropecuaria, en este capítulo se muestran los resultados de producción que se pueden obtener y las características que debe tener un sistema de producción intensivo de

nopal bajo riego por goteo, para cuatro variedades provenientes de dos especies (tres variedades de *O. megacantha* y una variedad de *O. ficus-indica*) demostrándose que bajo dicho sistema la producción de nopalito puede triplicarse respecto a la producción obtenida bajo condiciones de temporal y duplicarse respecto a la producción de nopal bajo riego superficial.

Palabras clave: *Opuntia*, nopalitos, goteo, superficial, subsuperficial.

Abstract

In México, nopal (*Opuntia* spp) as a traditional crop is commonly cultivated under rain-fed conditions; the main commercial surface is concentrated within the Mexican main land, by the geographical center of the country (Milpa Alta, Distrito Federal). Nevertheless, the production systems for this zone evidence a very low technological level of development, which is the main cause for not achieving an efficient use of soil and water. In contrast with traditional crops such as corn, Mexican pinto bean, common forages and popular fruit crops, already established within the irrigation zones, "nopal" as an alternative crop is a promissory option yet to explore. Due to its crassulacean acid metabolism, low water demand, its ability to adapt to extreme conditions of temperature and altitude, as well to its multiple possible uses, "nopal" is a promising crop for arid zones. During the last decade and because of an increasing commercial demand for "nopalitos" (young *Opuntia* cladodes), a number of producers from other Mexican states, located at the north of the country, have found in nopal a feasible production alternative. Hence, they have started its establishment and adaptation process under irrigated conditions. This obey to the lack of rainfall, which is a common feature all long northern Mexico, contrasting with the production zones by the center of Mexico, where rain-fed conditions allow nopal production. After the above considerations, it is quite important to establish the technological information about promissory crops for these zones. In this chapter, we discuss the results about the production of nopal watered by means of a drip irrigation system. Four *Opuntia* varieties originated from two species were assayed, three varieties

from *O. megacantha* and one variety from *O. ficus-indica*. We found that under such irrigation system, the production can triplicate as compared to the rain-fed condition plots, and duplicate in relation to the surface irrigation system.

Key words: *Opuntia*, *nopalitos*, *drip*, *sub-surface*, *surface irrigation*.

Introducción

El nopal (*Opuntia* spp) ha representado para los mexicanos uno de los elementos bióticos más relevantes y de mayor significado cultural, pues se utiliza como alimento -ya sea como verdura o como fruto-, bebida alcohólica, dulce, forraje, producto industrial, medicinal y cerco vivo, entre otros usos. Su valor cultural y biótico ha quedado plasmado en **códices**, pinturas y bibliografías antiguas, su significado histórico es evidente. Prueba de ello es su presencia en el escudo de la bandera nacional, donde representa uno de los símbolos más característicos. La planta de nopal se distribuye prácticamente en todo el continente americano. Sin embargo, México es el país con mayor abundancia de especies por lo que se puede considerar como el centro de su origen (Granados y Castañeda, 1996).

La superficie sembrada con nopal en México durante 1999 de acuerdo a las cifras oficiales fue de 7,327 ha, distribuidas en 19 estados, 14 de los cuales participan con baja proporción con áreas menores a las 300 hectáreas sembradas y que en conjunto representan 17 % con 1,243 has. El resto se encuentra en los estados de Morelos con 796 ha, San Luis Potosí con 380, Tamaulipas 378 y Baja California con 371 ha; este grupo representa el 26 % nacional. Destaca el Distrito Federal con 4,159 ha que equivalen al 57 % de la superficie total. De la superficie total sembrada el 83 % se ubica en tierras de temporal y el 17 % auxiliada con riego. La tasa de crecimiento total de la superficie establecida con el cultivo entre el período 1989-1999 ha sido de 1.46 %. Sin embargo, la superficie atendida con riego durante este período ha aumentado al 60 % anual mientras que la establecida en tierras de temporal ha disminuido un 0.2 %, lo que

muestra un cambio hacia una producción más intensiva del cultivo, motivada por el mercado que ha venido ganando este cultivo en la población nacional. Flores (2001) estima que tres de los 13 millones de hectáreas de matorral crasicaule en México están ocupadas con comunidades de nopal. Los cladodios jóvenes (nopalitos) de un gran número importante de variedades silvestres se utilizan durante la temporada de brotación (primavera) para consumo humano en los estados del centro y norte del país. Este tipo de explotación se limita al consumo doméstico, es decir, el nivel de comercialización es muy bajo. Una excepción se presenta en San Luis Potosí, donde los brotes de *Opuntia robusta* Wend se colectan en poblaciones silvestres dentro de un radio de 120 km de la ciudad durante la temporada de marzo a junio. Los nopalitos se limpian, pesan y empaican en sacos especiales o "arpilleras" (costales o sacos de tela y/o plástico) para ser transportados a mercados donde se venden en fresco o bien, a cinco empresas industriales procesadoras para ser procesados y empacados para su exportación o comercialización en el mercado nacional.

Aún cuando la superficie de nopal en México es considerable, la literatura sobre productividad del agua y aplicación de riego en nopalito es prácticamente inexistente. El productor de nopal bajo riego en el país se concreta a regar cuando lo considera conveniente o bien, cuando tiene agua disponible. Respecto a las cantidades de agua a aplicar al cultivo, Grajeda (1982) reportó que para el área del Estado de México, donde la precipitación anual oscila entre los 600 y 800 mm, en la temporada fría y un sistema de producción de nopal bajo microtúnel las necesidades de riego son de 3 L m^{-2} por mes para obtener una producción óptima. En la misma zona, técnicos de la Promotora del Maguey y del Nopal (PROMAN), organismo público descentralizado del gobierno federal, a partir de observaciones prácticas sugieren un riego de 1 a 8 L m^{-2} cada 15 días. Lo anterior depende de la textura del suelo, en virtud de que los suelos franco arenosos y arenas francas tienen filtración elevada por lo que requieren mayor cantidad de agua. Mulas y D'hallewin (1997) indicaron que la aplicación suplementaria de agua en parcelas de nopal para tuna incrementa al menos dos veces la producción de tuna; dicho

incremento se debe a un mayor número de frutos por cladodio. Sin embargo, la concentración de azúcares en el fruto disminuye respecto a las parcelas en que no se aplica agua. Los distritos de riego del norte de los países ubicados en la zona semiárida, como otros en el mundo, enfrentan actualmente una escasez de agua propiciada por la disminución de precipitaciones originada por la misma naturaleza meteorológica y por el cambio climático que vive el planeta. La superficie que se riega, se ha visto disminuida frente a una demanda de alimentos que aumenta día con día. En busca de cultivos con menores demandas de agua y que representen una alternativa social y económicamente viable para los productores de estas regiones, resulta prioritario difundir resultados de investigación que representen una opción productiva.

El sistema de riego por goteo con cintilla se utiliza principalmente en el cultivo de hortalizas y frutales. En la Comarca Lagunera (constituida por las entidades federativas de Coahuila y Durango) y ubicada en la zona semiárida de México, este sistema se está implementando en el cultivo de sandía y melón, reportándose mayores rendimientos por volumen de agua utilizado. En este sentido, Mendoza *et al.* (2000) con la utilización de cintilla en el cultivo de sandía reportaron rendimientos por hectárea superiores en 150 % a la media regional de la Comarca Lagunera, que es de 27 t ha⁻¹ utilizando cintilla sub-superficial. Obtuvieron al mismo tiempo un adelanto en el inicio de cosecha al combinar el riego con cintilla con acolchado plástico. Berzoza y Chávez (2000) mediante el uso de riego por goteo subsuperficial en hortalizas reportaron en chile jalapeño, pimienta morrón, tomate, cebolla, ajo, brócoli, coliflor, melón y sandía, economías en agua que van del 25 al 40 %, con incrementos en producción que oscilan entre el 20 y 35 %. Asimismo, Rivera *et al.* (2001) en el cultivo de alfalfa forrajera utilizaron cintilla subsuperficial, encontrando una productividad del agua de 9.6 kg m⁻³ para el primer año de establecido el cultivo, aplicando una cantidad de agua equivalente al 56% de la evaporación diaria. Es decir, el uso de esta forma de riego incrementa notablemente la productividad del agua en los distintos cultivos. En México, las principales zonas nopaleras se ubican en regiones con temperaturas medias anuales que oscilan entre 16 y 23 °C. Pimienta

(1986) y Nobel (1994) indicaron que las especies de nopal cultivadas pueden sufrir daños con heladas de -5 a -10 °C sobre todo en plantas jóvenes durante los dos primeros años de desarrollo. Respecto a temperaturas altas, Nobel (1994) indicó que las pencas de *Opuntia ficus-indica* pueden sobrevivir a 69 °C durante una hora, requiriendo de terrenos con pendientes menores al 3 % y bien drenadas. De acuerdo con las estadísticas de SAGAR-CEA (1999) los rendimientos promedio nacionales bajo condiciones de riego son de 22.2 t ha⁻¹ y los que se obtienen en condiciones de temporal de 49.9 t ha⁻¹ (diferencia en rendimientos que a juicio del autor puede deberse más al manejo y a la densidad de plantación que se tiene por hectárea, que a la condición de riego y/o temporal). Sin embargo, bajo riego, el estado de Tamaulipas presenta promedios de 80 t ha⁻¹.

Con base en lo anterior, el objetivo de este capítulo es difundir los resultados de investigación obtenidos en materia de productividad del agua, en el cultivo del nopal bajo riego por goteo con cintilla superficial y sub-superficial para cuatro variedades de *Opuntia*, tres de la especie *megacantha* y una de *ficus-indica*. Asimismo, se presenta una breve descripción de las características morfológicas y fisiológicas que hacen del nopal una opción productiva para zonas áridas, cuando es sometido a condiciones de riego.

Características morfológicas de nopal

Los nopales son plantas **fanerógamas, angiospermas, dicotiledóneas, perennes**, con hábitos que van desde ser rastreras hasta arbustivas, con especies y variedades muy espinosas y otras con muy pocas espinas o **ahuates**. Son plantas **xerófilas** adaptadas al medio cálido seco. La suculencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas. Dicha propiedad puede considerarse como el carácter distintivo de su parte aérea (flores, tallos y frutos) y resulta de la proliferación celular masiva de cientos de tejidos parenquimatosos, asociada a un aumento en el tamaño de las vacuolas y una disminución de los espacios intercelulares. Dicho proceso les permite acumular grandes

cantidades de agua en forma muy rápida durante los breves períodos de humedad. Por otra parte, las formas esféricas o suculentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración (CODAGEM, 1979). El agua puede representar entre el 50 y 95 % del peso total de la planta y este peso disminuye considerablemente en períodos de sequía, al grado que las pencas se reducen hasta la octava parte de su espesor, según la intensidad y duración de la sequía y que éstas se encuentren en etapa inmadura.

Características de las raíces del nopal

Por su origen se derivan de la radícula, aunque en ocasiones puede estimularse su desarrollo a partir del tallo. Por su forma son raíces típicas o pivotantes con ejes primarios que sirven para fijar a la planta: generalmente son gruesas pero no suculentas, de tamaño y ancho variable; en general, su tamaño es proporcional al del tallo o de la parte aérea. Por su duración, el sistema radicular es perenne (CODAGEM, 1979). Samish y Ellern (1975) encontraron que en las uniones y en los cladodios de las plantas de nopal, durante la noche, abrían los estomas y la concentración total de ácidos se incrementaba, a la vez que disminuía la concentración de almidones y glucosa; lo inverso ocurría durante el día. Las cactáceas pertenecen al tipo C_3 , pero con metabolismo ácido crasuláceo (CAM), estas plantas abren sus estomas en la noche, cuando las condiciones son menos propicias para la transpiración y absorben CO_2 del aire que convierten en ácidos orgánicos del grupo carboxílico, en especial el ácido málico y el isocítrico. Durante el día los estomas se cierran y son descompuestos los ácidos orgánicos para liberar CO_2 que las células de inmediato utilizan para la fotosíntesis. Como resultado de este comportamiento, la transpiración de estas plantas es mayor en la noche que en el día y en general, menor que en otras plantas; esta condición permite que las suculentas efectúen fotosíntesis y conserven agua en sus hojas y tallos que almacenan cuando está disponible (Ranson y Thomas, 1960).

Especies y variedades de nopal para verdura

Las especies más adecuadas para el establecimiento de huertas de nopal para verdura son aquéllas que presentan pencas que tienen pocas espinas, poseen gran cantidad de agua y poca fibra. Entre ellas sobresale el nopal de castilla *Opuntia ficus-indica*. Respecto a variedades, Barrientos y Brauer (1965) mencionan que la especie *Opuntia ficus-indica* es la que comúnmente se usa para la producción de verdura aunque en general de las especies tuneras también se utilizan los brotes con el mismo propósito. Señalan que se ha seleccionado la variedad COPENA V-1 para verdura, por su buena capacidad para la producción de brotes suculentos y sin problemas de acidez. Lozano (1958) afirma que los nopalitos de nopal tapón son los más apreciados debido a que los frutos de ésta se consumen poco y que el gusto por los nopalitos se ha formado a través del uso continuo de dichos renuevos.

Fisiología de *Opuntia ficus-indica*

De acuerdo a Nobel (2001) la base fisiológica del éxito ecológico y la utilización agrícola de las especies de *Opuntia* como forraje refleja en gran medida su patrón diario de apertura de estomas (los estomas son poros en la hoja o la superficie del tallo que regulan el intercambio de gases entre una planta y su medioambiente). La mayoría de las plantas tienen apertura diurna de estomas, de esta manera toman CO₂ mediante la fotosíntesis, proceso que aprovecha la energía de la luz para incorporar CO₂ atmosférico en un carbohidrato. Las plantas como *Opuntia ficus-indica*, sin embargo, tienen apertura nocturna de estomas, de esta forma la toma neta de CO₂ y la pérdida de agua ocurre durante la parte más fría del ciclo de las 24 horas. Este intercambio de gases está referido como Metabolismo Ácido Crasuláceo (CAM) porque fue estudiado extensivamente en las Crasuláceas, aunque aparentemente reconocido primero en las Cactáceas (Ting, 1985; Nobel, 1988). Las plantas CAM son nativas de regiones áridas y semiáridas, así como de microhábitats periódicamente secos, tales como los ocupados por epifitas (más de las 20,000 especies de

plantas CAM son epifitas, las cuales crecen sobre árboles en bosques tropicales) (Winter, 1985; Nobel, 1991).

Intercambio diario de gases

Como se indicó, *Opuntia ficus-indica* capta el CO₂ por la noche. Bajo condiciones húmedas y temperaturas moderadas, la absorción neta de CO₂ es positiva en la parte última de la tarde cuando las temperaturas del día han decrecido substancialmente y alcanza su máximo valor pocas horas después del crepúsculo. El CO₂ captado por una planta CAM en la noche es destinado a un componente de tres carbonos para formar un ácido orgánico de cuatro carbonos, como el málico. Los ácidos orgánicos acumulados son almacenados por la noche en grandes vacuolas dentro de células del clorénquima (la región que contiene clorofila verdosa); así, el tejido se hace progresivamente más ácido durante el transcurso de la noche. El CO₂ es liberado de los ácidos orgánicos durante el siguiente día, causando que la acidez del tejido disminuya. Esta liberación de CO₂, la cual es impedida por el cierre de estomas durante el día por una planta CAM, es entonces incorporada en productos fotosintéticos dentro de las células del clorénquima, en presencia de luz del día. La oscilación diaria de acidez, característica de las plantas CAM, se desarrolla en grandes vacuolas que captan y almacenan por corto tiempo ácidos orgánicos.

Eficiencia del uso del agua

Un índice que estima la relación beneficio costo útil para el intercambio de gases por plantas es la proporción de CO₂ fijado por fotosíntesis a pérdida de agua por transpiración, que está referido a eficiencia en el uso del agua (WUE por sus siglas en inglés). Para la información de intercambio de gas la absorción neta de CO₂ integrada durante las 24 horas del día es de 1.4 mol m⁻² día⁻¹ y la pérdida de agua es de 51.3 mol m⁻² día⁻¹. Así, el UEA es cerca de tres veces mayor a la encontrada en plantas C₄ altamente productivas (como el maíz y la caña de azúcar) bajo condiciones ambientales similares (Nobel, 1995). En muchos lugares, las temperaturas del tejido promedian 10 °C menos por la noche que durante el día,

ocasionando que las plantas CAM pierdan sólo de 20 a 35% de agua a como lo hacen las plantas C_3 y C_4 para un grado dado de apertura de estomas. Esta es una característica clave en su utilidad como cultivos forrajeros en regiones áridas y semiáridas.

Relaciones planta-agua

Además de usar el metabolismo CAM, *Opuntia ficus-indica* tiene otras adaptaciones que la conducen a la conservación de agua. Por ejemplo, la cutícula cerosa sobre sus tallos es relativamente delgada, generalmente de 5 a 30 μm (Conde, 1975; Pimienta-Barrios *et al.*, 1992, 1993; North *et al.*, 1995), ayudando con esto a prevenir pérdidas de agua hacia el ambiente. Además, la frecuencia de estomas es usualmente baja para opuntias, generalmente de 20 a 30 por mm^2 (Conde, 1975, Pimienta-Barrios *et al.*, 1992). Los tallos contienen un elevado almacenamiento blanquecino de agua en el parénquima, el cual actúa como un reservorio de agua para el clorénquima, donde la fijación inicial de CO_2 por la noche vía CAM y la fotosíntesis diurna toman lugar. Por ejemplo, durante una sequía que dura tres meses, el clorénquima de los tallos de *Opuntia ficus-indica* se adelgaza un 13 %, mientras el parénquima almacenador de agua decrece o se adelgaza en 50 %, indicando una pérdida de agua mayor del tejido parenquimatoso (Goldstein *et al.*, 1991). Como otra adaptación adicional, las raíces de *Opuntia ficus-indica* tienden a ser poco profundas con una profundidad media de 15 cm, facilitando una rápida respuesta a precipitaciones ligeras. Por ejemplo, se pueden formar nuevas raíces en 24 horas de mojado un suelo seco (Kausch, 1965). Sus diversas estrategias de conservación de agua conducen a la necesidad de un sistema radical pequeño, de hecho, las raíces componen sólo cerca del 12% de la biomasa total de la planta para *Opuntia ficus-indica* (Nobel, 1988). La sequía fisiológicamente inicia cuando las plantas no pueden tomar más agua del suelo, debido a que el potencial de agua en el suelo es menor al potencial de agua en la planta, causa también una disminución en la habilidad de los tallos para tomar CO_2 de la atmósfera. En las regiones áridas y semiáridas, la falta de agua es el factor condicionante principal para que *Opuntia ficus-indica* manifieste su

potencial de producción, por lo que la aplicación del riego es de suma importancia.

Producción de nopalitas bajo riego por goteo

La Región Lagunera se encuentra situada geográficamente entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste y los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte. El clima es árido con una precipitación media anual de 257 mm. La temperatura media anual es de 19.9°C, mientras que la temperatura máxima de 33.7 y la mínima de 6.2° C. La evaporación media anual es de 2,400 mm y la altura sobre el nivel medio del mar es de 1,139 m. Los resultados de producción mostrados en este estudio consideraron el establecimiento del nopal en un suelo de textura arcillo limo arenosa, clasificado por USDA (1996) como *typic haplargid*. En los primeros 30 cm de profundidad, los parámetros de humedad son de 16 % en marchitamiento permanente y 31 % en capacidad de campo. La densidad aparente es de 1.22 g cm⁻³, la conductividad eléctrica asciende a 1.985 dSm⁻¹ y un pH de 8.34. De acuerdo con las características edáficas y de altitud requeridas para el cultivo del nopal, reportadas por De la Rosa y Santamaría (1998) las del lugar de estudio se adaptan al desarrollo del cultivo.

Se sometieron a riego cuatro variedades, tres identificadas como 40, 60 y 8 que pertenecen a *Opuntia megacantha* y una perteneciente a *Opuntia ficus-indica*, identificada como variedad 69. Los niveles de humedad a que se sometieron consideraron el 30, 45 y 60 % de la evaporación diaria tomada de un tanque evaporímetro tipo "A". Las variedades 69 y 60 provienen del Estado de Aguascalientes, la variedad 40 del Estado de Zacatecas y la variedad 8 del Estado de México. Los cladodios madre fueron cortados y tratados con **caldos bordelés** en el mes de marzo, manteniéndose bajo sombra durante 15 días para cicatrizar la parte de corte afectada y plantarse finalmente el 5 de abril de 2000. El sistema de riego por goteo utilizó dos variantes, la disposición superficial y subsuperficial. En ambos casos se empleó cintilla calibre 10,000 (0.250 mm), con un gasto de 0.5 L h⁻¹ funcionando a una presión de 0.70 kg cm⁻²

(10 PSI). El espacio entre goteros fue de 0.2 m, lo que hace un gasto de $2.5 \text{ L h}^{-1} \text{ m lineal}$. Se colocó una línea regante por hilera de nopal y la capacidad de la bomba usada para el riego fue de 0.372 kW (0.5 HP), colocándose un filtro a la entrada del agua en la tubería de conducción para evitar la oclusión de los emisores. En el caso del riego sub-superficial, la cintilla se colocó a 15 cm de profundidad. El riego de establecimiento se llevó a capacidad de campo los primeros 60 cm de profundidad del suelo para todos los tratamientos, incluyendo el testigo, debido a que es en este **estrato** donde existe una mayor concentración radicular del cladodio. La distancia de plantación fue de 0.4 m entre pencas y 0.6 m entre hileras de pencas, dejándose un espacio de tres metros entre parcelas. El número de hileras por parcela fue de cuatro, donde cada una corresponde a una variedad. El tamaño de parcela fue de 1.8 m de ancho por 4 m de largo.

Productividad del agua con goteo superficial

Los volúmenes de agua aplicados, los rendimientos acumulados y el producto medio del agua para cada variedad y tratamiento de humedad experimental para el primer año se muestran en la Tabla 1. El producto medio del agua (kg m^{-3}) es definido como el valor resultante del cociente de producción total a acumulada y el volumen de agua aplicada en un período de un año. A niveles de menor aplicación de agua se advierte mayor producto medio en todas las variedades. En los tratamientos de riego se aprecia mayor producto medio del agua en la variedad *ficus-indica*, identificada como variedad 69, siguiéndole las tres variedades de la especie *Opuntia megacantha*. Se observa que la especie *megacantha* variedad 8 en cualquier criterio de riego presenta el menor producto medio y el mayor producto medio del agua dentro de esta especie ocurre en la variedad 40. Si los valores de producción de la Tabla 1 se escalan a un huerto de una hectárea con un **arreglo topológico** de 0.4 m de distancia entre plantas y 0.6 m de distancia entre hileras, en camas de 2.4 m de ancho por 100 m de largo y pasillos de 1.5 m de ancho que dividen las camas para maniobras del cultivo (corte y acarreo), se podrían tener 30 camas de cuatro hileras y un total de 30 mil pencas madre, se obtendrían

los rendimientos señalados en la Tabla 2, donde se observa que la especie *Opuntia ficus-indica* variedad 69 sería la más productiva bajo cualquiera de los tres niveles de humedad estudiados.

Tabla 1. Producto medio del agua para cuatro tipos de nopal verdura bajo riego por goteo superficial en el primer año de establecimiento en la Comarca Lagunera.

Humedad (%)		<i>megacantha</i>	<i>ficus-indica</i>	<i>megacantha</i>	<i>megacantha</i>
		60	69	40	8
30	m ³ agua	1.9	1.9	1.9	1.9
	kg acumulados	27.66	33.47	27.94	22.64
	kg m ⁻³	14.56	17.62	14.71	11.92
45	m ³ agua	2.52	2.52	2.52	2.52
	kg acumulados	27.25	36.31	25.60	22.07
	kg m ⁻³	10.81	14.41	10.16	8.75
60	m ³ agua	3.14	3.14	3.14	3.14
	kg acumulados	28.89	38.16	27.04	20.10
	kg m ⁻³	9.20	12.15	8.61	6.40
Testigo	M ³ agua	1.12	1.12	1.12	1.12
	kg acumulados	5.30	5.99	7.46	4.78
	kg m ⁻³	4.73	5.35	6.66	4.27

En cuanto al volumen de agua utilizado por hectárea y estimando la superficie realmente ocupada por el cultivo, que equivale a 7,200 m² para el riego que considera el 30 % de evaporación, se observa que la cantidad de agua usada corresponde a 5,256 m³. Dicho volumen es inferior a los requeridos en cultivos regionales tradicionales como maíz, frijol, hortalizas y forrajes.

Al igual que lo observado en el primer año, en el segundo, se encontró que a niveles de menor aplicación de agua se obtiene mayor producto medio

en todas las variedades ensayadas. En los tratamientos de riego aplicados, el producto medio obtenido fue mayor en la variedad identificada como *ficus-indica* 69, siguiéndole las tres variedades de *Opuntia megacantha* (8, 40 y 60).

Tabla 2. Rendimiento de cuatro variedades de nopal hortícola bajo riego con cintilla superficial en la Comarca Lagunera (t ha⁻¹). Primer año de establecimiento.

Humedad (%)	<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	82.99	100.43	83.83	67.93
45	81.76	108.93	76.81	66.22
60	86.67	114.49	81.11	60.30
Testigo	17.98	22.38	15.90	14.35

Se observa que la variedad identificada como *megacantha* 8 bajo cualquier criterio de riego presenta el menor producto medio. El mayor producto medio del agua dentro de esta especie lo alcanza la variedad 40 (Tabla 3). La producción esperada por hectárea con los datos de producción del segundo año, se muestra en la Tabla 4, donde nuevamente fue la especie *Opuntia ficus-indica* variedad 69, la más productiva bajo cualquiera de los tres niveles de humedad estudiados. En este caso el volumen de agua utilizado por hectárea, corresponde a una lámina de 4,350 m³ para obtener este valor se consideró que la superficie realmente ocupada por el cultivo, es equivalente a 7,200 m², para el tratamiento de riego que considera el 30 % de evaporación. Este volumen es inferior a los requeridos en cultivos regionales tradicionales como maíz, frijol, hortalizas y forrajes. Este año el volumen fue menor porque no se consideró riego de presembrado o de establecimiento del cultivo, el cual fue de 10 cm para el primer año, es decir, un volumen de 1,000 m³. Los volúmenes de producción para el segundo año fueron superiores a los del primero en un intervalo del 53 al 80 % en general y en particular del 62.5 % para la variedad 69. Este incremento se explica principalmente por los tres meses que dura el establecimiento del cultivo en el primer año, período que utiliza la planta en el segundo año para producir (abril, mayo y junio).

Tabla 3. Producto medio del agua para cuatro tipos de nopal verdura bajo riego por goteo superficial en el segundo año de establecimiento en la Comarca Lagunera.

Humedad (%)		<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	m ³ agua	1.39	1.39	1.39	1.39
	kg				
	acumulados	45.1	55.1	41.8	28.1
	kg m ⁻³	32.5	39.6	30.0	20.2
45	m ³ agua	2.09	2.09	2.09	2.09
	kg				
	acumulados	43.5	58.9	48.3	30.6
	kg m ⁻³	20.8	28.2	23.1	14.6
60	m ³ agua	2.79	2.79	2.79	2.79
	kg				
	acumulados	49.1	58.5	50.4	32.3
	kg m ⁻³	17.6	21.0	18.1	11.6

Tabla 4. Rendimiento de cuatro variedades de nopal hortícola bajo riego con cintilla superficial en la Comarca Lagunera (t ha⁻¹). Segundo año de establecimiento.

Humedad (%)	<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	135.4	165.3	125.3	84.3
45	130.6	176.8	144.8	91.7
60	147.3	175.5	151.3	96.9

Productividad del agua bajo riego sub-superficial

Para el análisis de la información obtenida bajo esta forma de riego, en la Tabla 5 se observan los mismos elementos encontrados en el sistema de riego con goteo superficial para el primer año. En este caso y de igual forma, el producto medio del metro cúbico de agua disminuye conforme se aplican mayores cantidades de agua. Se observa que el mayor

producto medio del metro cúbico de agua bajo los tres tratamientos de humedad es alcanzado por *Opuntia ficus-indica* 69 y el menor corresponde a la variedad 8 de la especie *Opuntia megacantha*.

Tabla 5. Producto medio del agua aplicada a cuatro variedades de nopal verdura bajo riego por goteo con cintilla sub-superficial en el primer año de establecimiento en la Comarca Lagunera.

Humedad (%)		<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	m ³ agua	1.9	1.9	1.9	1.9
	kg acumulados	26.67	31.10	28.90	21.70
	kg m ⁻³	13.97	16.29	15.13	11.36
45	m ³ agua	2.52	2.52	2.52	2.52
	kg acumulados	25.63	31.73	31.00	22.89
	kg m ⁻³	10.17	12.59	12.30	9.08
60	m ³ agua	3.14	3.14	3.14	3.14
	kg acumulados	29.69	34.73	32.51	25.90
	kg m ⁻³	9.44	11.05	10.34	8.24
Testigo	M ³ agua	1.12	1.12	1.12	1.12
	kg acumulados	5.30	5.99	7.46	4.79
	kg m ⁻³	4.73	5.35	6.66	4.27

Al traducir los rendimientos encontrados al nivel de una hectárea, se aprecian los resultados en la Tabla 6, observándose que *Opuntia ficus-indica* variedad 69 es la más productiva en todos los niveles de humedad. Para el segundo año se observan los mismos elementos encontrados en el sistema de riego por goteo superficial y sub-superficial del primer año, es decir, el producto medio del metro cúbico de agua disminuye conforme se aplican mayores cantidades de agua; el mayor producto medio del metro cúbico de agua bajo los tres tratamientos de humedad es alcanzado por la variedad 69 y el menor corresponde a la variedad ocho (Tabla 7).

Tabla 6. Rendimiento de cuatro variedades de nopal hortícola bajo riego con cintilla subsuperficial en la Comarca Lagunera ($t\ ha^{-1}$). Primer año de establecimiento.

Humedad (%)	<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	80.01	93.31	86.69	65.09
45	76.88	95.19	93.00	68.68
60	89.08	104.19	97.53	77.69
Testigo	17.98	22.38	15.90	14.35

Tabla 7. Producto medio del agua aplicada a cuatro variedades de nopal verdura bajo riego por goteo con cintilla sub-superficial en el segundo año de establecimiento en la Comarca Lagunera.

Humedad (%)		<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	m^3 agua	1.39	1.39	1.39	1.39
	kg acumulados	40.1	50.6	45.1	26.6
	$kg\ m^{-3}$	28.8	36.4	32.5	19.1
45	m^3 agua	2.09	2.09	2.09	2.09
	kg acumulados	37.6	51.4	43.8	27.9
	$kg\ m^{-3}$	18.0	24.6	21.0	13.3
60	m^3 agua	2.79	2.79	2.79	2.79
	kg acumulados	45.4	55.8	46.4	30.3
	$kg\ m^{-3}$	16.3	20.0	16.6	10.9

Al transformar estos rendimientos al nivel de una hectárea, se aprecian los resultados contenidos en la Tabla 8, encontrándose que *Opuntia ficus-indica* variedad 69 es la más productiva y de mejor calidad en todos los niveles de humedad. En general, para el segundo año se observan mayores rendimientos bajo los dos sistemas de riego, lo que puede atribuirse al mayor desarrollo radicular alcanzado por cultivo, sin embargo, este aspecto no fue evaluado en el estudio.

Tabla 8. Rendimiento de cuatro variedades de nopal hortícola bajo riego con cintilla sub-superficial en la Comarca Lagunera ($t\ ha^{-1}$). Segundo año de establecimiento.

Humedad (%)	<i>megacantha</i> 60	<i>ficus-indica</i> 69	<i>megacantha</i> 40	<i>megacantha</i> 8
30	120.3	151.8	135.3	79.8
45	112.9	154.3	131.4	83.7
60	136.3	167.3	139.3	91.0

Análisis estadístico de rendimientos al nivel de una hectárea para las dos formas de riego y las cuatro variedades de nopal

El análisis de varianza para el primer año mostró que no existen diferencias significativas entre las formas de riego (cintilla superficial y cintilla sub-superficial) utilizadas, por lo que la respuesta productiva del nopal es igual entre ambas formas de riego. Respecto a los niveles de humedad a que se sometió el cultivo, se observó que con la aplicación de una lámina de riego equivalente al 30 % de la evaporación diaria se obtiene la mayor productividad del agua y respecto a variedades, es *Opuntia ficus-indica* variedad 69 la que logra mayor productividad. La prueba de comparación de medias por el método de diferencia mínima significativa (DMS) a un nivel de probabilidad del 99% de los factores B (nivel de humedad) y C (variedades de nopal), mostró diferencias significativas en producto medio del agua bajo cada tratamiento de humedad y las diferencias entre variedades de nopal.

En el segundo año de establecido el cultivo, el análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre las formas de riego (cintilla superficial y cintilla sub-superficial) utilizadas, es decir, la respuesta productiva del nopal es mayor en el sistema de riego por goteo con cintilla colocada superficialmente. Asimismo, como en el primer año, para los factores nivel de humedad y variedad de nopal evaluados, se observaron diferencias significativas. La mayor productividad del agua en el segundo año se presentó en el nivel de aplicación de agua equivalente al 30 % de

la evaporación diaria. Dicho dato equivale a una lámina de riego de 60 cm, misma que en una superficie efectiva por hectárea de 7,200 m² significa un volumen por hectárea de 4,320 m³. Al considerar los resultados obtenidos para el primero y segundo año de establecimiento del cultivo, se comprueba que bajo cualquiera de las modalidades de riego por goteo estudiadas, es posible incrementar sustancialmente la producción reportada en el ámbito nacional bajo riego o temporal.

Conclusiones

Los resultados de producción de nopalito para el primero y segundo año indican que a partir del segundo, existen diferencias significativas entre los dos sistemas de riego por goteo –superficial y sub-superficial- siendo más productivo el sistema de riego con goteo superficial, lo que se atribuye al sistema radical superficial propio del cultivo. La producción de nopalito obtenida bajo cualquiera de las dos formas de riego en el primero y segundo año de establecimiento, rebasa las registradas en promedio en el ámbito nacional, lo que muestra que con estos sistemas de producción es posible incrementar la productividad del agua y del nopal. De acuerdo al análisis estadístico de los datos de producción, los rendimientos por hectárea de nopal pueden ser mayores a medida que se apliquen láminas de riego mayores, sin embargo, la productividad por metro cúbico de agua disminuye. La lámina de riego que se recomienda aplicar al nopal para producción de verdura con sistema de riego por goteo es aquella que representa el 30 % de la evaporación diaria. Lo anterior equivale a un rango aproximado de 60 a 65 cm por año para la Comarca Lagunera, lugar donde se realizó el presente estudio. Asimismo, se concluye que existen también diferencias significativas en productividad entre las variedades estudiadas, siendo la variedad 69 de *Opuntia ficus-indica* la que mostró mayor productividad. El hecho de que la especie *ficus-indica* variedad 69 sea la de mayor aceptación en el mercado debido a la escasa presencia de espinas en el nopalito, la hace más atractiva al productor que desee dedicarse a este cultivo.

Bibliografía

- Barrientos P.F., O. Brauer. 1965. El Nopal y su utilización en México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 26: 87-94.
- Berzoza M., S. Chávez N. 2000. Fertirrigación en hortalizas en el Distrito de Riego 05 Delicias. X Congreso Nacional de Irrigación, Simposio 1. Ingeniería de Riego. Chihuahua, Chihuahua.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal. México. Folleto Informativo No. 158
- Conde L.F. 1975. Anatomical comparisons of five species of *Opuntia* (Cactaceae). Ann. Missouri Bot. Garden, 62: 425-473. Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla, Santiago de Chile.
- De la Rosa H.P., D. Santamaría A. 1998. El Nopal. Usos, manejo agronómico y costos de producción en México. CONAZA – UACH – CIESTAAM. Primera Edición. México.
- Flores V.C.A. 2001. Producción, industrialización y comercialización de nopalitas. Reporte de investigación 58. Universidad Autónoma Chapingo CIESTAAM. Chapingo, Estado de México.
- Goldstein G., J. Andrade L., P.S. Nobel. 1991. Differences in water relations parameters for the chlorenchyma and the parenchyma of *Opuntia ficus-indica* under wet versus dry conditions. Aust. J. Plant Physiol. 18:95-107.
- Grajeda G.J.E., A. García V. 1982. Cultivo nopal para verdura. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Granados S.D., A. Castañeda D. 1996. El nopal: historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Segunda edición. Editorial Trillas, México, D. F.
- Kausch E. 1965. Beziehungen zwischen Wurzelwachstum, Transpiration and CO₂-Gaswechsel bei eingen Kakteen. Planta, 66: 229-238.
- Lozano G.M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura. Universidad de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
- Mulas M. G. D'hallewin. 1997. Fruit quality of four cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivars as influenced by irrigation, p. 115-122. In: P. Inglese, M.O. Brutsch (Eds). International Congress on Cactus Pear and Cochenille, Midland, South Africa.

- Mendoza M.F.S., G. García H., J. Martínez S., H. Macías R. 2000. Interacción agua nutrimentos en tres sistemas de producción en sandía con riego por cintilla y acolchado plástico. X Congreso Nacional de Irrigación, Simposio 1. Ingeniería de Riego. Chihuahua, Chihuahua.
- Nobel P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. New York: Cambridge Univ. Press.
- Nobel P.S. 1991. Achievable productivities of CAM plants: Basis for high values compared with C₃ and C₄ plants. Tansley Review No. 32. New Phytol. 119: 183-205.
- Nobel P.S. 1994. Remarkable agaves and cacti. Oxford University Press. New York. 166 p.
- Nobel P.S. 1995. Environmental biology. p. 36-48. In: G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (Eds). Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper, 132.
- Nobel P.S. 2001. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: Mondragón J. C. y S. Pérez G. (eds). Cactus (*Opuntia* spp) as forage FAO. Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy.
- Nobel P.S., T. L. Hartsock. 1984. Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. Physiol. Plant, 60: 98-105.
- North G.B., T.L. Moore, P.S. Nobel. 1995. Cladode development for *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) under current and doubled CO₂ concentrations. Amer. J. Bot., 82: 159-166.
- Pimienta-Barrios E. 1986. Establecimiento y manejo de plantaciones de nopal tunero en Zacatecas. CIANOC-SARH-INIFAP. Publicación Especial 5:1-34.
- Ranson S.L., M. Thomas. 1960. Crassulacean acid metabolism. Ann. Rev. Plant Physiol. 11:81-110.
- Rivera G.M., I. Orona C., I. Sánchez C., H. Macías R., J. Martínez S., J. Estrada A. 2001. Obtención de una función de producción del agua para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en riego por goteo sub-superficial. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba.
- SAGAR-CEA. 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en los Estados Unidos Mexicanos. México, D.F.
- Samish Y.B., S.J. Ellern. 1975. Tritratable acids in *Opuntia ficus-indica* L. Dept. of Bot. Tel Aviv Jardel. Journal of Range Management, 28(5):365-369.

Ting L.P. 1985. Crassulacean acid metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36: 595-622.

USDA. 1996. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 7th edition. National Resources Conservation Service. 644 p.

Winter K. 1985. Crassulacean acid metabolism. P. 329-387. *In*: J. Barber & N. R. Baker (Eds) *Photosynthetic mechanisms and the environment*. Amsterdam: Elsevier.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 117-136.

Capítulo 7

FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN NOPAL

Ricardo David Valdéz-Cepeda, Fidel Blanco-Macías,
Bernardo Murillo-Amador, Miguel Márquez-Madrid, Rafael
Magallanes-Quintanar, Raúl René Ruiz-Garduño, José Luis
García-Hernández, Juan Carlos Ledesma-Mares, Francisco
Javier Macías-Rodríguez

Resumen

Las plantas de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adquieren del suelo y el aire todos los constituyentes de sus tejidos. En particular, la fertilidad del suelo gobierna el crecimiento de las plantas y, por consiguiente, las cantidades de nutrientes minerales que absorben las raíces. En este contexto, se ha concebido que un ambiente con las condiciones para un crecimiento óptimo de las plantas esté estrechamente vinculado a concentraciones óptimas de los nutrientes minerales en algunas partes de las plantas. En el caso de nopal se han tomado como referencia los cladodios de un año de edad. A través de la técnica de interpretación de la composición de los cladodios, se han definido normas preliminares de nutrición que optimizan la propagación de cladodios de nopal mediante la técnica denominada Diagnóstico de Nutriente Composicional, mismas que corresponden a las siguientes concentraciones óptimas: 0.97 ± 0.11 de N (%), 0.31 ± 0.03 de P (%), 4.47 ± 1.05 de K (%), 4.37 ± 0.46 de Ca (%) y 1.47 ± 0.23 de Mg.

Palabras clave: fertilización química, nutrición de plantas, diagnóstico.

Abstract

Prickly pear plants (*Opuntia ficus-indica*) acquire from their aerial and soil environments all constituents of their tissues. In particular, soil fertility governs plant growth and thereby the quantities of mineral nutrients taken up by roots. In this context, the environment with enough conditions for an optimum plant growth is highly correlated to optimum concentration of mineral nutrients in some plant tissues. In the case of prickly pear plants, one-year old cladodes have been taken as the referenced tissue. By using the cladode's composition interpretation technique, preliminary norms of mineral nutrition for optimum plant propagation have been developed through the Compositional Nutrient Diagnosis method corresponding to the following optimum concentrations: 0.97 ± 0.11 de N (%), 0.31 ± 0.03 de P (%), 4.47 ± 1.05 de K (%), 4.37 ± 0.46 de Ca (%) y 1.47 ± 0.23 de Mg.

Key words: *chemical fertilization, plant nutrition, diagnostic.*

Introducción

El suelo es el medio natural para el crecimiento y desarrollo de las plantas y la fuente de la mayoría de los nutrientes necesarios para ello. Los nutrientes son requeridos en cantidades diferentes por las plantas. Aquellos usados en mayores cantidades se denominan macronutrientes, mientras que los usados en menores cantidades se conocen como micronutrientes (Tabla 1). Del 93 al 99 % del tejido vegetal está conformado por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), los cuales son tomados del agua y el aire, en raras ocasiones éstos limitan el crecimiento de las plantas. Con frecuencia, los elementos nutrientes que las plantas obtienen del suelo son los que generalmente limitan el desarrollo de las plantas cultivadas. Invariablemente, muchos suelos agrícolas del mundo son deficientes en uno o más de los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de plantas sanas. La acidez, la alcalinidad, la salinidad, los procesos antropogénicos, la naturaleza propia del sistema agrícola y la erosión pueden causar degradación del suelo, de manera que cuando el suelo no provee suficientes cantidades de los nutrientes

esenciales para las plantas, es imprescindible aplicar fertilizantes al suelo para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo y maximizar el rendimiento. Sin embargo, los suelos varían mucho en su capacidad de suplementar nutrientes a las plantas cultivadas, de forma que para conocer las cantidades aprovechables de los nutrientes es necesario realizar análisis de fertilidad de los suelos; pero estos son de utilidad solamente si los niveles determinados en el laboratorio están relacionados con los rendimientos del cultivo de interés en campo.

Nutrimientos

Nitrógeno

Nitrato (NO_3^-)

Esta forma de nitrógeno es disponible para las plantas. El nitrato es soluble, se mueve con el agua que se aplica al suelo y es fácilmente lixiviado. También es la principal forma de nitrógeno absorbido por las plantas, incluyendo al nopal.

Nitrógeno amoniacal (NH_4^+)

Cuando el nitrógeno amoniacal es incorporado al suelo puede ser adsorbido fácilmente por los **coloides** arcillosos y orgánicos, pero también puede ser lixiviado si entra en solución a menos que el suelo tenga una baja capacidad de intercambio catiónico. Sin embargo, las bacterias empiezan inmediatamente a transformar el amonio en nitrato. La transformación completa se realiza de un día a dos semanas, dependiendo de las condiciones ambientales que gobiernan la nitrificación:

- Temperatura óptima (27-32° C).
- Suficiente humedad en el suelo. En los suelos muy húmedos o muy secos no se efectúa la nitrificación.
- pH óptimo. El rango práctico es de 5.5 a 7.0.

Nitrógeno orgánico soluble en agua

La urea y la cianamida cálcica son los dos materiales considerados como fertilizantes orgánicos solubles en agua. Cuando la urea se incorpora al suelo, la enzima ureasa la transforma en amonio. La reacción es muy rápida porque la ureasa está siempre presente en suelos que contienen microorganismos. Por lo tanto, el amonio es nitrificado a nitrato.

Tabla 1. Elementos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Hanton, 1992).

Nutriente esencial	Símbolo químico	Forma química usada por las plantas	% típico en plantas (peso en fresco)
Carbono	C	CO_3^- , HCO_3^-	45
Hidrógeno	H	H^+	8.0
Oxígeno	O	H_2O , otros óxidos	41
<i>Macronutrientes</i>			
Nitrógeno	N	NH_4^+ , NO_3^-	2.0
Fósforo	P	HPO_4^- , H_2PO_4^-	0.4
Potasio	K	K^+	1.1
Calcio	Ca	Ca^{2+}	0.6
Magnesio	Mg	Mg^{2+}	0.3
Azufre	S	SO_3^- , SO_4^-	0.5
<i>Micronutrientes</i>			
Hierro	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3++}	0.02
Manganeso	Mn	Mn^{2+} , Mn^{3++}	0.05
Cobre	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}	0.001
Zinc	Zn	Zn^{2+}	0.01
Molibdeno	Mo	MoO_4^-	0.0001
Boro	B	BO_3^-	0.005
Cloro	Cl	Cl^-	< 0.0001

Nitrógeno orgánico insoluble en agua

Los organismos naturales son las formas de nitrógeno insoluble en agua. Deben ser descompuestos o mineralizados para que el nitrógeno quede

en formas disponibles para las plantas, de manera que liberan nitrógeno lentamente conforme la materia orgánica se desintegra en coloides orgánicos. Lo ideal es tener suelos agrícolas ricos en materia orgánica, lo cual difícilmente se presenta en las regiones agrícolas de las regiones áridas y semiáridas.

Fósforo

La mayor parte del fósforo presente en los suelos proviene de la degradación de los minerales naturales o de los fertilizantes comerciales. Un exceso de fósforo en el suelo afecta negativamente la **absorción** del hierro y zinc por las plantas y tiene un gran potencial para contaminar el agua subterránea cuando ocurre el escurrimiento superficial y la **erosión**.

Potasio

El potasio difiere de otros nutrientes de las plantas porque permanece en la savia pero puede ser lixiviado fácilmente de los tejidos de las plantas muertas. No es necesario que la materia orgánica vegetal se descomponga para que sea liberado, ya que por lo general, las plantas presentan la tendencia de absorber más potasio del que requieren y por consiguiente, es factible que se desarrolle un antagonismo entre el potasio y otro nutriente, es decir, que se presente una relación negativa entre el potasio y otro elemento. La cantidad de potasio que se incorpora al suelo depende de la cantidad de materia orgánica animal y vegetal que se aplica, o bien de la cantidad y naturaleza de los fertilizantes inorgánicos comerciales que se aplican.

Diagnóstico del requerimiento de fertilizante y estado nutricional

Con base en análisis de suelo

Cuando no se tienen los análisis de suelo, la recomendación de cual, como y cuanto fertilizante debe aplicarse a éste, se basa en la experiencia

con el cultivo y el tipo de suelo, pero se corre el riesgo de sobre-fertilizar con algunos nutrientes y sub-fertilizar con otros. En los sistemas agrícolas comerciales en los cuales se invierten fuertes sumas de dinero en la adquisición de fertilizantes, esta estrategia es de alto riesgo.

En la Tabla 2 se presentan algunos fertilizantes comerciales y el contenido de nutrientes en porcentaje. Cabe señalar que el fósforo se maneja en términos de pentóxido de fósforo (P_2O_5) y el potasio como óxido de potasio (K_2O), de esta manera en los fertilizantes comerciales que contienen los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio se presentan los contenidos en términos de $N-P_2O_5-K_2O$ por cada 100 kg de fertilizante.

En el caso del nopal cultivado para producción de tuna, nopalito (verdura) y penca para consumo animal y propagación vegetativa, los estudios de fertilización y nutrición son relativamente pocos en comparación con especies como el maíz, frijol, soya, papa, duraznero, guayabo, etc. En general, las dosis de fertilización aplicadas en parcelas de nopal han sido diferentes ($N-P_2O_5-K_2O$) por ejemplo: 160-0-0 (Nobel *et al.*, 1987), 20-0-0 y 40-0-0 (Mondragón y Pimienta, 1990), 30-0-0, 60-0-0, 120-0-0 y 60-20-35 (Nerd y Mizrahi, 1992) y 224-0-0 y 224-112-00 (González y Everitt, 1990).

En la Tabla 3 se presentan evidencias de efectos de la incorporación de fertilizantes en suelos donde se cultiva nopal. Se han encontrado respuestas positivas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Esas respuestas se han manifestado en términos de número de brotes vegetativos o cladodios nuevos en *Opuntia engelmannii* (Nobel *et al.*, 1987) y *O. ficus-indica* variedad Esmeralda (Mondragón y Pimienta, 1990), producción de yemas florales en *O. ficus-indica* (Nerd *et al.*, 1991; Nerd y Mizrahi, 1992), materia seca de planta en *O. engelmannii* y *O. rastrera* (Nobel *et al.*, 1987).

Nobel (1989) indicó que en nopal se obtienen altos rendimientos en suelos con concentraciones de 60 mg kg^{-1} de P, 0.3 % de N y 250 mg kg^{-1} de K^+ . González y Everitt (1990) registraron incrementos significativos en producción de materia seca en nopal (de 270 y 340 %) al adicionar N y P

al suelo. En cambio, la adición de fertilizantes fosfatados y potásicos ha inducido resultados contradictorios. Nerd y Mizrahi (1992) reportaron que la aplicación de P y K⁺ en suelos que soportan plantas de *O. ficus-indica*, de ocho años de edad, no tuvo efecto sobre la producción de yemas florales, mientras que en un experimento que contempló períodos cortos de sequía si hubo respuesta a la fertirrigación con N, P y K⁺ en términos de yemas florales (Nerd *et al.*, 1991).

Tabla 2. Contenido de nutrimentos para las plantas en algunos fertilizantes comerciales.

Fertilizante	Porcentaje de			Nota:
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Otros elementos (%)
<i>Fuentes de un Macronutriente</i>				
Amoníaco anhidro	82			
Nitrato de amonio	33-34			0.01 Zn
Ácido fosfórico		52-60		
Muriato de potasio			60-62	47 Cl, 0.1 Mg, 0.03 B
Azufre				30-99 S
Urea	46			
<i>Fuentes de dos o más Macronutrientes</i>				
Sulfato de amonio	21			23 S, 0.3 Cu, 0.1 Zn
Fosfato de amonio	11	48	0.2	1.1 Ca, 0.3 Mg, 2.2 S, 0.03 Mn, 0.02 Cu, 0.02 B
Di-Fosfato de Amonio	16-21	48-53		
Superfosfato de Calcio Simple		18-20	0.2	20 Ca, 12 S, 0.2 Mg
Superfosfato de Calcio Triple		42-50	0.4	14 Ca, 1.4 S, 0.3 Mg, 0.01Mn, 0.01 Cu, 0.01 B

En algunos suelos se obtienen respuestas significativas en rendimiento de tuna cuando se aplican diferentes dosis de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K⁺) y calcio (Ca²⁺) (Claaessens y Wessels, 1997). Valdéz-Cepeda *et al.* (2002) encontraron, mediante un experimento de fertilización con N, P, K⁺ y Ca²⁺, una respuesta positiva en *O. ficus-indica* respecto al número de cladodios por planta, así como un rendimiento mayor expresado como kg de materia fresca por planta. Esto sugiere que además de la variación de la capacidad de los suelos para satisfacer la demanda nutricional de las plantas de nopal, es importante acotar la respuesta, o sea uniformizar o estandarizar el propósito y con base en ello generar la recomendación de fertilización particular para cada suelo. Para reducir el riesgo de sobre-fertilizar con algunos nutrientes y sub-fertilizar con otros, es primordial definir las necesidades de fertilización apoyándose en la composición química de cladodios de cierta edad referencial.

Tabla 3. Respuesta del nopal a la aplicación de fertilizantes al suelo.

Nutriente fertilizante	Efectos positivos	Referencia(s)
N	Número de brotes vegetativos	Nobel <i>et al.</i> (1987), Mondragón y Pimienta (1990)
	Número de yemas florales	Nerd <i>et al.</i> (1991), Nerd y Mizrahi (1992)
	kg materia seca	Nobel <i>et al.</i> (1987)
N, P y K ⁺ (+ sequía)	Yemas florales	Nerd <i>et al.</i> (1991)
N y P	kg materia seca	González y Everitt (1990)
N, P, K ⁺ y Ca ²⁺	Rendimiento tuna	Claaessens y Wessels (1997)
	kg materia fresca Pl ⁻¹	Valdéz-Cepeda <i>et al.</i> (2002a)
	kg cladodio ⁻¹	Valdéz-Cepeda <i>et al.</i> (2002a)
	Número de cladodios	Valdéz-Cepeda <i>et al.</i> (2002a)

Con base en análisis de planta

El análisis de tejidos (hojas, pecíolos, etc.) secos de las plantas para la determinación de las concentraciones de los elementos esenciales, debe hacerse mediante procedimientos estandarizados. La parte de la planta, su edad y la etapa de desarrollo son críticas para la interpretación de los resultados. De esta manera se han definido concentraciones óptimas y niveles críticos de los nutrientes, es decir concentraciones que se relacionan con altos rendimientos de los cultivos. Esta técnica se usa también para confirmar la sintomatología de excesos e insuficiencias nutricionales, así como al análisis de tejidos frescos y sus extractos.

En relación al análisis de tejido en nopal, se han desarrollado pocos estudios sobre la concentración de los nutrientes en los cladodios (Tabla 4). En general, el N tiende a estar más concentrado en cladodios jóvenes que en maduros (Nobel, 1983). Asimismo, el nopal cultivado tiende a acumular más Ca^{2+} en sus cladodios en comparación con la mayoría de las especies cultivadas, lo cual se agudiza con la edad del tejido. También se han reportado diferencias de composición química de cladodios entre especies de nopal. Gathaara *et al.* (1989) reportaron concentraciones óptimas, basándose en materia seca, de 1.16 % de N y 0.115 % de P en *O. engelmannii* para producción de tuna. Nerd y Mizrahi (1993) señalaron que concentraciones de 0.75 a 0.97 % de N en cladodios se obtienen rendimientos mayores de tuna en *O. ficus-indica*. Por su parte, Claessens y Wessels (1997) reportaron rendimientos óptimos de tuna de *O. ficus-indica* con concentraciones de 1 % N, 0.15-0.2 % P, 1.5 % de K^+ , 1.8-2.5 % Ca^{2+} y 0.7-1.1 % Mg^{2+} en cladodios. Es evidente que el incremento de N en los cladodios induce brotación vegetativa y floral (Nerd *et al.*, 1991; Valdez-Cepeda *et al.*, 2002a) y mayor producción de tuna (Nerd y Mizrahi, 1993). También, Gathaara *et al.* (1989) reportaron que a mayores concentraciones de N en los cladodios, el crecimiento vegetativo se incrementa pero se reduce la producción de tuna en *O. engelmannii*. Las evidencias señaladas permitieron a Valdez-Cepeda *et al.* (2002a) concluir que con fines de producción de tuna, los requerimientos de nitrógeno son menores que los correspondientes a producción de nopalitos (verdura) y

cladodios para propagación y consumo animal. Asimismo, en los últimos casos es necesario ser precavidos con respecto de la fertilización nitrogenada, principalmente, ya que el nopal posee la particularidad de absorber y acumular fácilmente nitratos en sus nopalitos y cladodios y pueden alcanzar niveles tóxicos para personas y animales que los consumen.

Tabla 4. Concentración de nutrientes en cladodios de nopal con base en peso de materia seca.

Nutriente	Concentración (%)	Propósito (Producción de tuna)	Referencia
N	1.16	<i>O. engelmannii</i>	Gathaara <i>et al.</i> (1989)
	0.75-0.97	<i>O. ficus-indica</i>	Nerd y Mizrahi (1993)
	1.0	<i>O. ficus-indica</i>	Claessens y Wessels (1997)
P	0.115	<i>O. engelmannii</i>	Gathaara <i>et al.</i> (1989)
	0.15-0.2.0	<i>O. ficus-indica</i>	Nerd y Mizrahi (1993)
K ⁺	1.5	<i>O. ficus-indica</i>	Claessens y Wessels (1997)
Ca ²⁺	1.8-2.5	<i>O. ficus-indica</i>	Claessens y Wessels (1997)
Mg ²⁺	0.7-1.1	<i>O. ficus-indica</i>	Claessens y Wessels (1997)

Es conveniente considerar la posibilidad de que los requerimientos nutricionales del nopal dependen del propósito de producción y de la especie o variedad. Así, con fines de generar recomendaciones de fertilización en una parcela en particular, es conveniente hacer al menos un estudio exploratorio para identificar la dosis que permita cubrir al suelo los requerimientos de la plantación, dependiendo del propósito de producción. A continuación se presentan los resultados de un experimento de fertilización en un suelo calcáreo medianamente fértil, cuyo propósito es la propagación de cladodios de tercer piso o nivel sobre la penca madre en *O. ficus-indica* (Valdéz-Cepeda *et al.*, 2002b). Las dosis de fertilización no tuvieron diferencias significativas en las concentraciones nutricionales

expresadas en porcentaje de los nutrientes, materia fresca por planta (kg PI^{-1}), masa promedio por cladodio (kg cladodio^{-1}) y número de cladodios por planta (Número de cladodios PI^{-1}) (Tabla 5). Sin embargo, las variedades mostraron diferencias significativas en kg cladodio^{-1} (Tabla 6), incluyendo a la interacción dosis de fertilización por variedades ($P=0.05$) especialmente para esta variable. Los efectos fueron más favorables en las variedades "Villanueva" y "Copena V1", posiblemente porque son las variedades con cladodios de mayor magnitud ("Villanueva") lo cual se corrobora por el menor número de cladodios PI^{-1} (Tabla 6).

En general es evidente el efecto positivo de la fertilización, pues a mayor cantidad de la mezcla de fertilizante aplicado corresponden mayores rendimientos y número de cladodios PI^{-1} (Tabla 5). Todas las dosis de fertilización indujeron concentraciones de N dentro del rango óptimo reportado (Tabla 4), mientras que las de P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} fueron superiores a las consignadas en ese mismo sentido, las cuales se aprecian en la Tabla 4. Esto último puede asociarse a la naturaleza del suelo y a otros factores propios de la localidad. El conocimiento generado por los autores del presente documento y otros en el contexto de la nutrición en plantas de nopal, sugiere que es necesario estandarizar la técnica de análisis de tejido vegetal en nopal en lo concerniente a edad del cladodio y propósito de producción y también generar las normas nutricionales acordes a cada propósito de producción para el caso particular del nopal cultivado que permitan tener plantas y productos sanos. En el siguiente apartado se describe una experiencia de los autores cuya finalidad fue definir normas nutricionales de referencia para la producción de cladodios de nopal para su reproducción, tomando como referencia pencas de 10-12 meses de edad, cosechadas en plantas de cuatro años de edad. Para ello se usaron 12 plantas de cada una de las variedades "Villanueva", "Copena V1" y "Jalpa" de *Opuntia ficus-indica*.

Identificación de normas nutrimentales

Las técnicas para diagnosticar el estado nutricional de las plantas incluye a la de valor crítico (Bates, 1971), el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (Walworth y Sumner, 1987) y el de diagnóstico de nutriente composicional (Parent y Dafir, 1992). En el caso de la técnica de valor crítico, un valor de referencia de rendimiento es definido arbitrariamente para señalar a la población con altos rendimientos; generalmente se considera el 90 o el 95 % del rendimiento máximo y se supone que excepto el nutriente del caso, los demás están en cantidades suficientes y no excesivas. En las otras dos técnicas, la población de altos rendimientos se selecciona de una base de datos. Con respecto al sistema integrado de diagnóstico y recomendación, no se ha establecido un procedimiento formal para dividir las observaciones en dos grupos: uno de altos rendimientos y otro de bajos rendimientos. En cambio, esa partición se sustenta en la función de distribución de chi-cuadrada (X^2) de los índices de nutrición global y a la relación cúbica entre los rendimientos y las funciones de proporción de varianza acumulada en el caso de la técnica de diagnóstico de nutriente composicional (Parent y Dafir, 1992).

Tabla 5. Efecto de cuatro dosis de fertilización sobre rendimiento (R) en materia fresca por planta (kg planta⁻¹), masa promedio por cladodio (KC), número de cladodios por planta (NCP) y concentración de nutrientes en tres variedades de *O. ficus-indica*. 2001. Valdez-Cepeda *et al.*, 2002b.

DF (N-K ₂ O-P ₂ O ₅)	Ca ²⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)	K ⁺ (%)	P (%)	N (%)	NCP	R	KC	
0-0-0	μ	4.52	1.44	4.69	0.30	0.91	32.44	29.84	0.99
	SD	0.78	0.28	0.73	0.04	0.17	10.76	7.77	0.32
20-20-20	μ	4.09	1.38	4.55	0.33	0.91	29.00	27.01	0.98
	SD	0.57	0.18	0.84	0.02	0.12	11.39	9.98	0.28
40-40-40	μ	3.82	1.30	4.24	0.33	0.92	35.78	31.00	0.87
	SD	0.75	0.27	0.37	0.03	0.08	6.32	8.08	0.29
60-80-80	μ	3.97	1.37	4.23	0.33	0.92	38.67	34.35	0.93
	SD	0.55	0.21	1.22	0.03	0.11	10.95	8.57	0.24

μ= media, SD= desviación estándar, DF= dosis de fertilización.

En este contexto, se eligió la tercera técnica para realizar el presente ejercicio. Así entonces, se considera que la composición del tejido vegetal forma un arreglo (S^d) d dimensional de nutrientes, es decir el tejido está compuesto de d nutrientes y un valor de relleno:

$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d): N>0, P>0, K>0, \dots, R_d>0, N+P+K+\dots+R_d = 100]$ (1)
 donde 100 es la concentración de materia seca (%); N, P, K, ... son las proporciones de nutrientes y R_d es el valor de relleno entre 100 % y la suma de las d proporciones de nutrientes estimado mediante:

$$R_d = 100 - (N+P+K+\dots) \dots \dots \dots (2)$$

Esas proporciones se hacen invariantes en escala después de que se dividen por la media geométrica G:

$$G = [N \times P \times K \times \dots \times R_d]^{1/d+1} \dots \dots \dots (3)$$

Posteriormente se determinan los logaritmos de las proporciones centradas para cada observación:

$$V_N = \ln(N/G), V_P = \ln(P/G), V_K = \ln(K/G), \dots, V_{R_d} = \ln(R_d/G) \dots \dots \dots (4)$$

De manera que

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{R_d} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

donde V_x es la expresión del logaritmo de la proporción centrada para el nutriente X. Esta operación permite asegurar que las estimaciones se han hecho correctamente. El lector, entonces, debe tomar nota de que estas expresiones son proporciones múltiples, pues involucran a todos los nutrientes considerados y el complemento o relleno es considerado como tal.

Por definición, la suma de los componentes de un tejido es 100 % (Ecuación 1) y la suma de los logaritmos de las proporciones centradas de los d nutrientes y del relleno R_d debe ser cero (Ecuación 5).

Tabla 6. Rendimiento (R) en materia fresca por planta (kg PI^{-1}), masa promedio por cladodio (KC), número de cladodios por planta (NCP) y concentración de nutrientes en tres variedades de *O. ficus-indica*. 2001. Valdez-Cepeda *et al.*, 2002b.

Variedad		Ca ²⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)	K ⁺ (%)	P (%)	N (%)	NCP	R	KC
Copena V1	μ	4.52	1.59	5.01	0.32	1.02	36.00	33.60	0.97 ^{ab}
	SD	0.53	0.19	0.67	3.4E-02	9.64E-02	12.68	11.07	0.25
Villanueva	μ	4.30	1.33	4.341	0.333	0.910	30.58	32.08	1.08 ^a
	SD	0.66	0.19	0.980	2.9E-02	7.19E-02	7.01	5.39	0.22
Jalpa	μ	3.47	1.19	3.935	0.314	0.822	35.33	25.97	0.77 ^b
	SD	0.37	0.11	0.402	3.15E-02	9.62E-02	10.42	7.26	0.22

μ= media, SD= desviación estándar. Valores seguidos por letra diferente en cada columna son diferentes ($P = 0.05$).

Selección de la subpoblación con alto rendimiento

En cualquier muestra o población es deseable maximizar el número de casos que inequívocamente sean de la subpoblación de bajo rendimiento o insana (Walworth y Sumner, 1987). Se ha demostrado ampliamente que conforme el rendimiento es mayor, el rango de valores de proporciones bivariadas entre nutrientes es menor (Walworth y Sumner, 1987). Entonces, teóricamente una separación entre rendimientos altos y bajos debería determinarse por funciones de proporción de varianza para índices nutricionales, siguiendo un orden decreciente de rendimiento. De esta manera, la relación curvilínea entre el nutriente y el rendimiento deberá mostrar un valor de referencia entre las subpoblaciones de rendimientos bajos y altos, en un punto donde las dos subpoblaciones cambian su concavidad, es decir, su punto de inflexión. La primera derivada de la función de proporción de la varianza acumulada disminuye abajo del punto de inflexión y se incrementa sobre él. Es claro pues que la

discriminación entre las subpoblaciones se mejora sobre dicho punto. El valor de rendimiento de referencia en el punto de inflexión es el rendimiento mínimo para separar las dos subpoblaciones.

Para estimar el punto de inflexión se siguieron los siguientes pasos:

a) Se ordenaron las 36 observaciones considerando el rendimiento en orden decreciente. Cada observación consistió de las concentraciones de N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (expresadas en % con base a materia seca) y rendimiento (kg PI⁻¹) provenientes de un experimento de fertilización con una densidad de 10,000 PI ha⁻¹. El rendimiento es la masa de pencas o cladodios de 10-12 meses de edad cortadas de la planta en el cuarto nivel o estrato.

b) Se estimaron los logaritmos de las proporciones centradas de las proporciones de los nutrientes usando las Ecuaciones 2, 3 y 4.

c). Se usó el procedimiento iterativo de Cate-Nelson para dividir la población, partiendo de que la primera subpoblación de altos rendimientos consistió de las dos primeras observaciones y las restantes conformaron la de bajo rendimiento; después las tres primeras se consideraron de rendimiento alto y el resto de rendimiento bajo. El procedimiento se repitió hasta que las dos observaciones de menor rendimiento formaron un grupo y el resto el otro.

d). Para cada subpoblación obtenida según el paso anterior se estimó la varianza de los V_x . Ello permitió estimar la proporción de varianza para el componente X, $f_i(V_x)$:

$$f_i(V_x) = \text{Varianza de } V_x \text{ de } n_1 \text{ observaciones} / \text{varianza de } V_x \text{ de } n_2 \text{ observaciones} \dots \dots \dots (6)$$

donde $f_i(V_x)$ es la función de proporción entre las dos subpoblaciones en la *i*ésima iteración ($i = n_1 - 1$).

e). La función de proporción de varianza acumulada se estima considerando que es la suma de las proporciones de varianza en la *i*ésima iteración desde el principio. La función de proporción de varianza acumulada para una iteración dada es estimada como la proporción de la suma total de proporciones de varianza de todas las iteraciones para comparar la fuerza discriminadora de los V_x entre bajos y altos rendimientos sobre una escala común.

f). Entonces, la función de proporción de varianza acumulada $F_i^C(V_x)$ se relaciona con el rendimiento Y mediante un patrón cúbico:

$$F_i^C(V_x) = a + bY + cY^2 + dY^3 \dots\dots\dots(7)$$

g). Dado que el punto de inflexión es aquel donde el modelo muestra un cambio en concavidad, se estima al obtener la segunda derivada de la Ecuación 7:

$$\partial F_i^C(V_x) / \partial Y = 2cY + 3dY^2 \dots\dots\dots(8)$$

$$\partial^2 F_i^C(V_x) / \partial^2 Y = 2c + 6dY \dots\dots\dots(9)$$

Al igualar a cero se obtiene el valor del punto de inflexión $(-c/2d)$:

$$Y = -c/2d \dots\dots\dots(10)$$

El modelo cúbico en todos los casos se ajustó significativamente (Fig. 1). Sin embargo, únicamente coincidieron N y Mg^{2+} con un punto de inflexión asociado a 35 kg Pl^{-1} ; mientras que los de Ca^{2+} y R_d fueron de 40.9 y 23 kg Pl^{-1} , respectivamente. Los de P y K^+ no corresponden al rango de rendimientos observado. Por consiguiente, se tomó la decisión de señalar como rendimiento de referencia a 35 kg Pl^{-1} . De esta manera 12 observaciones (la tercera parte) corresponden a la subpoblación de altos rendimientos y 24 a la de bajos rendimientos.

Los valores medios de V_N , V_P , V_K , V_{Ca} y V_{Mg} , y sus desviaciones estándar de las 12 observaciones de rendimiento altos (Tabla 5), son consideradas las normas de la técnica de diagnóstico de nutriente composicional. En la Tabla 7 se aprecia la confirmación de la suma igual a cero, lo cual indica que los cálculos se realizaron adecuadamente. Cabe señalar la restricción de validez de esas normas específicamente para Zacatecas (de donde provienen los datos) dado el tamaño de la población (36 observaciones) y al método; sin embargo, la base de datos debe incrementarse para darle validez de mayor amplitud a las normas, las cuales seguramente se modificarán al incrementar, particularmente, el rendimiento de referencia porque precisamente lo que debe de incrementarse es la subpoblación de altos rendimientos (Parent y Dafir, 1992).

Cabe señalar que es conveniente validar las normas de la Tabla 7 con resultados experimentales (Parent y Dafir, 1992). Aunque merece mencionarse que las medias de la proporción o concentración de N asociada al grupo de observaciones con altos rendimientos (Tabla 8) y a las normas referidas en la Tabla 7 se ubican prácticamente dentro del rango referido como óptimo, mismo que se aprecia en la Tabla 4. Sin embargo, las correspondientes a los nutrientes P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Tabla 8) son sumamente mayores que las concentraciones y rangos reportados como óptimos (Tabla 4). Esta diferencia puede asociarse a que el propósito de producción es diferente y también a la naturaleza de los suelos, pues los del presente caso son de origen calcáreo, lo cual coincide con lo señalado previamente (Valdez-Cepeda *et al.*, 2002b).

Tabla 7. Normas de diagnóstico de nutriente composicional para producción de cladodios de nopal. Rendimiento de referencia = 35 kg PI^{-1} .

	Media	Desviación estándar
V_N	-1.13336	0.076567
V_P	-2.26110	0.109322
V_K	0.36715	0.232852
V_{Ca}	0.37021	0.104727
V_{Mg}	-0.72572	0.141303
V_R	3.38281	0.083342
Suma	0	

Lo anterior conlleva a considerar la relevancia que tiene el desarrollo de normas nutricionales locales y a su ulterior validación y calibración; lo cual conducirá a definir, inclusive, valores críticos de índices de nutrición global (Parent y Dafir, 1992) y a generar la posibilidad de estimar las cantidades adecuadas de fertilizante por aplicar para inducir una nutrición balanceada de las plantas de nopal cultivadas, con la finalidad de optimizar la producción de cladodios, nopalitos o tunas.

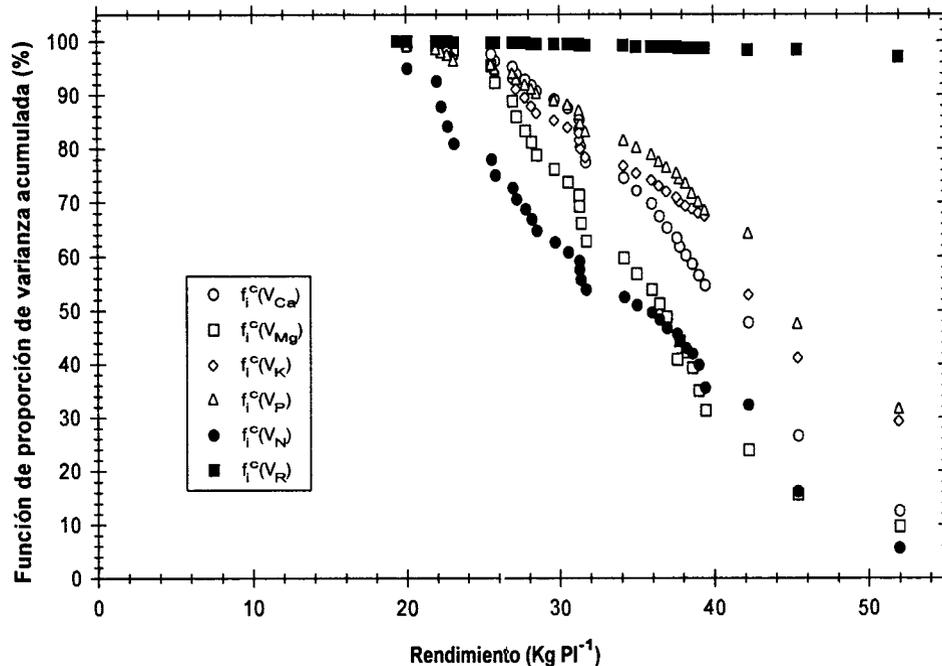


Figura 1. Relaciones entre rendimiento en nopal (peso fresco de cladodios de cuarto piso) y las funciones de proporción de varianza acumulada para estimar el punto de inflexión o división entre subpoblación de altos y bajos rendimientos.

Tabla 8. Concentraciones óptimas de nutrientes para producción de cladodios de nopal. Rendimiento de referencia = 35 kg PI⁻¹.

Nutrimento (%)	Concentración Media (%)	Desviación estándar
N	0.97191	0.110770
P	0.31458	0.033967
K ⁺	4.46999	1.047818
Ca ²⁺	4.36874	0.460529
Mg ²⁺	1.46936	0.232122

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Programa de Investigación en Fruticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, mediante el proyecto No. Clave 230308 y al Laboratorio de Análisis Agroquímicos del CIBNOR. Parte de la información presentada en el capítulo, son resultados del trabajo de tesis de Rafael Magallanes Quintanar quien obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Pecuarias por la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Bibliografía

- Bates, T.E. 1971. Factor affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112: 116-130.
- Claaessens, A.S. and A.B. Wessels. 1997. The fertilizer requirements of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) under summer rainfall conditions in South Africa. In: Inglese, P. and M.O. Brutsch. Proc. III Int. Congress on Cactus Pear and Cochenille. *Acta Horticulturae* 438: 83-95.
- Gathaara, G. N., P. Felker and M. Land. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus application on *Opuntia engelmannii* tissue N concentrations, biomass production and fruit yield. *J. Arid Envir.* 16: 337-347.
- Gonzalez, C.L. and J.H. Everitt. 1990. Fertilizer effects on the quality and production of prickly pear cactus and its wildlife value. In: Proc. First Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas. pp. 3-13.
- Hanton, E.A. 1992. Soils, Fertilizers and Plant Nutrition. Paper RF-AA003, Florida Cooperative Extension Service. University of Florida. Gainesville, FL, USA. 11 p.

- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and growth. *Amer. J. Bot.* 70(8): 1244-1253.
- Nobel, P.S. 1989. A nutrient index quantifying productivity of agaves and cacti. *J. Appl. Ecol.* 26: 635-645.
- Mondragón, C. y E. Pimienta. 1990. Corrección del amarillamiento del nopal tunero: una posible deficiencia nutrimental. In: memorias del IV Congreso Nacional y II Congreso Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Zacatecas, Zac., México. pp. 26-27.
- Nobel, P.S., Ch. E. Russeli, P. Felker, J. Galo and E. Acuña. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agron. J.* 79(3): 550-555.
- Nerd, A., A. Karady and Y. Mizrahi. 1991. Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. *Hort Science* 26 (5): 527-529.
- Nerd, A. and Y. Mizrahi. 1992. Effects of fertilization on prickly pear production in Israel. In: Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas. pp. 1-4.
- Parent, L.E. and M. Dafir. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 239-242.
- Valdez-Cepeda, R.D., F. Blanco-Macías, R.R. Ruiz-Garduño, M. Márquez-Madrid y F.J. Macías-Rodríguez. 2002a. Fertilización-nutrición en nopal. Informe de Investigación PUIFRU 230308 (2001). Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México. 3 p.
- Valdez-Cepeda, R.D., F. Blanco-Macías, B. Murillo-Amador, F., J. L. García-Hernández, R.R. Ruiz-Garduño, M. Márquez-Madrid, J.C. Ledesma-Mares y F.J. Macías-Rodríguez. 2002b. Fertilización-nutrición en nopal. Informe de Investigación PUIFRU 230308 (2002). Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zacatecas. México. 12 p.
- Walworth, J.L. and M.E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6: 149-188.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 137-175.

Capítulo 8

PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL NOPAL

José Luis García-Hernández, Ricardo D. Valdez-Cepeda

Resumen

El nopal establecido en sistemas de producción intensiva, enfrenta serios problemas generados por el incremento en los niveles de incidencia de plagas y patógenos que parasitan esta especie. Los estudios más recientes indican que los problemas de plagas que este cultivo enfrenta son distintos en cada región y no tan serios todavía como lo pueden ser otros relacionados con aspectos de la producción y/o comercialización. Ello se debe, entre otras cosas, a que esta planta conserva muchas de sus características de rusticidad. Sin embargo, en algunas entidades de México, este cultivo ha estado sometido en los últimos años a procesos de mejoramiento genético y producción intensiva, cuyo manejo - independientemente del aumento del rendimiento y/o productividad- en ocasiones propicia mayores niveles de infestación de ciertos organismos nocivos. La plaga más conocida en nopal son las cochinillas (*Dactylopius spp*); este nombre se le da a un grupo de insectos hemípteros de la familia Dactylopiidae que no siempre son considerados plaga, ya que son aprovechados en beneficio del hombre con la obtención de pigmentos de gran calidad (grana). Sin embargo, cuando no se contempla la producción de grana, la presencia de las cochinillas puede convertirse en un serio problema. La especie *D. coccus* es la preferida para la obtención del pigmento y se considera de menor peligro como plaga. Mientras que otras especies de cochinilla como *D. indicus* y *D. opuntiae* son tan agresivas que se utilizan como agentes de control biológico donde el nopal

es indeseable. El mayor número de las plagas comunes en nopal pertenecen al orden Coleóptera, por ejemplo, el picudo barrenador (*Cactophagus spinolae* Gyll), el picudo de las espinas (*Cylindrocopturus biradiatus* Champs) y el gusano blanco (*Lanífera cyclades* Druce). Aparte de la cochinilla, otros hemípteros que parasitan el nopal son la chinche gris (*Chelinidea tabulata* Burm) y la chinche roja (*Hesperolabops gelastops* Kirkaley). Además de lepidópteros como el gusano cebrá (*Olycella nephelepsa* Dyar) y la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum* Berg). Esta última representa una grave amenaza para el nopal y para los ecosistemas que habita en México. *C. cactorum* ha demostrado su voracidad en los países donde ha sido introducida y actualmente se encuentra presente en los estados de Florida y Texas en Estados Unidos, por lo que se teme su entrada a México en poco tiempo. Debido a ello, diversas organizaciones gubernamentales se encuentran realizando acciones fitosanitarias para evitar la distribución de esta especie al interior del país. A pesar de que las propiedades alimenticias de nopal son cada vez más reconocidas, la propia planta es considerada una plaga o maleza **exótica** muy severa en algunos países de África y Oceanía, por lo que el origen de la distribución de muchas de sus plagas se debe a las importaciones de agentes de control biológico, como es el caso de *C. cactorum*. Es necesario que más organismos gubernamentales y no gubernamentales se involucren en el estudio, no solo de *C. cactorum*, sino de todos aquellos organismos que amenazan esta planta, con la finalidad de obtener y dar a conocer todas las alternativas de solución para reducir mayores daños de los que ya se han presentado y de esa manera, evitar que las plagas sean la causa limitante en la productividad de esta milenaria planta.

Palabras clave: *nopal, Opuntia, plagas, enfermedades, manejo integrado de plagas.*

Abstract

When nopal or prickly pear cactus is produced under intensive agriculture, farmers face serious problems generated by increases in pests and

diseases. The most recent studies suggest that the problems affecting this crop are different in each region, but more severe problems occur in production and commercial activities. That is primarily a consequence of the retention of the wild characteristics of this plant. Nevertheless, in some states of Mexico, this crop has been subjected to plant breeding and intensive production practices. That kind of management, independent of improving yields, can generate high levels of pest infestation. The most well known pests of prickly pear are some hemiptera insects (*Dactylopius* spp.), belonging to the Dactylopiidae. This insect, cochineal insect, is not always regarded as a pest. Natural and high quality pigments are obtained from them. When pigment production is not the objective, cochineal becomes a serious problem. The preferred cochineal species *D. coccus* in the pigment industry is less dangerous than *D. indicus* and *D. opuntiae*, which are so aggressive that they are used as biological controls when prickly pear becomes an invasive weed. Most of the common pests in prickly pear are Coleóptera, including *Cactophagus spinolae* Gyll, *Lanífera cyclades* Druce, and *Cylindrocopturus biradiatus* Champs. As well as Hemiptera, including *Chelinidea tabulate* Burm and *Hesperolabops gelastops* Kirkaley, and Lepidoptera, including *Olycella nephelepsa* Dyar and *Cactoblastis cactorum*. *C. cactorum* is a major threat to Mexican prickly pear farming and its natural habitats. It has demonstrated an enormous voracity in countries where it has been introduced, including Florida and Texas. It is believed its introduction to Mexico is imminent. Some organizations have programs to prevent entrance of this alien species into Mexican territory. Although its characteristics are well recognized, prickly pear is regarded as a serious, invasive weed in many countries where it has been imported, especially in Africa and Oceania. The distribution of many prickly pear pests is related to the introduction of biological control agents, such as is the case of *C. cactorum*. It is necessary that more organizations; both governmental and private, be involved in research about this and other pests and to disseminate necessary information to farmers. That information should include the alternatives to avoid more severe damage and to limit parasite impacts on prickly pear production.

Key words: *prickly pear cactus, nopales, Opuntia, pest, diseases, integrated pest management.*

Introducción

El nopal, nombre común de las plantas pertenecientes al género *Opuntia*, familia Cactaceae, con más de 100 especies y subespecies reportadas en México, es una planta de gran importancia en la historia de este país, incluso se considera un icono representativo de la nacionalidad. Su fruto (tuna) y su follaje o tallos (pencas) han sido utilizados como alimento humano y para ganado, así como medicina durante siglos. En México se cuenta actualmente con alrededor de 360,000 ha de nopal cultivado (SAGAR, 1995-1998), siendo la mayor parte de esta superficie ocupada por la especie *O. ficus-indica*, que por sus características morfológicas y fisiológicas ha sido la más explotada, estudiada y sometida a prácticas de selección para mejoramiento (Yang *et al.*, 2001). Dado que solo en México las poblaciones silvestres de *Opuntia* ocupan cerca de 3,000,000 de hectáreas, se considera que esta planta aun conserva en muchos sentidos la misma **rusticidad** que en tiempos ancestrales, por lo que al igual que otras especies que habitan ecosistemas poco perturbados, las plantas de *Opuntia* conviven en forma natural con otros organismos, entre los que se encuentran insectos, mamíferos, herbívoros, aves e incluso microorganismos como hongos y bacterias.

Bajo tales condiciones, los diversos organismos que aprovechan esta planta no se consideran plagas, sino cohabitantes de un mismo medio que ha estado envuelto en el mismo proceso evolutivo; el cual, ha permitido que todos en conjunto hayan sobrevivido hasta los tiempos actuales. Sin embargo, al incorporarse el nopal a la dinámica de prácticas de mejoramiento genético o la producción comercial intensiva, se le expone a un cambio drástico del ambiente en el que ha conservado su rusticidad. En esta dinámica, la planta puede expresar el máximo potencial de rendimiento y aumentar la rentabilidad, pero por otro lado, se perturba la convivencia con otros organismos que pueden entonces convertirse en plagas o enfermedades. Esta es una historia que aún antes de su inicio se

podía predecir, ya que ha ocurrido con todas las especies vegetales de importancia económica para el hombre.

Con el continuo aumento de la población, el hombre ha tenido que competir por los alimentos y demás recursos de la naturaleza. En esa lucha o competencia ha sido necesario cambiar drásticamente los ambientes y en ocasiones, ha sido necesario deshacerse de los competidores, o bien relegarlos, desplazarlos o confinarlos en áreas muy específicas. Sin embargo, dentro de tales competidores existen especies muy hábiles como lo son los insectos. Estos últimos representan la forma de vida animal más abundante sobre la tierra (Davidson y Lyon, 1992), lo cual les ha permitido existir en casi cualquier lugar del mundo cohabitando y coevolucionando en los ambientes más diversos, adaptándose aún a condiciones sumamente adversas que los hacen parecer destinados a permanecer en prácticamente cualquier lugar del mundo sin que el hombre pueda evitarlo.

Las prácticas agrícolas modernas aumentan la intensidad del desarrollo de ciertos insectos y otros organismos que se convierten en plagas y es entonces cuando el hombre tiene que emplear estrategias y herramientas diversas para controlar a tales individuos. A través del tiempo se ha demostrado que no es el hombre o sus herramientas las que son capaces de controlar la abundancia de los insectos; en lugar de ello, son las mismas relaciones tróficas entre diversos organismos los que impiden el dominio de tal o cual especie de insecto (De Bach, 1987). El hombre; sin embargo, está obligado a convivir con estos organismos, tratando de tolerar su presencia hasta un punto en el que la convivencia no afecte significativamente la producción del alimento y demás bienes por los cuales compite con las plagas.

Algunas especies de nopal son consideradas plagas exóticas en algunos países, principalmente en África y Oceanía. En estos países, el nopal no es una especie nativa y cuando fue introducida (generalmente con fines de producción de grana) se diseminó en forma indiscriminada. Posteriormente se inició una distribución inducida de enemigos naturales del nopal en

tales países (CONABIO, 2000). Se tienen reportes de agentes de control biológico que han podido controlar la distribución no deseada de nopal, pero también se han convertido en plagas indeseables cuando la finalidad es producir nopal para consumo (Githure *et al.*, 1999). Por supuesto, no solamente especies de insectos son plagas reales o potenciales del nopal; de igual manera esta planta es fuente de alimento para diversas especies de ácaros, aves y mamíferos herbívoros como la rata nopalera (*Neotoma spp*) y la tuza (*Pappogeomys spp*); **nematodos** como *Meloydogines spp*, así como microorganismos hongos y bacterias que causan enfermedades en esta planta (Rodríguez, 1999).

En este capítulo se presentan las principales plagas y enfermedades del nopal presentes en México, así como aquellas que se consideran una amenaza para los productores de nopal. Es importante señalar que la investigación con relación al manejo integrado de plagas de nopal es apenas incipiente. A la fecha, se considera a esta planta como una especie que se “cultiva por si misma” sin necesidad de realizar inversiones de insumos importantes. Sin embargo, basándose en las experiencias de manejo conocidas, se describe la situación actual con respecto al manejo de las plagas y se presentan recomendaciones prácticas para evitar la proliferación y/o daño económico en las plantaciones de nopal.

Manejo integrado de plagas en nopal

El manejo integrado de plagas (MIP) es una filosofía que tuvo sus inicios entre los agrónomos de Estados Unidos alrededor de 1920. Sin embargo, este tipo de manejo, que se basa en principios ecológicos de las interacciones dentro del ecosistema y factores de regulación de las poblaciones (Martínez-Carrillo *et al.*, 1998) fue opacado drásticamente por el desarrollo y aparente eficiencia de los insecticidas organoclorados a mediados del siglo XX. El descubrimiento de tales insecticidas; entre los que se encuentran el DDT y el Toxafeno, dio origen a la industria de los plaguicidas, uno de los sistemas industriales con mayor éxito en la historia de la humanidad y que han tenido un gran auge durante toda la segunda

mitad del siglo pasado y que aún en la actualidad continúan marcando los lineamientos básicos del control de plagas agrícolas.

Sin embargo, después de los primeros años del desarrollo de plaguicidas, numerosos investigadores han encontrado y publicado las repercusiones negativas de esos productos en la salud humana y en los recursos naturales, por lo que desde los años setentas y hasta la fecha, se ha incrementado continuamente el deseo y la demanda de productos libres de plaguicidas. Ello ha permitido que la agricultura se realice de diversas formas en torno al manejo de plagas: en primera instancia existen sistemas productivos que basan el manejo en insecticidas químicos (llamados convencionales), los cuales no incorporan ningún otro tipo de estrategias y por otro lado, se han desarrollado sistemas de producción orgánica, los cuales basan el manejo exclusivamente en productos y extractos completamente naturales, libres de químicos. Estos dos sistemas son opuestos y extremos entre sí. Ahora bien, la filosofía del MIP, no significa ninguno de estos extremos, más bien es una combinación de ambos, en la que por lógica, se prefiere el control natural sobre el químico, dejando los productos convencionales para casos de infestaciones extremas y que no sean posibles de controlar con otras herramientas. Van den Bosch y Flint (1981) definen el MIP como una estrategia de control de plagas basada ecológicamente, que depende en gran medida de los factores naturales de mortalidad y de clima y que busca tácticas de control que perturben lo menos posible a dichos factores. El MIP basa su éxito en la diversidad de cultivos, que propicia una mayor actividad de **insectos entomófagos**, en la liberación de enemigos naturales cultivados en laboratorio, en extractos botánicos repelentes (el mismo nopal ha sido utilizado en otros cultivos como barrera o como extracto repeiente), en variedades resistentes, en manejo de insectos estériles, en control **etológico**, control cultural y la aplicación de insecticidas químicos (Martínez-Carrillo *et al.*, 1989).

A pesar de que el hombre ha estado obligado a convivir y competir con las plagas durante siglos, el MIP es un concepto nuevo en el que únicamente se han estudiado los cultivos económicamente más importantes en el

mundo, por ejemplo: algodón, soya, maíz y otras gramíneas, frutales, hortalizas e incluso agaves; sin embargo, algunos cultivos que no son tan redituables o no están tan extendidos en sus explotaciones comerciales, como lo es el nopal, no han sido suficientemente estudiados en este aspecto, es por ello que no se conocen aún cuadros básicos de manejo de plagas de nopal. De hecho, es un serio problema que prácticamente ningún insecticida comercial convencional se encuentra registrado para ser utilizado en este cultivo; legalmente no existen justificaciones para utilizar plaguicidas químicos en nopal, excepto los que están registrados como productos orgánicos debido a que estos no tienen ninguna restricción. Se sabe que esta situación obedece a que no se han realizado las validaciones técnicas necesarias para los registros, debido a que a las compañías fabricantes y distribuidoras no les interesa este cultivo como mercado. Por tales razones, se recomienda antes que otra cosa utilizar estrategias de control natural y biológico y solamente en casos en que las poblaciones de las plagas del nopal se incrementen en forma incontrolable se debe elegir el uso de insecticidas químicos. La falta de registros de insecticidas en nopal nos obliga a observar toda clase de precauciones en su uso y basar la decisión de un producto en la recomendación impresa en cultivos similares (por ejemplo agaves) y en plagas similares (ver género, familia y orden de cada plaga), realizando las aplicaciones en las dosis más bajas que señalen las etiquetas de los productos.

Plagas de insectos

Los insectos representan la forma de vida más abundante sobre la tierra (Davidson y Lyon, 1992). Viven prácticamente en todos los **hábitats** existentes desde hace más de doscientos millones de años. Esto les ha permitido adquirir una gran capacidad de adaptación y por lo tanto gran habilidad para competir por los recursos de la naturaleza. Debido a ello, en la mayoría de los cultivos importantes para el hombre son los insectos los organismos plaga más comunes y más difíciles de controlar. A continuación se presentan los insectos (phylum Artrópoda: clase Insecta) plaga más frecuentemente presentes en la producción de nopal, así como una serie de recomendaciones para su manejo y control. La mayor parte

de la información ha sido obtenida de Granados y Castañeda, (1991), Rodríguez *et al.* (1999) y Falconi-Borja (2001).

Picudo barrenador del nopal (*Cactophagus spinolae* Gyll) (Coleóptera: Curculionidae)

Importancia. Este insecto afecta la producción de goma o **mucílago** de las pencas. Este mucílago se utiliza para adherir o pegar las arcillas frágiles de los adobes, pequeños terrones, fragmentos de cerámica, pigmentos de pintura mural, se ha utilizado desde hace cientos de años para consolidar estucos coloniales de cal y arena, así como pegar fragmentos de concha, pergamino y papel utilizados en la artesanía de México y otros países de centro y Sudamérica (Granados y Castañeda, 1991; Falconi-Borja, 2001).

Hábitos y descripción. Como todos los coleópteros, este insecto presenta un ciclo biológico con **metamorfosis completa** (la cual es anual) en cuatro etapas de desarrollo: huevecillo, **larva**, **pupa** y adulto. Los insectos adultos emergen de los tallos durante la primavera y el verano alimentándose de los bordes de las hojas tiernas de los nopales. Los adultos son de color negro con dos manchas rojas en la parte anterior del **protórax** y dos bandas anaranjadas sobre los **élitros**, o sea el par de alas frontales engrosadas, con apariencia de cuero duro y rasposo que cubre en forma de estuche al otro par de alas delgadas membranosas adaptadas para el vuelo. Miden alrededor de 2.5 cm de largo. Las hembras ponen sus huevecillos sobre la superficie de los troncos protegidos por las pencas, de los que eclosionan larvas blancas algo curvadas y sin patas; llegan a medir de 25 a 31 mm de largo, de cabeza color café. Posee grandes **mandíbulas** masticadoras utilizadas para perforar, cortar y barrenar los tallos para alimentarse internamente del tejido parenquimatoso durante la mayor parte de la primavera, produciendo externamente sobre la superficie de los tallos acumulaciones gomosas sólidas en forma de grumos fijos que cubren y ocultan los orificios de entrada a los túneles, localizados específicamente en las uniones de las pencas del tallo. Se pueden encontrar generalmente de 1 a 5 grumos gomosos por planta, son

de tamaño y forma variable, llegando a pesar desde 0.5 a 65 g (Granados y Castañeda, 1991; Falconi-Borja, 2001).

Daños. Este organismo se alimenta comúnmente de brotes tiernos de nopal. Las larvas devoran los tejidos internos de las pencas y forman una serie de galerías en los ejes principales. En las partes afectadas del nopal se observa una acumulación de secreciones gomosas que después se hacen de color café amarillento y finalmente negro. Esta plaga provoca que disminuya la producción y en casos extremos, la muerte de la planta.

Manejo. Lo más recomendable es prevenir la infestación de esta plaga, manteniendo la plantación libre de maleza, revisar los primeros síntomas del picudo barrenador en el otoño y cortar las pencas dañadas antes que la larva entre a la **cabeza**.

a) Control químico: las aplicaciones de insecticidas con el fin de sacar al picudo barrenador de su galería son infructuosas. No hay producto químico que controle al barrenador después de que éste entra a la cabeza.

b) Control cultural: el método más efectivo para controlarlo es la eliminación directa, el desarrollo del insecto es relativamente lento. Las larvas de 2.5 a 3 cm de largo pueden extraerse con un cuchillo, cuidando que la herida realizada en la penca no se infecte.

Picudo de las espinas (*Cylindrocopturus biradiatus* Champs) (Coleóptera: Curculionidae)

Importancia. Generalmente no es de importancia económica.

Hábitos y descripción. La forma adulta de este organismo aparece durante los meses de abril y mayo; las hembras depositan sus huevecillos en la base de las espinas del nopal y entre junio y julio nacen las larvas, que comienzan a alimentarse de los tejidos de las plantas y originan un escurrimiento que da lugar a una especie de escamas y cintas de

secreciones que pronto se endurecen y ocasionan un secamiento en la base de las espinas.

Daños. Las larvas al nacer, comienzan a alimentarse dando lugar a un escurrimiento que forma escamas y cintas de secreciones que pronto endurecen y producen un secamiento en la base de las espinas. Los adultos se alimentan de las pencas tiernas, produciendo pequeños agujeritos de 1 a 1.5 mm de diámetro por 1.5 mm de profundidad aproximadamente, que se encuentran sobre la superficie; esto impide el desarrollo de frutos y brotes vegetativos en los cladodios atacados.

Manejo. Para su control se recomienda destruir totalmente las pencas afectadas; también puede controlarse químicamente con productos a base de azinfos metil (Gusación 80 PH®) y malation (Malation 20 CE®).

Escarabajo de los cactus (*Moneilema semipunctatum* LeConte, *M. variolaris* Thomson) (Coleóptera: Cerambycidae)

Importancia. De acuerdo con Kass (2001) se han reportado seis especies de *Moneilema* hospederos del género *Opuntia*. Este tipo de insectos no presenta tasas reproductivas muy altas, por lo que en general no provocan daños muy serios en nopal cultivado, siendo mayor en *Opuntias* u otro tipo de cactáceas en peligro de extinción (Granados y Castañeda, 1991; Rodríguez. *et al.*, 1999; Falconi-Borja, 2001).

Hábitos y descripción. Con metamorfosis completa, como todos los curculiónidos, este insecto provoca el mayor daño en estado larvario.

Daños. Las larvas perforan o barrenan los tallos de los nopales, lo que en muchas ocasiones causa la caída de los mismos o incluso la muerte de la planta. En casos en que esto no ocurre, produce un debilitamiento general muy notable.

Manejo. Se recomienda aplicar productos a base de *Beauveria bassiana*, por ejemplo Naturalis®, en dosis de 10^9 UFC mL⁻¹. Dado que es una plaga

de importancia secundaria, este insecto se controla con aplicaciones de insecticidas dirigidos a plagas de mayor importancia.

Gusano blanco del nopal (*Lanífera cyclades* Druce) (Coleóptera: Curculionidae)

Importancia. Se presenta en la altiplanicie central de México y en ocasiones de alta temperatura y humedad los daños pueden ser considerables.

Hábitos y descripción. Es posible identificarlo porque sobre las pencas del nopal aparecen manchas de tejido de color grisáceo, que son huevecillos depositados por una palomilla, en grupos que van de 30 a 60, ordenados de manera regular. Las larvas son de color blanco cristal y miden de 2 a 3 cm de largo; se les puede encontrar en colonias de 25 a 30 gusanos o más. El adulto es una mariposita que tiene una expansión alar de 4.5 cm aproximadamente. A las anteriores de color amarillo; cerca del ángulo humeral hay una raya negra ancha que atraviesa las alas, próxima a ésta hay otra mancha circular negra, en la mayoría de los casos con el centro claro; le sigue una mancha negra cuya forma se acerca a la de un rectángulo con una línea longitudinal blanca en el centro. Las alas posteriores son de color blanco, presentando rayas transversales color oscuro. Deposita sus huevecillos sobre las pencas en grupos de 30 a 80, que cuando quedan de manera regular están sobrepuestos como las tejas. Los adultos emergen en los meses de julio a octubre (Granados y Castañeda, 1991; Falconi-Borja, 2001).

Daño. Puede originar la caída de los brazos y hasta la muerte de las plantas, pero por lo general, esta plaga se localiza en la parte media de la planta, hacia el tronco de la misma. Las larvas al estar activas, hacen agujeros en las pencas formando galerías que penetran hasta la médula, destruyendo los tejidos leñosos. El excremento de las larvas sale a través de los agujeros que ellas mismas hacen en las pencas y caen al suelo formando montoncitos como de aserrín, contribuyendo a detectar fácilmente a la plaga, al observarlos bajo la planta dañada.

Manejo. Los adultos se controlan aplicando azinfos metil (Gusación M®) a razón de 1.0 a 1.5 centímetros cúbicos por litro de agua y la aplicación debe ser dirigida, es decir, por inyección a las pencas de las plantas afectadas. La época de aplicación debe ser cuando se detecten los montoncitos de excremento en el suelo, además, es recomendable aplicar insecticida al suelo para evitar que la plaga se propague a las plantas vecinas. Para esto, alrededor de la planta se abre un surco pequeño y se aplica el insecticida granulado Curater-5 y después se cubre con tierra. La época de aplicación debe ser antes de las lluvias para que con la humedad se active este insecticida y destruya las plagas que se puedan encontrar en el suelo y que se localizan próximas al tronco de la planta (Granados y Castañeda, 1991; Rodríguez. *et al.*, 1999; Falconi-Borja, 2001).

Gusano de alambre o Diabrotica (*Dyabrotica balteata* LeC, *D. virgifera* LeC, *D. undecimpunctata* Mannerheim, *D. longicornis barberi* Smith & Lawrence) (Coleóptera: Chrysomelidae)

Importancia. Estos gusanos devoran y royan las raíces y otras partes subterráneas de la planta, con frecuencia producen daños muy graves. La invasión por este tipo de gusano se reconoce debido a la marchitez que presenta la planta en su parte aérea. Las larvas de estas especies forman parte del complejo de **especies rizófagas** cuyos daños ocasionan pérdidas hasta del 51% de la producción en algunas áreas del país. Predominan distintas especies en cada región.

Hábitos y descripción. (*D. balteata*). Los huevecillos son ovales, miden 0.6 mm, de color blanco recién ovipositados y amarillos posteriormente; son depositados en el suelo, cerca de las raíces. La incubación dura de 5 a 10 días. Las larvas recién emergidas son blancas con la cabeza café claro, cuando maduran son de color cremoso, con la cabeza café y miden de 6 a 10 mm de largo en completo desarrollo. La **pupación** ocurre en celdas de tierra en el suelo y dura de 6 a 10 días. Los adultos son unos escarabajos con élitros de color verde con cuatro bandas amarillas transversales que miden de 4 a 6 mm de largo. Tienen antenas filiformes largas. El adulto

puede vivir de 60 a 70 días. Las hembras llegan a poner 800 huevecillos en su vida, después de un período de 7 a 15 días de **preoviposición**. Los adultos se alimentan de hojas, flores y frutos de maíz y muy diversas plantas, pasan de 3 a 4 instares larvales, en un periodo de 11 a 25 días. Las larvas se alimentan de las raíces de las plantas (Granados y Castañeda, 1991; Rodríguez. *et al.*, 1999).

Daños. Esta plaga en etapa de larva se alimenta de la raíz, debilitan los sistemas radicales y la planta puede ser derribada por los vientos fuertes. Se reconoce el ataque de esta plaga rizófaga por el decaimiento que sufre la planta en su parte aérea, en especial en las pencas tiernas. La plaga puede estar en el abono orgánico como huevecillo.

Manejo. Debido a que esta plaga es más conocida se pueden realizar mayores recomendaciones para su control.

a) Control natural: algunos enemigos naturales ayudan a disminuir la población de diabrotica como son **tachinidos**, hormigas, arañas, roedores, sin embargo su acción es muy limitada. Los suelos arenosos de temporal dificultan la dispersión de larvas causando mortalidad por fricción. Suelos ricos en materia orgánica con alta humedad, no favorecen el desarrollo de estos insectos.

b) Control cultural: la plaga puede estar en el abono orgánico en forma de huevecillos por lo tanto es conveniente tratar el abono antes de aplicarlo.

c) Control químico: el control para larvas en el suelo, generalmente se lleva a cabo considerando el complejo de plagas como son gallina ciega, gusano cebrá y diabrotica principalmente. Algunos productos recomendados son terbufos (Counter 5 % G®), carbofuran (Furadan 5 G Ultra®) y etoprofos (Mocap 15G®). El control para adultos en plantas maduras se emplea con poca frecuencia.

d) Muestreo: en el caso de insectos en el suelo se considera el mismo tipo de muestreo para gallina ciega, es decir, muestrear el suelo antes de la

siembra, tomando muestras de suelo de 30 cm² de superficie por 30 cm de profundidad, 10 muestreos por sitio, contando el número de larvas por muestra.

Recomendaciones: si la población encontrada alcanza el nivel crítico que es de una larva en promedio por muestra, será necesario hacer una aplicación.

Gallina ciega (*Phyllophaga* spp) (Coleóptera: Scarabaeidae).

Importancia. Es una de las plagas más destructivas del nopal. Se conoce como gallina ciega a las larvas de diversas especies de escarábidos de los géneros *Phyllophaga*, *Macroductylus*, *Eutheola*, *Cyclocephala*, *Anomalía* y otras.

Hábitos y descripción. Se considera que el género *Phyllophaga* es el que tiene una mayor distribución. Los huevecillos son depositados en suelos húmedos cerca de las raíces de la planta y la incubación dura aproximadamente 15 días. Las larvas son del tipo **escarabiforme** con tendencia a enrollarse, son de color blanco a crema semitransparente, con la cabeza café o rojiza, con mandíbulas fuertes y patas torácicas bien desarrolladas; miden de 5 a 7 mm de largo. La gallina ciega pasa por tres instares larvarios, los dos primeros se alimentan de materia orgánica y de raíces tiernas durante 45 días; el tercer instar dura de 45 a 60 días y en este período es cuando la plaga causa mayor daño a la planta en su sistema radicular. Después de la cosecha, las larvas se internan más profundamente en el suelo donde la prepupa forma una celda en el suelo. El desarrollo de la pupa tiene una duración de 15 a 21 días. Los insectos adultos son conocidos como "mayates de junio" y son escarabajos de color café que varían de amarillento a rojizo o grisáceo; miden de 1 a 3 cm según la especie. Los adultos son activos durante la noche y es cuando realizan la **cópula** y la **oviposición** (Granados y Castañeda, 1991; Falconi-Borja, 2001).

Daños. Las gallinas ciegas jóvenes se alimentan de raíces y partes subterráneas de la planta hasta el principio del otoño; en la primavera los adultos se vuelven activos al anochecer, suben a las partes altas de la planta, donde se alimentan y aparean. Es una de las plagas más destructivas del nopal. El principal daño lo ocasionan las larvas al destruir las raíces, lo que trae como consecuencia un mal desarrollo de la planta, marchitamiento, incluso hasta la muerte. Estos daños pueden concentrarse en ciertos sectores dentro del terreno.

Manejo. Esta plaga también es muy conocida por atacar otras especies muy importantes como el maíz, por lo que se ha desarrollado mayor conocimiento relacionado con su control.

a) Control biológico: se sabe que la avispa *Campsomeris dorsata* parasita las larvas de la gallina ciega. Asimismo, hay bacterias como *Bacillus papilliae* y *B. lentimorbus* que reducen la población de larvas de la plaga cuando son aplicados al suelo.

b) Control químico: el control químico de la gallina ciega es del tipo preventivo y consiste en la aplicación de insecticidas al suelo. Sin embargo, en infestaciones tardías se sugiere efectuar una segunda aplicación de insecticida incorporado en el suelo. La decisión de aplicar insecticidas se debe dar cuando el terreno ha presentado infestaciones severas en años anteriores, los productos más recomendados son terbufos (Counter 5 % G®), carbofuran (Furadan 5 G Ultra®) y etoprofos (Mocap 15G®).

Muestreos: para detectar la presencia de larvas de la gallina ciega, se debe muestrear el terreno tomando una muestra representativa del suelo por cada hectárea de superficie. Cada muestra formada por 10 sitios de la hectárea, se debe tomar hasta 30 cm de profundidad. La muestra de suelo (de aproximadamente 5 kg de peso) en cada sitio de la hectárea será tamizado para observar el número de larvas existentes. El umbral económico para esta plaga quedaría establecido al encontrar un número de cuatro larvas grandes en un determinado sitio de la hectárea.

Picudo del algodnero (*Anthonomus grandis grandis* Boheman)
(Coleóptera: Curculionidae)

Importancia. En el cultivo de nopal no tiene importancia económica, solo la habita en condiciones muy extremas como hospedero alternante. Sin embargo, el hospedar temporalmente a esta plaga puede tener graves repercusiones en el cultivo del algodnero, donde se han estimado pérdidas multimillonarias por este insecto (Davidson y Lyon, 1992).

Hábitos y descripción. El picudo del algodnero presenta muchas características similares a los demás miembros de la familia curculionidae, de color café grisáceo oscuro.

Daños. No ocasiona daños en nopal.

Manejo. Al igual que otros miembros de la familia curculionidae, se ha encontrado cierta susceptibilidad al hongo *Beauveria bassiana*, por lo que se puede aplicar el producto Naturalis®. Se debe evitar la presencia de esta plaga cuando se encuentra cerca de una plantación de algodnero. En este caso se recomienda utilizar productos a base de azinfos metil (Gusación®), malatión y endosulfan (Thiodan 35CE®, Thionex 35CE®).

Cochinilla o grana (*Dactylopius indicus* Green, *D. opuntiae* Cockerell, *D. coccus* Costa) (Hemiptera: Dactylopiidae).

Importancia. Quizás la plaga más conocida del nopal. Cochinilla es un nombre común para un número de especies de la familia Dactylopiidae, estos insectos se caracterizan porque producen una sustancia colorante de alta calidad con propiedades para ser usada en la industria textil, alimenticia y farmacéutica. La especie *D. coccus* es reconocida por producir la mejor calidad de este colorante llamado grana, sin embargo, todas las especies son **parásitos** de nopal, siendo algunas de ellas utilizadas para el control biológico de nopal cuando este se convierte en maleza invasora (Githure *et al.*, 1999). La especie más común en México es *D. indicus*, la cual ocasiona graves pérdidas y es difícil de controlar (Davidson y Lyon, 1992).

Hábitos y descripción. Dado que *D. indicus* es la cochinilla más destructiva y más ampliamente distribuida, esta descripción se refiere a tal especie. Durante el invierno, esta plaga tiene poca actividad pero desde que la temperatura comienza a ascender, inicia la actividad y la reproducción de esta plaga se hace notable, la cual ataca por igual a las pencas y a los frutos. Se caracteriza por su aspecto de pequeñas motitas de algodón, que al ser aplastadas, muestran una coloración roja intensa en su interior; si el ataque a la planta es severo, puede originar que el fruto se caiga antes o después de que madure (Davidson y Lyon, 1992).

Daños. Los daños que ocasiona este organismo se localizan en la parte basal de las espinas del nopal. Los ataques severos de este organismo pueden causar la caída del fruto, el debilitamiento de la planta y finalmente la muerte.

Manejo. Esta plaga puede ser tratada de la siguiente manera:

a) control biológico: se recomienda realizar liberaciones del insecto conocido como león de los áfidos (*Crhysopa carnea*, *C. ciliata*), el cual en la mayoría de los estados del país se encuentra disponible comercialmente. Se recomienda también aplicar extractos botánicos como repelentes, estos pueden ser a base de ajo (Biocrack®) o **neem** (Bioneem®).

b) control químico: en casos extremos se recomienda aplicar productos basados en endosulfan (Thiodan 35CE®); la aplicación debe dirigirse a las partes de las pencas o frutos que tengan esta plaga y no es necesario hacer la aplicación a toda la planta ni a todas las plantas en una huerta. La época de aplicación debe ser al momento de observar la grana o cochinilla en las pencas o frutos.

Chinche gris (*Chelinidea tabulata* Burm). (Hemiptera: Coreidae)

Importancia. Este insecto aparece durante los meses que comienza a aumentar la temperatura del medio.

Hábitos y descripción. Tanto los adultos como las ninfas succionan la savia. La chinche gris se presenta principalmente sobre plantas jóvenes de nopal manso. Alcanza su más alto nivel de población en los meses de julio y agosto. Al nacer son de color negro, excepto el abdomen que es de color claro verdoso; pasa por 5 estadios ninfales. Continúan reproduciéndose durante todo el año pero alcanza su más alto nivel de población de junio a agosto. Generalmente son de hábitos gregarios (estadios ninfales), en cambio, los adultos tienen menos acentuados estos hábitos. En invierno cesa la reproducción y los adultos permanecen en lugares protegidos formando grupos. El adulto es de color café grisáceo o verdoso y de 12 a 15 mm de longitud. Presenta en la cabeza una banda en la parte media dorsal de color amarillo pajizo igual que el **pronoto**. Las hembras colocan sus huevecillos sobre las pencas o espinas, formando grupos de 5 a 15 (Granados y Castañeda, 1991; Rodríguez *et al.*, 1999; Falconi-Borja, 2001).

Daños. Las partes que atacan forman manchas circulares claras que debilitan la planta y reducen su producción, perforan la cutícula del nopal y succionan su savia, reduciendo su vitalidad y creando focos de posible pudrición. Sus ataques dejan en unos días manchas de color café en la superficie de las pencas.

Manejo. No se han encontrado reportes de enemigos naturales, pero, por su amplio rango de hospederos, es probable que el león de los áfidos pueda alimentarse también de esta especie.

Chinche roja (*Hesperolabops gelastops* Kirkaley) (Hemiptera: Miridae)

Importancia. La importancia de esta plaga es relativamente baja en comparación con otras plagas como la palomilla del nopal o la gallina ciega.

Hábitos y descripción. Las ninfas como las formas adultas de este insecto succionan la savia de las pencas de nopal y en las zonas que atacan aparecen manchas que al secarse, se levantan y agrietan la superficie.

Los huevecillos son depositados bajo la cutícula del nopal. Al nacer las ninfas son de color rojo, incluso la cabeza y las patas, pero a medida que se desarrollan las patas van tornándose negras. El adulto mide de 6.5 a 7.5 mm de longitud, es de coloración oscura excepto el pronoto que es anaranjado (Granados y Castañeda, 1991; Davidson y Lyon, 1992).

Daño. El daño es similar al que provoca la chinche gris.

Manejo. Al igual que para la chinche gris, no se han encontrado reportes de enemigos naturales, pero por su amplio rango de hospederos, es probable que el león de los áfidos pueda alimentarse también de esta especie.

Gusano cebra (*Olycella nephelepsa* Dyar) (Lepidóptera: Pyralidae)

Importancia. Es de las pocas especies de lepidóptero conocidas que se alimentan de nopal, siendo de mayor importancia que las plagas de coleópteros. El gusano cebra se ha localizado en *O. tormentosa*, *O. megacantha*, *O. ficus-indica*, *O. streptacantha*, *O. stenopetala*, *O. robusta* y otras especies no determinadas (Davidson y Lyon, 1992).

Hábitos y descripción. En enero, principalmente, numerosas colonias de larvas del gusano cebra atacan al nopal joven o a las pencas tiernas; estos gusanos viven exclusivamente en el interior de la planta y provocan abultamientos exteriores por la destrucción interna de la penca.

Daños. Al alimentarse de los tejidos tiernos del nopal, se reduce la calidad de éstos cuando la finalidad es producción de nopalitos.

Manejo. No se encontraron reportes de productos para su manejo, pero al ser un lepidóptero, es probable que tenga cierta susceptibilidad a productos a base de *Bacillus thuringensis* como Agree®, Dipel®. Además se recomienda realizar liberaciones de león de los áfidos y **avispa** *Trichogramma* spp.

Palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum* Berg) (Lepidóptera: Phycitidae)

Importancia. Este insecto aún no se encuentra presente en México, sin embargo, representa una seria amenaza para las especies de nopal del país. En los países donde ya se encuentra presente ha ocasionado daños altamente significativos. Por sus hábitos biológicos y alimenticios se considera una plaga sumamente dañina hacia este cultivo y actualmente se realizan acciones para evitar su introducción al país. La diseminación de esta plaga (nativa de Sudamérica) inició en 1940 (Dodd, 1940) cuando fue introducida a Australia para controlar especies de *Opuntia*. En Estados Unidos, Dickel (1998) reportó por primera vez la presencia de esta plaga. En octubre de 2000, la CONABIO publicó los resultados de un estudio realizado sobre la probable ruta de invasión de esta especie a México, en este documento sobresalen tres puntos: 1) que la ruta más probable de ingreso se encuentra en el norte del país, ya que la similitud climática de *C. cactorum* forma un corredor sin interrupción desde Florida, 2) son las especies *Opuntia stricta* y *O. lindheimeri* las que funcionarían como canales de dispersión hasta llegar a afectar las regiones de mayor riqueza nopalera: el altiplano Potosino-Zacatecano, Puebla-Veracruz, Baja California y el desierto Chihuahuense, 3) las 107 especies de nopal existentes en México se encuentran bajo una amenaza potencial que puede convertirse en una catástrofe.

Hábitos y descripción. Los insectos lepidópteros como este, presentan también metamorfosis completa; es decir pasan por estadios de huevecillo, 5 instares larvales, pupa y adulto. La hembra oviposita sobre cladodios maduros y las larvas se desarrollan consumiendo el tejido del tejido de tales cladodios (Myers *et al.*, 1981). La decisión de ovipositar en un determinado lugar está dada por una serie de factores: tamaño de planta, distancia de la planta al lugar de emergencia del adulto, vistosidad de la planta y actividad fotosintética de los cladodios. La hembra deposita de 3 a 4 nidadas durante su vida (aproximadamente de 9 días). Cada nidada consiste de 50 a 80 huevecillos. El estado de larva es el que consume el tejido parenquimatoso del nopal, una sola nidada puede

alimentarse de hasta 4 cladodios para llegar al 5º instar y posteriormente caer al suelo para convertirse en pupa, etapa en la que pasa de 35 a 42 días para emerger después como adulto, buscar una pareja, aparearse y buscar una nueva planta para infestar, dependiendo de la temperatura del lugar se pueden presentar de 2 a 3 generaciones por año.

Daños. Este insecto es tan agresivo que es uno de los más eficientes de control biológico de nopal. El daño puede llegar a tal grado que de ingresar a territorio mexicano, se prevé una catástrofe ecológica.

Manejo. No se conocen aún métodos de control eficientes, al contrario, es difícil recomendar el uso de insecticidas debido a la amplitud de las zonas nopaleras y el riesgo de daño hacia los demás organismos habitantes de los ecosistemas donde prevalece el nopal. Las sugerencias que se pueden realizar no están aun fundamentadas (Lobos y de Cornelli, 1997).

Alternativas de control biológico: se tiene conocimiento de un enemigo natural específico en el caso de *Brachymeria sp.* sin que se hayan realizado evaluaciones confiables. Sin embargo, el hecho de que se trate de un lepidóptero hace posible pensar en control a través de liberaciones masivas de *Trichogramma sp* y de *Apanteles alexanderi* Bretes, los cuales son dos **bracónidos** conocidos, enemigos naturales de este **orden** de insectos (Bennett *et al.*, 1985). Otras alternativas de control biológico son otras avispas como *Phyticiplex doddi* (Cushman) y *P. eremnus* (Porter) (Ichneumonidae), de igual manera las moscas tachinidas *Brachymeria cactoblastidis* Blanchard (Chalcididae) y *Epicoronimyia mundelli* (Blanchard). Sin embargo, la eficiencia de estas especies debe aún estudiarse para evitar el daño de otros lepidópteros deseables (Bennett *et al.*, 1985; Simmonds y Bennett, 1966).

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, *Bemisia tabaci* Gennadius, *B. argentifolii* Bellows & Perring) (Homóptera: Aleiroididae).

Importancia. Actualmente existen reportadas alrededor de 1200 especies de mosquita blanca, de las cuales, la gran mayoría son específicas de

ciertas plantas y generalmente son fáciles de manejar. Sin embargo, existen algunas especies, como las mencionadas en el subtítulo de este apartado (CMB, complejo mosquita blanca) que son capaces de alimentarse de muy diversas especies vegetales y con hábitos biológicos sumamente agresivos. Esta característica las hace plagas de importancia mundial y sumamente difíciles de manejar (Martínez-Carrillo, 1998). Solamente *B. argentifolii* (mosquita blanca de la hoja plateada) está reportada atacando más de 500 especies de plantas, dentro de las cuales se encuentran varias especies de nopal, aunque este tipo de plantas no son las preferidas por la mosquita blanca, la cual tiene preferencias por algodónero y hortalizas como algunas **cucurbitáceas** y **solanáceas**.

Hábitos y descripción. *B. argentifolii* es un **biotipo** derivado de *B. tabaci*, ambas especies son sumamente parecidas y las más ampliamente distribuidas, aunque es más agresiva *B. argentifolii*. Esta descripción corresponde a estas dos especies, las cuales pasan por los siguientes estados de desarrollo: huevecillo, cuatro instares ninfales y adulto. Los adultos miden entre 1 y 1.5 mm de longitud, su cuerpo es de color amarillo pálido, poseen dos pares de alas de color blanco, tienen aparato bucal picador-chupador. Posee una **metamorfosis simple**, sin embargo al cuarto **instar ninfal** se le llama “pupa”, aunque en realidad no es tal. De los cuatro instares ninfales, sólo el primero es móvil. Después de la última muda, en el cuarto instar, el exoesqueleto se abre por una fisura en forma de “T”, permitiendo la salida del adulto (Butler *et al.*, 1986). El ciclo de vida está regulado por la temperatura ambiental, desarrollándose entre los 15 y 25 °C.

Daños. La mosquita blanca puede causar los siguientes tipos de daño a sus hospederos: 1) succión de la savia, lo cual reduce el vigor de la planta y su rendimiento, 2) excreción de mielecilla y desarrollo de **fumagina**, 3) transmisión de enfermedades virales y 4) inyección de toxinas, las cuales inducen desordenes fisiológicos en las plantas (Nava-Camberos, 1998).

Manejo. El control químico no ha sido una solución a la problemática ocasionada por esta plaga, a pesar de que ha ayudado a reducirla cuando

se combina con otras estrategias de manejo, como fechas de siembra, rotaciones, variedades tolerantes y control biológico. Se ha encontrado que esta es una de las especies con mayor capacidad para desarrollar resistencia a todo tipo de insecticidas (Martínez, 1994) y por tanto, una de las más difíciles de controlar.

a) Control químico: los productos que han mostrado mejor control y menor tasa de resistencia generada son productos no convencionales como se muestran a continuación: Buprofezin (Applaud®), el cual es un inhibidor de **quitina**. Pyroproxifen (Knack®), inhibidor de quitina. Diafenturón (Polo®), insecticida derivado de las tioureas, con efecto en el sistema reproductivo de la mosquita blanca. También han observado resultados positivos con Imidacloprid (Confidor®) y Acetamiprid (Rescate®), ambos pertenecientes al grupo de los análogos de los nitrometilenos, con alto poder **sistémico**. Por diversas razones, ninguno de estos productos ha sido validado para su uso en nopal.

b) Control biológico: por tratarse de un cultivo con un nivel de rusticidad relativamente alto, es de esperarse que de forma natural se presenten colonias de enemigos naturales en las zonas de cultivo, pero se recomiendan algunos organismos de control biológico como los hongos *Verticillium lecanii*, en dosis de 10^7 UFC mL⁻¹ y *Beauveria bassiana* (Naturalis®), en dosis de 10^9 UFC mL⁻¹. Asimismo, se recomienda liberar colonias de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) a razón de 600 individuos m².

Mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens* Lowe) (Díptera: Tephritidae)

Importancia: como medida de seguridad **fitosanitaria**, los países importadores de fruta fresca mexicana y hortalizas, exigen que se demuestre la ausencia de moscas de la fruta mediante el trampeo. Basándose en lo anterior, esta actividad se considera como prioritaria dentro de esta campaña la cual viene realizándose desde 1985 e intensificada a partir de 1992, con el establecimiento de la campaña

nacional contra moscas de la fruta. Aun así, existen algunos estados del país donde persiste la presencia de esta peligrosa especie.

Hábitos y descripción. El adulto, de color amarillo parduzco, es más grande que la mosca doméstica. Las alas son transparentes excepto donde están moteadas con áreas color castaño. Las hembras tienen un extremo alargado en el abdomen, que contiene el ovipositor. Los huevecillos, verdes, se depositan justo bajo la **cutícula** de la fruta, las larvas son **apodas** de color blanco crema con cuerpo **ahusado**. Existen de 4 a 6 generaciones por año.

Daños. El daño se debe al desplazamiento de la larva por el fruto alimentándose de él. Sus hábitos biológicos y amplio rango de hospederos la convierten en una plaga de importancia **cuarentenaria**.

Manejo: Las acciones de control más importantes con relación al manejo de moscas de la fruta son las preventivas. Por tal razón, la recomendación más importante para los productores de tuna y de cualquier otro producto es; en caso de detectar un solo individuo, dar aviso inmediato a las autoridades de SAGARPA y a los organismos de Sanidad Vegetal del estado y del país. Estos organismos desarrollan acciones como parte de las campañas fitosanitarias o control. Sin embargo, se mencionan algunos productos recomendados para controlar los brotes de esta plaga: *Biosteres longicaudatus* (Himenóptera: Braconidae) a razón de 600 individuos m⁻² o bien en forma de proteína hidrolizada en dosis de 20 mL en trampas de 500 mL.

Mosca del Mediterráneo, mosca med (*Ceratitis capitata* Widemann)
(Díptera: Tephritidae)

Importancia. Al igual que la mosca de la fruta, los países importadores de fruta fresca mexicana exigen que se demuestre la ausencia de moscas exóticas de la fruta mediante el trampeo validado por autoridades fitosanitarias del país importador. Actualmente todo el territorio mexicano está declarado como **zona libre** de mosca del mediterráneo, tanto por el

Departamento de Agricultura de Estados Unidos como por la Comunidad Económica Europea, obviamente estas declaraciones son validas para el resto de los países. De cualquier manera, desde hace varios años se ha establecido una campaña constante en los programas nacionales de sanidad vegetal (Davidson y Lyon, 1992).

Hábitos y descripción. Nativa de África, esta plaga se conoce desde hace tiempo como uno de los insectos más destructores que atacan frutos dulces de árboles y hortalizas.

Daños. El daño es similar al de la mosca mexicana de la fruta, la cual se debe al desplazamiento de la larva por el fruto alimentándose de él. Sus hábitos biológicos y amplio rango de hospederos la convierten en una plaga de importancia cuarentenaria.

Manejo. Las acciones de control más importantes con relación al manejo de moscas de la fruta son las preventivas. Por tal razón, la recomendación más importante para los productores de tuna y de cualquier otro producto es; en caso de detectar un solo individuo, dar aviso inmediato a las autoridades de SAGARPA y a los organismos de Sanidad Vegetal del estado y del país. Estos organismos desarrollan acciones como parte de las campañas fitosanitarias o control. Sin embargo, se mencionan algunos productos recomendados para controlar los brotes de esta plaga: *Biosteres longicaudatus* (Himenóptera: Braconidae) a razón de 600 individuos m⁻² o bien en forma de proteína hidrolizada, en dosis de 20 mL en trampas de 500 mL.

Trips del nopal (*Sericothrips opuntia* Hood) (Thysanoptera: Thripidae)

Importancia. Se tienen reportes de una amplia distribución en México, sin ser considerados de gran importancia.

Hábitos y descripción. Estos organismos también se conocen como “alas con flecos” y perforan los tejidos de la planta al succionar el jugo celular.

Daños. Los órganos atacados por los trips se cubren de manchas de color amarillento o gris blanquecino y se ven sucias debido al excremento oscuro y brillante del insecto. Después, aparece la amarillez o coloración parda, la costroicidad y la desecación de la parte atacada. Los trips son vectores de enfermedades virales.

Manejo. Este tipo de plagas es controlado con los mismos insecticidas que se aplican para las plagas primarias en nopal.

Otras Plagas

El nopal no solo convive con insectos, también es hospedero de otros organismos, que bajo ciertas condiciones de producción se pueden convertir en plagas de cierta importancia, dentro de tales organismos se han reportado ácaros, caracoles, ratas y nematodos, entre otros (Granados y Castañeda, 1991; Rodríguez. *et al.*, 1999; Falconi-Borja, 2001).

Araña roja (*Tetranychus spp*) (Arácnida: Acari: Tetranychidae)

Importancia: Las especies de ácaros de la familia Tetranychidae conforman uno de los grupos de plagas más extensos en el mundo, además la mayoría de éstas tienen rangos de hospederos muy amplios.

Hábitos y descripción. Este organismo es un ácaro color rojo que vive sobre las pencas de nopal en colonias numerosas; se alimenta mediante la succión de la savia de las plantas y si el ataque es leve, forma manchas con apariencia de quemadura, pero si es intenso, el cladodio adquiere color leñoso o café.

Daños. El daño a las plantas es el resultado de la extracción de la savia por la ninfa y el adulto. Esta plaga puede acabar con la nopalera si no se controla a tiempo.

Manejo. Se recomienda el uso de enemigos naturales como el ácaro *Phytoseiulus persimilis*, en dosis de 100 individuos por planta al inicio de la infestación. Este enemigo natural consume de 5 a 10 adultos de araña roja o hasta 20 huevecillos por día. Se deben realizar liberaciones cada 2 ó 3 semanas. Dentro de los insecticidas recomendados para controlar ácaros se encuentran el metidatió (Supracid®), óxido de fenbutatin (Torque 500 CE®), hexitiazox (Cesar 10% WP®) y amitraz (Mitac 20 %®).

Nematodo de agalla (*Meloidogyne* spp.) (Nematoda: Tylenchida: Heteroderidae)

Importancia. El genero *Meloydogine* es uno de los más extensos del **Phylum** Nematoda, conocido por su amplio rango de plantas hospederas. Se han descrito alrededor de 40 especies de este género que se reportan en más de 2000 hospederos, entre los cuales se encuentran ornamentales, árboles frutales, hortalizas, gramíneas y cactáceas (Alonso, 1986).

Hábitos y descripción. La mayoría de los nematodos **fitoparasitos** tienen el cuerpo **filiforme**, con el cuerpo adelgazándose en ambos extremos, careciendo de segmentación en el cuerpo. Los nematodos virtualmente carecen de color, aunque en ciertos casos el intestino puede aparecer coloreado debido al material alimenticio que posee en su interior. La longitud de este nematodo es de aproximadamente 0.5 mm en su estado adulto. La cavidad bucal está armada por un prominente orificio con una estructura en forma de lanza. Este nematodo forma agallas o nódulos en las raíces. Estos nematodos en general presentan **bisexualidad**, aunque en ocasiones se presentan individuos **hermafroditas**. Este nematodo presenta hábitos sedentarios (poca o nula movilidad) y sobrevive mejor dentro de los nódulos, es decir en el interior de la planta.

Daños. Los daños de la alimentación de los nematodos se puede reflejar en achaparramiento de las plantas, pobre crecimiento y bajo rendimiento. La debilidad también se observa en necrosis, decoloración y enroscamiento de las pencas en crecimiento.

Manejo. Dentro de los productos más recomendados están los siguientes:

a) Control orgánico y biológico a base de *Myrothecium verrucaria* (DiTera ES®), Ácidos grasos, 2 L ha⁻¹, *Paecilomyces lilacinus* 10⁷ UFC mL⁻¹ (BIOSTAT®), *Pasteuria penetrans*, 10⁸ UFC mL⁻¹ y Azadirachtina (Bioneem®) 5 mL L⁻¹.

b) control químico: Terbufos (Counter 5% G®), Carbofuran (Furadan 5 G Ultra®), Etoprofos (Mocap 15G®), Fenamifos (Nemacur 10 % GR®) y Cadusafos (Rugby 10G®).

Nematodo de los quistes (*Heterodera cacti*) (Nematoda: Tylenchida: Heteroderidae)

Importancia. El nematodo *H. cacti* es específico contra un buen número de especies cactáceas y se ha reportado en algunas regiones de México (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 1999).

Hábitos y descripción. Como la mayoría de los nematodos fitoparasitos, presenta cuerpo filiforme, con los extremos más delgados que el resto del cuerpo, sin segmentación, sin color en el cuerpo, con una longitud aproximada de 0.5 mm en su estado adulto. Este nematodo sobrevive mejor fuera de la planta, es decir, es semiectoparasito, dentro de quistes que se unen a la raíz del nopal y otras plantas. Este nematodo también presenta hábitos sedentarios (poca o nula movilidad).

Daños. Los daños de la alimentación de los nematodos se reflejan en forma similar a como ocurre con los nematodos del género *Meloydogines*, observándose achaparramiento de las plantas, pobre crecimiento y bajo rendimiento, debilidad, necrosis, decoloración y enroscamiento de las pencas en crecimiento.

Manejo. Dentro de los productos más recomendados están los mismos que se recomiendan para otros nematodos.

a) Control orgánico y biológico a base de *Myrothecium verrucaria* (DiTera ES®), Ácidos grasos, 2 L ha⁻¹, *Paecilomyces lilacinus* 10⁷ UFC mL⁻¹

(BIOSTAT®), *Pasteuria penetrans*, 10^8 UFC mL⁻¹ y Azadirachtina (Bioneem®) 5 mL L⁻¹.

b) control químico: Terbufos (Counter 5 % G®), Carbofuran (Furadan 5 G Ultra®), Etoprofos (Mocap 15G®), Fenamifos (Nemacur 10 % GR®) y Cadusafos (Rugby 10G®).

El caracol (*Helix aspersa* Muller) (Mollusca: Gastropoda: Stylommatophora: Helicidae)

Importancia. Es una plaga menor que puede incrementarse bajo condiciones de humedad relativa alta y temperaturas bajas.

Hábitos y descripción. Posee una concha casi esférica de 20 a 35 mm de alto y de 25 a 40 mm de largo, color marrón claro o marrón verdoso con bandas en espiral de color jaspeado más oscuro. En ocasiones se pueden distinguir nervaduras transversales. El cuerpo está formado por un pie (que es la parte visible cuando el caracol se desplaza) y una masa visceral que está protegida dentro de la concha. En el pie se distingue la cabeza, donde hay cuatro tentáculos, dos oculares que le permiten percibir luz y bultos y dos táctiles. Su carne es de color beige-verdosa o gris-verdosa y cuando se lo toca produce abundante baba (como defensa). Su peso cuando adulto puede oscilar entre los 5 y los 15 g (Davidson y Lyon, 1992).

Daños. Este organismo se alimenta de la parte superficial de las pencas de nopal e impide el fenómeno de la síntesis clorofiliana, lo cual ocasiona la reducción de nuevos brotes en las pencas afectadas.

Manejo. Existen molusquicidas específicos como metaldehído (TAPPS'O®) en presentación pellet.

Rata nopalera (*Neotoma* spp.) (Mammalia: Rodentia: Muridae: Sigmodontinae).

Importancia. El Orden Rodentia engloba a los mamíferos placentarios, por su distribución universal, constituye el grupo más extenso y fecundo, actualmente existen 65 especies de este género reportadas en México (Ramírez-Pulido *et al.*, sin año). Adquieren su nombre por el tamaño, forma de sus dientes, así como el hábito de roer alimentos y materiales diversos. Son cosmopolitas, ocupan una gran diversidad de hábitats y presentan gran capacidad de vivir bajo todas las condiciones ambientales. Estas especies son depredadas por otros mamíferos y aves; además sirven de alimento a la población rural de Nuevo León, Sinaloa, San Luis Potosí y Zacatecas.

Hábitos y descripción. Esta rata presenta un tamaño mediano; cuerpo de 160 a 190 mm, cola de 150 a 160 mm. El peso de 113 a 225 g, aproximadamente. La clave dentaria es de 16 piezas. Vive entre troncos, cerca de las nopaleras o algún otro árbol hospedero, su nido está cubierto por ramas y hojas. Es de hábitos nocturnos y diurnos, es tímido, huidizo, almacena material llamativo. Presenta dos camadas anuales de 2 a 4 crías, la gestación es de 30 a 36 días, con una madurez sexual de 60 días. Su vida es de 1 a 5 años.

Daños. Se alimenta de diferentes partes del nopal, desde la raíz hasta el fruto. Aun no se han hecho estudios para cuantificar los daños.

Manejo. Como opciones de control químico, se recomienda utilizar cebos envenenados con productos a base de Difacinona (Felino®), Flocoumafen (Storm B®), warfarina y fosfuro de zinc.

Tuza (*Pappageomys bulleri* Thomas) (Mammalia: Rodentia: Geomyidae)

Importancia. Existen ocho subespecies de esta tuza reportadas en México (Ramírez-Pulido *et al.*, sin año). Este tipo de animales ocasiona daños al alimentarse del nopal, sin embargo, por ser una especie de mediano tamaño, su papel en los ecosistemas naturales es de gran importancia, incluso se menciona que proporciona los siguientes beneficios: al construir las galerías, las tuzas sacan tierra a la superficie del suelo, evitando el

aplazamiento de pastos en condiciones naturales, le permiten a la planta disponer de nutrientes que antes fueron lixiviados, así como la aireación de los suelos al momento la apertura de las galerías, además se considera que su carne tiene buen sabor siendo parte de la dieta de muchas comunidades rurales (Michoacán, México, Tabasco).

Hábitos y descripción. Roedores de talla grande, 190 a 216 mm y con un peso de 500 a 600 g. La coloración es de negro a blanco. Son diurnos, hipogeos y solitarios. Construyen túneles intrincados, formando montículos en la superficie. Es muy territorial. Presenta una camada anual con 1 a 2 crías por camada. La actividad de las tuzas es muy intensa, constantemente están cavando galerías como si fuera la única finalidad de su vida.

Daños. Los hábitos alimenticios de las tuzas en los campos de cultivo, hacen de ellas muchas veces una plaga, llegando a destruirlas por completo. Además, roen las raíces de los árboles (frutales y forestales), quedando la planta sin base de sustentación y por consiguiente destruida. En los terrenos plagados, las galerías dificultan la marcha de hombres y bestias al ejecutar diversas labores culturales, no siendo raros los casos de luxación y aún de fracturas que produce bajo esas condiciones; además causan frecuentes descomposturas a la maquinaria utilizada.

Manejo. Para este tipo de especies se tiene un mayor conocimiento acerca de su manejo, no por sus estudios en nopal, sino porque también esta presente en muchos otros cultivos, principalmente frutales.

a) *Control natural:* uno de los sistemas de control que se han utilizado es la inundación; en este método se requiere una gran cantidad de agua para inundar por completo las galerías, en esta forma se obliga a los adultos a emigrar a otros lugares.

b) *Trampeo:* es un método en el que se utilizan trampas de todos tipos. La rústica (fabricada con material del campo) y las de las casas comerciales (Volke, Oneida) económicos y no contaminan al ecosistema y al hombre.

El trapeo consiste en colocar trampas para capturar, en este caso especial ratas y ratones en sitios donde se supone que pueden transitar estos roedores; para cebarlas se pueden utilizar trozos de tortilla impregnados con aceite comestible o crema de cacahuete, o bien, otros alimentos que resulten atractivos a los roedores, como carne. Se recomienda poner trampas al atardecer para que el cebo no sea ingerido por otros animales como pueden ser los pájaros y las hormigas. Si el trapeo se realiza en forma constante y se utiliza un buen número de trampas se puede llegar a controlar el problema. Es recomendable que los roedores capturados sean enterrados para evitar enfermedades.

c) *Control químico*: se utilizan diversos productos químicos venenosos en estado diferente, líquido o gaseoso. Un rodenticida ideal debe ser inodoro, insípido, selectivo, efectivo, que no induzca a la tolerancia o manifieste síntomas de advertencia antes de ingerir la dosis letal. Los rodenticidas que no satisfacen los nuevos criterios de sanidad ambiental, funcionamiento eficiente y seguridad adecuada, deberán ser descartados por personal que utiliza compuestos químicos para controlar roedores. Dentro de los productos más modernos para cebos envenenados están la Difacinona (Felino®), Flocoumafen (Storm B®), la warfarina y el fosfuro de zinc. Estos se aplican en cebos a base de caña de azúcar, camote, papa, jícama, zanahoria y granos (avena, cebada, maíz y trigo).

Enfermedades fungosas

Mal del oro del nopal (*Alternaria spp* y *Hansfordia spp*)

Descripción. Inicia su ataque en las partes cercanas a las areolas o espinas de las pencas y posteriormente se diseminan en toda la penca, ocasionando el cambio de color del verde al amarillo opaco, reduciendo la productividad de las plantas (Granados y Castañeda, 1991; Alcorn *et al.*, 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. Para controlar esta enfermedad se hace la aplicación de caldo bordelés al 1 % a partir de sulfato tribásico de calcio, 0.5 L de Paratión Metílico y 2.0 L de mucílago de nopal tapón.

Pudrición de las flores, pudrición del cuello (*Botrytis cinerea*)

Descripción. La pudrición provocada por este hongo es primeramente visible en el cuello de la planta, pero posteriormente se puede reflejar en las flores (Alcorn et al. 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. Para controlar este hongo se recomienda antes utilizar productos biológicos a base de *Bacillus subtilis*, en dosis de 10^8 UFC mL⁻¹. En infestaciones mayores se recomienda usar Metilo de kresoxim, en dosis de 0.3 a 0.4 kg ha⁻¹.

Mancha parda (*Alternaria* spp)

Descripción. La sintomatología de esta enfermedad se observa en las pencas, las cuales adquieren una coloración café grisáceo que inicia en manchas y se extiende hasta derribar las pencas o incluso hasta llevar a la muerte a la planta (Granados y Castañeda, 1991).

Manejo. Dentro del manejo se recomienda utilizar productos basado en cobre, los cuales pueden utilizarse incluso como preventivos cuando se eleva la temperatura y la humedad ambiental, dentro de los productos recomendados está el hidróxido de cobre, en dosis de 3.9 a 5.5 L ha⁻¹ y el Oxiclورو de cobre, en dosis de 200 a 300 g en 100 L.

Pudrición seca del cuello (*Fusarium* spp)

Descripción. El daño de estos hongos se observa en las pencas, daños en la epidermis con aspecto acuoso, de color negro, con líneas café claro en las estructuras internas leñosas; generalmente aparece primero la infección cerca de la línea de apoyo a donde las espigas de la planta

adyacente han penetrado la planta. La planta se derrumba por completo en pocos días (Granados y Castañeda, 1991).

Manejo. Para el manejo de este hongo se recomienda utilizar fungicidas químicos: Benomyl, en dosis de 250 a 500 g ha⁻¹ y Carbendazin, en dosis de 0.3 a 0.5 kg ha⁻¹.

Cenicilla (*Oidium* spp)

Descripción. Los síntomas de la cenicilla son parecidos a las demás cenicillas; es decir, se observa una capa de pelusa o polvo sobre las pencas. Disminuye la fotosíntesis y el intercambio gaseoso, lo cual se refleja en una menor productividad de biomasa y menor rendimiento de tuna (Alcorn *et al.*, 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. El manejo de esta enfermedad incluye la aplicación de productos biológicos a base de *Cryptococcus* spp, en dosis de 10⁸ UFC mL⁻¹. En caso de observarse una mayor infestación se recomienda la aplicación de productos químicos a base de Difenconazol, en dosis de 0.3 a 0.5 L ha⁻¹.

Lesiones de las hojas (*Phyllosticta concava*, *Stemphyllium* spp)

Descripción. El tipo de lesiones que causan estos hongos tienen apariencia similar, son circulares, color café claro y se producen hundimientos de los tejidos cubiertos por puntos negros diminutos; los síntomas pueden aparecer simultáneamente en ambos lados del cladodio, el área afectada puede aumentar o no su diámetro hasta una pulgada, pero la unión de múltiples lesiones en una penca origina manchas grandes; posteriormente los tejidos afectados se contraen, se hacen negros y se forman los cuerpos de las esporas, primero, en el centro de la lesión (Alcorn *et al.*, 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. Se recomienda utilizar productos biológicos que inhiben la actividad de este hongo: *Bacillus subtilis* en dosis de 10⁸ UFC mL⁻¹ y el producto químico Metilo de kresoxim a razón de 0.3 a 0.4 kg ha⁻¹.

Gomosis (*Dothiorella ribis*.)

Descripción. Consiste en una mancha cancerosa con abundante exudación de goma, la cual infecta lentamente los cladodios reseándolos y causando una declinación de la planta (Alcorn *et al.*, 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. Se han realizado pruebas *in vitro* para el control de *Dothiorella ribis* con diferentes fungicidas y dosis. Los mejores resultados se obtuvieron con: Enovit Metthyl (Thiopanate-methyl) y Benlate (Benomil) ambos en dosis de 100 g h⁻¹ aplicados mensualmente de septiembre a mayo; no obstante, fungicidas de contacto dieron mejor resultado que fungicidas sistémicos.

Otras enfermedades

Necrosis bacteriana (*Erwinia carnegieana*)

Descripción. Es una de las enfermedades más visibles en el nopal, se ha establecido un tamaño de 3 micras para esta bacteria, infecta a la planta a través de aberturas naturales, heridas y horadaciones de insectos, es posible un contagio por contacto directo, sobre todo de raíz a raíz. El tejido de las pencas se ablanda y semeja contener bolsas de líquidos en el interior, posteriormente tales “bolsas” se hunden hasta que la penca cae al suelo. La enfermedad es sumamente visible y lenta, por lo que es posible controlar las infestaciones (Alcorn *et al.*, 1972; Falconi-Borja, 2001).

Manejo. Se recomienda quemar las pencas infectadas. La presencia de esta bacteria en el suelo se puede controlar químicamente con terramicina aplicada cuando se aplican otros productos al suelo como nematicidas. Actualmente se promueven algunos extractos botánicos de neem que tienen cierto efecto sobre bacterias y hongos.

Engrosamiento de cladodios (virus o micoplasma no identificado)

Descripción. Reducción del crecimiento de la planta, acompañada por la hinchazón de las pencas y la pérdida gradual de la tonalidad verde de dichas pencas. Los brotes vegetativos y las flores son de tamaño reducido y por lo general, se forman en la parte plana de la penca. Los rendimientos son bajos debido a que se forma un número reducido de brotes, que además de ser pequeños, se caen de la planta en diferentes periodos de desarrollo (Granados y Castañeda, 1991).

Manejo. Su control se logra al eliminar las plantas que presenten dicho problema con la precaución de desinfectar la herramienta utilizada para esta operación.

Recomendaciones Generales

Es muy notoria la falta de información respecto al manejo integrado de plagas del nopal, esto representa una seria problemática para los productores y técnicos de campo, los cuales generalmente toman decisiones de acciones de control basadas en sus propias experiencias y no sobre la base de evaluaciones técnicas y científicas. Es urgente que se realicen proyectos de investigación relacionadas con el MIP en nopal, con la finalidad de proporcionar a todos los interesados las mejores estrategias y así evitar que las plagas se conviertan en la principal limitante en la producción de este cultivo. Es necesaria una concientización en diferentes niveles; en autoridades gubernamentales y académicas para que apoyen todo tipo de proyectos de investigación y en los diferentes niveles de la sociedad, para que se evite la entrada de plagas tan peligrosas como la palomilla del nopal y para que se evite caer en errores que se han cometido en otros cultivos importantes. Se deben combinar diversas estrategias de manejo, enfatizando el control biológico como la herramienta más común y utilizando los insecticidas químicos como parte del MIP, sin caer en excesos, es necesario un uso moderado y racional de estos productos, reconociendo que los insecticidas son recursos invaluable que no debemos desperdiciarlos haciéndolos base de los programas de control de plagas.

Agradecimientos

El autor agradece a las siguientes instituciones: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Sistema de Investigaciones del Mar del Cortés, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Fundación Produce Baja California Sur, A.C., Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Gobierno del Estado de Baja California Sur, por el apoyo moral y económico proporcionado para la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- Alcorn, Gilberston y Nelson. Enfermedades de las cactáceas. Folleto imprenta Chapingo, Zonas Áridas, Chapingo, México, 1972.
- Alonso E. J. 1986. Fitonematología. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". 142 p.
- Álvarez-Rodríguez S., J. Olivares Orozco, D. Montiel Salero, P. Zavaleta Beckler, G. Ramos Espinoza. 1999. Presencia de nematodos quísticos en el sistema radical de xocoostle, en Huichipán, Hidalgo. En: Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional el nopal. Sep., 1999, San Luis Potosí, México. p. 50-51.
- Bennett, F.D., M.J.W. Cock, I.W. Hughes, F.J.S. Simmonds, and M. Yaseen. [M.J.W. Cock (Ed.)]. 1985. A review of biological control of pests in the Commonwealth Caribbean and Bermuda up to 1982. Commonwealth Inst. Biol. Contr. Tech. Com. 9. 218 p.
- Butler G.D., T.J. Henneberry, W.D. Hutchinson. 1986. Biology, Sampling and Population Dynamics of *Bemisia tabaci*. Agric Zool Reviews 1: 167-195.
- CONABIO. 2000. Un modelo predictivo sobre la ruta de invasión de especies exóticas: el caso de *Cactoblastis cactorum*. México, D.F., 2000. 19 p.
- Davidson R. H., W. F. Lyon. 1992. Plagas de insectos agrícolas y del jardín. Limusa, Noriega Editores. 743 p.
- De Bach P. 1987. Control Biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. Ed. Continental. México, D.F. 997 p.
- Dodd, A. P. 1940. The biological camping against the prickly-pear. Commonwealth Prickly-Pear Board. Brisbane, Australia.
- Falconi-Borja C. 2001. Fitopatógenos. Enfermedades, plagas, maleza y nematodos fitopatógenos de cultivos en el Ecuador. Centro de Diagnóstico y Control Biológico. Universidad San Francisco de Quito. 123 p.

- Granados-Sánchez, D., A. D. Castañeda-Pérez. 1991. El nopal, historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas.
- Githure C. W., H.G. Zimmermann, J.H. Hoffmann. 1999. Host specificity of biotypes of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae): Prospects for biological control of *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth (Cactaceae) in Africa. *African Entomology* 7(1): 43-48.
- Kass R. J. 2001. Mortality of the endangered Wright fishhook cactus (*Sclerocactus wrightiae*) by an *Opuntia*-borer beetle (Cerambycidae: *Moneilema semipunctatum*). *Western North American Naturalist* 61(4): 495-497.
- Lobos E., J.O. de Cornelli. 1997. Observations on *Cactoblastis cactorum* Berg as a pest of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Argentina with suggestions on possible control methods. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2: 97-102.
- Martinez-Carrillo J.L. 1998. Generalidades de las mosquitas blancas. *En*: INIFAP (Ed.) Temas selectos para el manejo integrado de la mosquita blanca. Memoria científica No. 6. INIFAP. Campo Exp. Valle del Yaqui. p. 27-30.
- Myers J.H., J. Monroe, N. Murray. 1981. Egg clumping, host plant selection and population regulation in *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera) *Oecologia* 51: 7-13.
- Nava-Camberos U. 1998. Relaciones densidad-rendimiento y estimación de umbrales económicos para la mosquita blanca plateada (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring). *En*: INIFAP (Ed.) Temas selectos para el manejo integrado de la mosquita blanca. Memoria científica No. 6. INIFAP. Campo Exp. Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora. p. 73-91.
- OCIA. Categorización de productos usados en la agricultura orgánica. USA. 12 p.
- Ramírez-Pulido J., A. Castro-Campillo, J. Arroyo-Cabrales, F. A. Cervantes. Sin año. Lista taxonómica de los mamíferos terrestres de México. Instituto de Biología. UNAM. <http://www.ibiologia.unam.mx/cnma/lista.html>.
- SAGAR. 1995-1998. Anuario estadístico de la agricultura en México. Secretaría de Agricultura y Ganadería, México, D.F.
- Simmonds, F.J., and F.D. Bennett. 1966. Biological control of *Opuntia spp* by *Cactoblastis cactorum* in the Leeward Islands (West Indies). *Entomophaga* 11:183-189.
- Van den Bosch R., M.L. Flint. 1981. Introduction to integrated pest management. Plenum Press. Mew York.
- Yang S.Y., W.Y. Yang, Z.G. Li, Y.H. Zhao. 2001. Utility and prospects for *Opuntia-ficus-indica*. *Forest Research* 14(1): 85-89.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 177-202.

Capítulo 9

SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMERCIALIZACION DE NOPAL VERDURA EN MEXICO

Ignacio Orona-Castillo, José de Jesús Espinoza A.,
Enrique Troyo-Diéguez, Bernardo Murillo-Amador,
José Luis García-Hernández

Resumen

El cultivo del nopal en México ha cobrado mayor importancia a partir de la década de los noventa debido a la apertura comercial de este país hacia el mundo y a los diversos usos a que se destina como son: producción de fruta, hortaliza, forraje, planta medicinal, para elaborar cosméticos y para la producción de cochinilla (insecto utilizado como colorante natural). Los sistemas de producción de este cultivo en México son: producción en nopaleras silvestres, huertos familiares de traspatio y plantaciones comerciales. Bajo estas tres formas de explotación del nopal puede darse la producción de doble propósito (fruto y nopalito); de tuna; de nopalitos tiernos; nopal para forraje, y producción de planta madre para otras plantaciones. Dada la diversidad de productores y regiones dedicadas al cultivo, los esquemas de comercialización varían en cada sistema y al interior de cada uno, por lo que el objetivo de este capítulo es presentar una panorámica de las características del nopal destinado a la producción de verdura en los aspectos de variedades más importantes; comercialización dentro y fuera del país; aspectos ligados a su industrialización, así como las normas de calidad requeridas para su exportación a los Estados Unidos y Canadá, señalando al final del capítulo

una serie de acciones necesarias para promover la demanda de tan importante cultivo.

Palabras clave: *nopalitos, margen de comercialización, industrialización.*

Abstract

Ancient crop "nopal" has gained a major importance during the 90's decade due to the commercial aperture of Mexico towards the rest of the world, and because of its different economic uses, such as fruit production, green vegetable, forage, medicinal plant, cosmetics, and for the production of natural ink from the associated pest 'cochinilla-grana' (ink producing insect). The common production systems of this crop in Mexico mainly are based on: harvesting within wild sites crowded with valuable *Opuntia* specimens, family orchards, and commercial plantations. Under these forms of exploitation, nopal can be used with double purposes: fruits ('tunas') and green vegetables ('nopalitos'); other uses include 'nopal' for forage, and production system for donor plantations where people can take material to start new plantations. Because of the wide diversity of parental plants and the heterogeneity of the producing regions, the commercialization schemes vary between and within the different producing systems. In this sense, the main aim of this chapter is to present a global vision about the main features of 'nopal' produced for green vegetables ('nopalitos'), considering the most important aspects for varieties. We included an analysis of commercialization, inside and outside the country, and some of the main features to be considered to develop agricultural business, such as the quality parameters in order to reach a certain standard reference level, to be exported to USA and Canada. At the end of the chapter we point out a suggested set of actions that are necessary to promote the use of his important sustainable crop.

Key words: *prickly pear, commercialization margin, industrialization, nopalitos profit, nopal traditional crop.*

Introducción

La utilización del cultivo del nopal en México se remonta a la época precolombina, período en el cual, junto con el maíz y los agaves desarrolló un papel muy importante en la economía agrícola de los pobladores de ese tiempo. Su aprovechamiento se registró basado en el desarrollo de tres sistemas de producción (Peralta, 1983; Figueroa, 1984), los cuales siguen vigentes: a) nopaleras silvestres; b) nopaleras en huertos familiares y c) nopaleras en plantación. La historia del uso del nopal en México y el mundo ha sido registrada por otros autores (Flores, 1992; Pimienta, 1994; Barbera, 1995) sin embargo, para los propósitos de este apartado se aborda la temática relativa a la situación de la comercialización de nopalitos para verdura. El cultivo de *Opuntia* spp se adapta perfectamente a las zonas áridas, caracterizadas por condiciones de sequía, precipitaciones erráticas y suelos pobres sujetos a erosión, donde contribuye en épocas climáticas adversas a paliar la crisis de los productores localizados en éstas áreas, utilizándose como alimento para el ganado y en condiciones de pobreza extrema, como alimento humano. En la última década, la superficie plantada con este cultivo para producir fruto y nopalitos en varias regiones de México ha ido en aumento, de manera que dentro del grupo de las hortalizas, la producción de nopalito se ubica en el lugar número 11 en volumen y en el lugar 12 en lo que se refiere a valor de la producción, destacando los estados de Morelos, segundo estado productor, que pasó de 2 ha en 1990 a las 795 ha cosechadas en el año 1999, así como Baja California con un incremento en el mismo período de 74 a 312 ha y Aguascalientes de 79 a 233 ha cosechadas.

Este capítulo muestra que la concentración de la oferta del cultivo en los meses más cálidos impacta negativamente los precios a que se comercializa; sin embargo, en algunas regiones del país a pesar del intermediarismo prevaleciente, a diferencia de otros productos agropecuarios, un amplio margen de comercialización se queda con el productor. Se señalan las presentaciones en que se comercializa y los principales mercados en que se concentra, destacando que una opción para mejorar su aprovechamiento es mediante su industrialización.

Finalmente, se propone una serie de medidas necesarias para mejorar la situación de aquellos productores dedicados al cultivo, enfatizando la existencia de un enorme potencial.

Origen y distribución geográfica

En México, la historia del nopal se refleja en su escudo, donde, sobre esta Cactacea se yergue un águila devorando una serpiente, demostrándose así la importancia social y económica que tuvo durante la época precolombina. Este país posee la mayor riqueza de especies y cultivares de *Opuntia* spp en el mundo y se considera uno de los dos centros de origen y dispersión del género, el otro está en Sudamérica (Gallegos y Méndez, 2000).

Bravo (1978), cita que en excavaciones realizadas en el valle de Tehuacan, Puebla, se descubrieron vestigios de semillas, frutos y pencas de nopal, con una antigüedad de 7 000 años A.C. y se cree que éste junto con el maíz, formaron parte de la alimentación de los habitantes de la zona. Los "nochtli", llamados también "nopalli", comprendían diversas especies que se distinguían nominalmente agregando al radical "nochtli", uno o varios términos que precisaban sus cualidades. Las plantas de este tipo son las que actualmente están incluidas en los géneros *Opuntia*, *Nopalea* y *Epiphyllum*. Estas cactáceas son originarias del Continente Americano y se distribuyen desde Canadá hasta la República Argentina; sin embargo, la diferencia que existe entre las de América del Sur y las de América del Norte respecto a su origen, implica la existencia de dos áreas de desarrollo. En América del Norte existen 92 géneros y 51 en América del Sur. De los localizados en el primer punto, 61 géneros existen en México y 31 en Estados Unidos; esta distribución ubica como centro de diseminación a México, Bravo (1978).

En 1927, de acuerdo con Villarreal (1958), la población de plantas de nopal en la República Mexicana era alrededor de 8 757 034, cuyo rendimiento promedio fue de 20 kg de tuna por planta, con una producción total estimada en 176 763 t de fruto. Colín (1976) estimó en 1976, la

existencia de 30 millones de hectáreas con una densidad promedio de 200 plantas de nopal silvestre por hectárea y sólo el Estado de Zacatecas, producía anualmente 1.25 millones de t de tuna cardona. Valadéz (1979) indica que *Opuntia streptacantha* (nopal cardón) se localiza en Zacatecas, San Luis Potosí, Durango, Guanajuato y Aguascalientes, en una extensión aproximada de 3.8 millones de hectáreas, en tanto que *Opuntia leucotricha* (nopal duraznillo) se encuentra en 4.5 millones de hectáreas en las mismas entidades. González y Schelfey (1964) afirman que el nopal se encuentra distribuido en casi todo el territorio mexicano, pero su mayor importancia pecuaria la tiene en los estados del norte. Las especies más adecuadas para el establecimiento de huertas de nopal para verdura, son aquéllas que presentan pencas que tienen pocas espinas, poseen gran cantidad de agua y poca fibra. Entre ellas sobresale el nopal de castilla *Opuntia ficus-indica* (CODAGEM, 1979). En México, de aproximadamente 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea* clasificadas, se utilizan 24 especies para consumos diversos: 15 de ellas como nopal para forraje, seis para tuna y tres para nopal verdura, siendo las últimas especies: *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia robusta* y *Nopalea cochellinifera*; mismas que con sus diversas variedades existen en las principales zonas de producción nacional (Tabla 1).

Superficie sembrada, cosechada, rendimientos y producción

La producción de nopal puede clasificarse en tres grandes tipos: nopaleras silvestres, de huertos familiares y en plantaciones. La producción en nopaleras en su gran mayoría silvestres, se estima en tres millones de hectáreas (Flores, *et al.*, 1995). Se localizan distribuidas en zonas áridas y semiáridas de partes de Sonora, Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo. Las nopaleras silvestres en estas regiones son fuente de forraje para ganado. En las zonas urbanas se usa en la alimentación de ganado lechero, cosechándose y trasportándose a los establos lecheros. También se abastecen procesadoras agroindustriales, siendo envasado en salmuera o

escabeche por diversas empresas, para mercado de exportación, y en segundo término, para consumo en el mercado nacional. En los huertos familiares se cultivan los nopales como cercos o dentro del cerco de la casa para producir nopalito, tuna y forraje. Las variedades comerciales surgieron de estos huertos. Actualmente se desconoce la superficie de nopal sembrada bajo esta modalidad.

Tabla 1. Principales variedades de nopal cultivadas en México.

Variedad	Entidad de producción	Especie
Milpa Alta	Distrito Federal, Morelos	<i>O. ficus-indica</i>
Atlixco	Puebla, Estado de México	
Copena VI	Estado de México, Baja California, San Luis Potosí, Sonora, Hidalgo	
Copena FI	Estado de México, Sonora, Baja California	
Moradilla	Estado de México	
Blanco	Michoacán	
Negro	Michoacán, Guanajuato	
Blanco con espinas	Guanajuato	
Polotitlán	Estado de México	
Tamazunchale	San Luis Potosí, Hidalgo	<i>N. cochellinifera</i>
Tapón [¶]	San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Querétaro	<i>O. robusta</i>

[¶] Nopal silvestre y plantado como cerco de huertos familiares y parcelas agrícolas, objeto de recolección. Fuente: Flores *et al* (1995).

Dentro del grupo de las principales hortalizas que produjo México en 1999, de acuerdo a SAGARPA (1999), la producción de nopalito en México se ubica en el lugar número 11 en volumen y en el lugar 12 en lo que se refiere a valor de la producción, tal y como se muestra en la Tabla 2. La superficie sembrada con nopal en México durante 1999 de acuerdo a las cifras oficiales fue de 7,327 ha -aunque Flores *et al* (1995) reportaron la existencia de 10,500 hectáreas con información obtenida por las delegaciones estatales de la SAGARPA y de productores regionales-, distribuidas en 19 estados, 14 de los cuales participan con baja proporción con áreas menores a las 300 ha sembradas y que en conjunto representan el 17 % con 1,243 ha. El resto se encuentra en los Estados de Morelos, con 796 ha, San Luis Potosí con 380, Tamaulipas 378 y Baja California

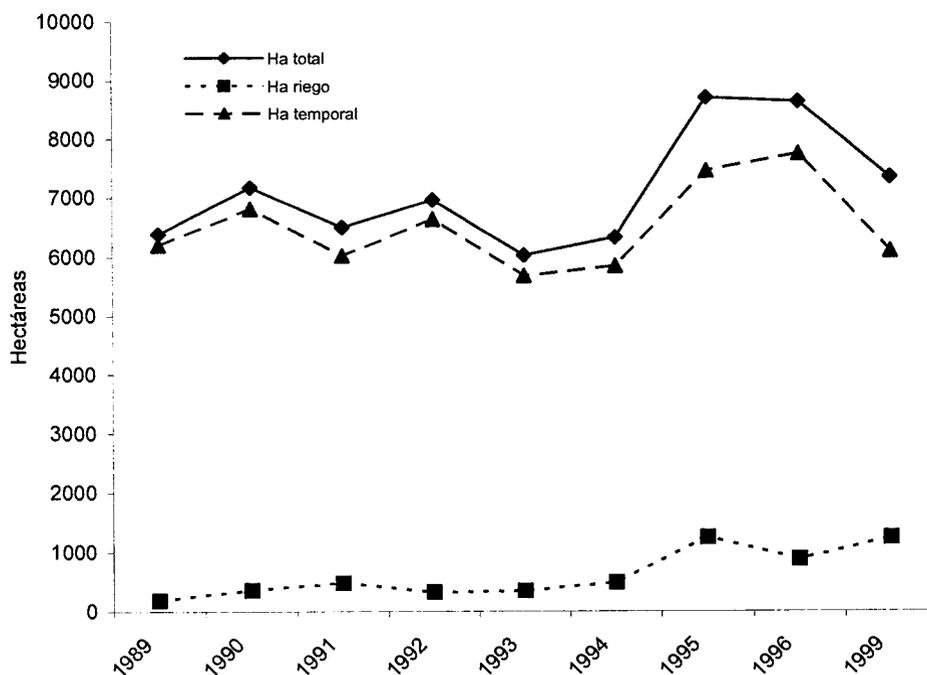
con 371 ha, significando este grupo el 26 %. Destaca el Distrito Federal con 4,159 ha que equivalen al 57 % de la superficie total.

Tabla 2. Principales hortalizas producidas en México en 1999.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento t ha ⁻¹	Producción (miles t)	Valor de la producción (miles de pesos)
Tomate rojo	83,090	81,422.42	29.30	2,385.52	8,876.21
Papa	67,130	65,650.29	22.50	1,477.35	5,385.61
Chile verde	93,991	90,778.67	13.66	1,240.34	4,215.15
Cebolla	53,316	51,778.67	23.58	1,226.02	2,093.39
Sandía	43,599	40,679.09	22.41	911.80	1,382.96
Melón	31,610	30,883.07	20.83	643.18	1,392.19
Tomate verde	44,438	42,967.05	12.38	531.90	1,811.58
Pepino	18,813	18,437.28	25.75	474.74	848.44
Calabacita	29,844	28,532.12	14.63	417.56	1,252.19
Zanahoria	15,882	15,740.75	23.07	363.20	508.48
Nopalitos	7,327	7,152.00	44.52	318.42	650.52
Elote	29,476	29,376.01	10.50	308.33	278.61
Brócoli	21,516	21,078.71	12.47	262.95	644.31
Col (repollo)	7,681	7,523.60	33.83	254.54	353.49
Lechuga	10,827	10,660.85	20.25	215.89	454.74
Fresa	6,570	6,453.09	21.19	136.74	690.09

Fuente: SAGARPA-CEA (1999)

La evolución de la superficie sembrada de nopal en México se ilustra en la Figura 1, donde se aprecia la importancia que ha adquirido el cultivo en los últimos años. En la década de los noventa, la tasa de crecimiento medio anual de la superficie sembrada de nopal fue de 1.46 %. Sin embargo, la superficie de nopal producido bajo condiciones de temporal registró una tasa de crecimiento medio anual de 0.19 %, mientras la superficie bajo riego alcanzó un crecimiento medio anual del 56.8 %, lo que muestra la importancia de la tecnificación del cultivo.

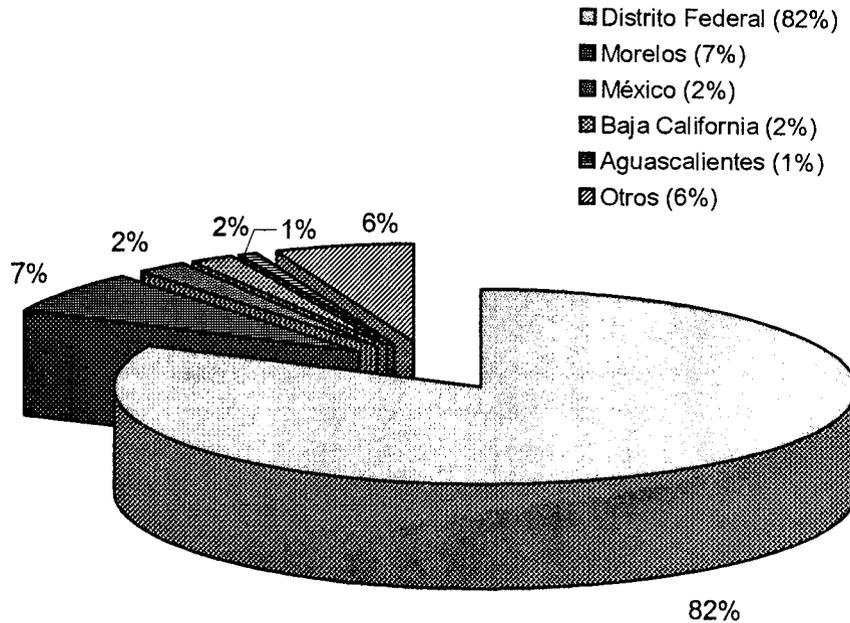


Fuente: SAGARPA-CEA 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

Figura 1. Evolución de la superficie sembrada con nopalito en México.

Cabe señalar que las áreas de cultivo en los principales Estados productores no muestran grandes crecimientos. Sobresale el Estado de Morelos, segundo Estado productor, que pasó de 2 ha en 1989-90 a las 795 ha cosechadas en el año 1999, así como Baja California con un incremento en el mismo período de 74 a 312 ha y Aguascalientes de 79 a 233 ha cosechadas. Existió además la disminución de áreas dedicadas al cultivo, por factores de rentabilidad, reconversión de cultivos y otros, que afectaron a entidades productoras como Jalisco, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Puebla, principalmente. En lo referente a la producción de nopalito fresco, los Estados principales en 1999 fueron el Distrito Federal con 258,985 toneladas, Morelos con 21,833 toneladas, Estado de México, Baja California y Aguascalientes con 7,495; 5,783 y

4,723 toneladas, respectivamente. Los demás Estados contribuyeron con un total de 19,606 toneladas (Figura 2).



Fuente: SAGARPA-CEA 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

Figura 2. Distribución de la producción de nopal durante 1999.

De acuerdo a las estadísticas de SAGARPA-CEA (1999), los máximos rendimientos se observan en la región nopalera del Distrito Federal con 62.27 t ha^{-1} , seguida de Quintana Roo con 46.00 , Puebla con 40.04 y Zacatecas con 34.6 . Estas tres entidades tienen superficies limitadas de explotación. Otros Estados productores de importancia tuvieron rendimientos promedio en 1999 de 34.3 t ha^{-1} para el Estado de México, 27.46 para Morelos, 21.17 para Aguascalientes y de 18.53 t ha^{-1} para Baja California. Tales rendimientos promedio son en condiciones de temporal.

Comercialización y precios del nopal en el mercado interno

De acuerdo con Flores (1995) el lugar más importante de venta de nopalito en México es la Central de Abastos de Iztapalapa, Distrito Federal, donde se estima una comercialización del 77 % del nopal producido en México. Ahí concurren productores e intermediarios de todo el país. El nopalito comercializado en esta central de abasto proviene en un 80 % de la región de Milpa Alta, mientras que de 5 a 9 % proviene del Estado de Morelos. En 10 naves se realiza la venta al mayoreo y medio mayoreo, mientras que en otras dos se eliminan las espinas en grandes cantidades para entrega inmediata y se realiza la venta al menudeo. La forma de venta es directa entre vendedor-comprador, sin contratos específicos que definan las características del producto y/o alcances de responsabilidad de los participantes. La venta puede ser directamente, en piso, sobre los pasillos al mayoreo y medio mayoreo; es trasladada al área de carga y descarga donde se vende sobre el camión, una vez acordados los precios del flete, la mercancía es cambiada de transporte en esta misma área. Estudios de comercialización en distintas entidades mexicanas, realizados por Flores (1995) para distintas entidades mexicanas arrojaron los márgenes de comercialización descritos en la Tabla 3.

Es interesante destacar que el estudio muestra que un amplio margen de comercialización se queda con el productor mismo, a diferencia de otros productos agropecuarios. El empaque en que se vende es diferente de acuerdo con el mercado de destino, ya que se entrega en cajas de cartón, rejas de madera, o bien en pacas. Para conservarse en mejores condiciones, el nopal con espinas se maneja en los tres tamaños conocidos como grande, medianos y cambray o chico, redistribuyéndose a otras centrales de abasto del país, además de los tianguis, mercados municipales y locales, de la ciudad y áreas contiguas. Ellos a su vez lo venden a detallistas que lo limpian, se eliminan las espinas y se seleccionan dándole valor agregado y lo venden al comprador de menudeo. Las pacas son vendidas en mercados de la metrópoli, tianguis y mercados ambulantes (Flores, 1995).

Tabla 3. Márgenes de comercialización del nopalito en distintas entidades mexicanas (% sobre el precio final).

Concepto	DF	MOR	PUE	MICH	GTO	ZAC	SON
Margen al productor	39.00	30.27	21.25	16.00	25.19	41.82	41.75
Margen al bodeguero	21.50	22.70	12.50	35.20	22.22	9.45	24.00
Margen al detallista	22.50	23.24	32.88	23.60	22.22	26.91	24.50
Márgenes totales	83.00	76.22	65.63	74.80	69.63	78.18	90.25

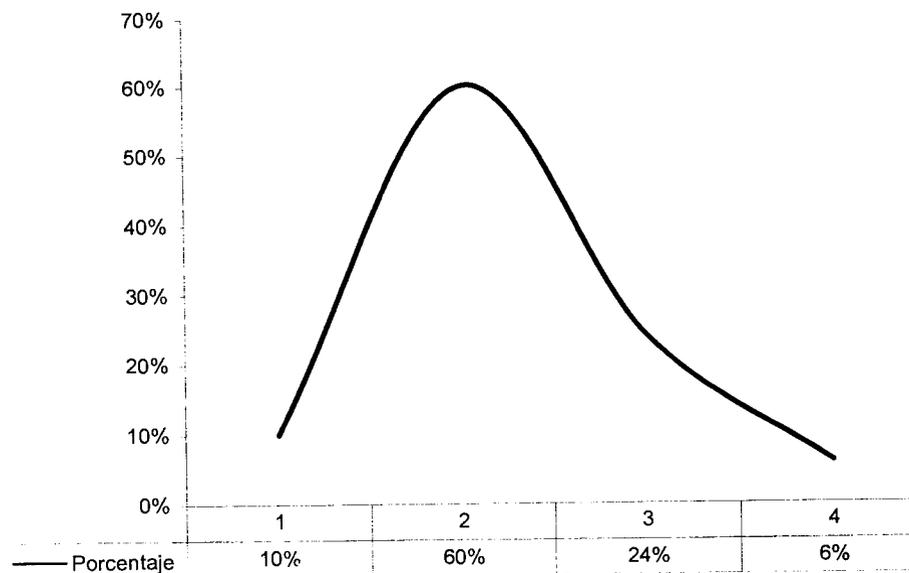
DF= Distrito Federal, MOR= Morelos, PUE= Puebla, MICH= Michoacán, GTO= Guanajuato, ZAC= Zacatecas, SON= Sonora.

Fuente: SAGARPA-CEA. (1999). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

La venta por cantidad de nopalitos (normalmente se hace en cientos) se realiza al medio mayoreo envasado en bolsas de polietileno y cajas de desecho de frutas y verduras, para ser vendidos posteriormente al detalle por docena o kilogramos, con o sin espina. La venta al menudeo se hace en bolsas con presentación de diez kilos, con o sin espinas o bien cortado en tiras. Es en esta área donde se eliminan las espinas del nopal en grandes cantidades, para negociar una venta al menudeo, generalmente con amas de casa, encargados de compras de restaurantes, comedores de fábricas, hospitales, etc. Existen cuatro temporadas en las que el precio rige su denominación de buena, mala, regular y muy buena. Los meses correspondientes y los porcentajes de oferta de nopal se muestran en la Figura 3.

Con base a los precios obtenidos, se tienen una sobreoferta en la época que se define como mala de marzo a julio y que concentra un 60 % del volumen anual, mientras que en la temporada muy buena sólo el 6 % del volumen total se comercializa en los meses de noviembre y diciembre. Los precios del nopal verdura comenzaron a ser reportados por el Servicio Nacional de Información de Mercados (SNIM) en años recientes para las diferentes centrales y mercados de abasto del país. En la Tabla 4 se muestra que los precios nominales del nopal verdura se incrementaron de \$1.83 por kg en 1989 a \$2.67 por kg promedio en 1995. También se aprecia que en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, el

nopal verdura alcanza los mayores precios (SAGARPA-CEA, 1999; Sistema Nacional de Información de Mercados (SNIM), 1998).



1. \$ Bueno. Producción Regular (enero-febrero).
2. \$ Malo. Producción Alta (mar-abril-mayo-junio-julio).
3. \$ Regular. Producción Media (agosto-septiembre-octubre).
4. \$ Muy Bueno. Producción Baja (noviembre-diciembre).

Figura 3. Distribución anual de volúmenes comercializados en la Central de Abastos de Iztapalapa (%). Fuente: Sistema Nacional de Información de Mercados (1998).

En la figura anterior se observa que la mejor época de comercialización es de noviembre a diciembre, dado que el porcentaje de rechazo es de 6%. Los movimientos en cada estación de los precios nominales del nopal a lo largo del año responden más a problemas de volumen de oferta a lo largo del año que a fluctuaciones importantes en la demanda. En los últimos tres años, el comportamiento estacional de los precios en las diversas

centrales es de la siguiente manera: los meses de precios bajos son febrero a septiembre, iniciando un alza en su precio en octubre, para culminar con los precios más elevados durante noviembre, diciembre y enero. Bajando nuevamente a finales de enero, siendo este su comportamiento del mismo en todos los mercados. Al apreciar las cifras del mercado que abarcan los mayores volúmenes comercializados, la central de Iztapalapa, se observa que para un ciento de nopal grande, el precio promedio anual de enero a diciembre de 1998 fue de \$32.52, mientras que en 1999 fue de \$29.24, en el 2000 de 25.57 y de 27.15 en lo que va de enero a julio de 2001. También se encuentra que los precios máximos, medios y mínimos son mayores en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, pudiendo ocurrir que los precios sean más bajos o más altos de un año a otro (SAGARPA-CEA, 1999; Sistema Nacional de Información de Mercados, 1998).

Tabla 4. Precios nominales mensuales del nopal verdura en la Central de Abastos de Iztapalapa, 1989-1995 (pesos kg⁻¹).

Mes / año	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	Prom. mensual
Enero.	0.71	2.13	1.68	1.35	1.07	1.64	1.37	1.42
Febrero	0.75	0.93	0.77	1.50	0.65	1.58	1.68	1.12
Marzo	0.85	0.37	0.52	0.81	0.74	0.61	1.01	0.70
Abril	0.56	0.50	0.50	0.63	0.62	0.75	0.67	0.60
Mayo	0.38	0.36	0.78	1.26	0.69	1.00	1.03	0.79
Junio	0.42	0.36	0.69	0.94	0.84	0.56	1.18	0.71
Julio	0.54	0.66	0.75	0.49	1.30	0.77	1.07	0.80
Agosto	0.50	1.47	0.81	0.61	0.71	1.12	1.27	0.93
Septiembre	0.37	1.06	0.60	1.66	0.56	1.87	1.69	1.12
Octubre	1.12	1.05	1.47	2.46	1.59	1.83	2.44	1.71
Noviembre	1.64	1.86	2.39	3.00	2.14	0.95	1.94	1.99
Diciembre	1.24	2.14	1.95	2.51	1.24	0.76	3.00	1.83
Promedio	1.33	2.15	2.51	2.45	2.13	2.65	2.67	
Anual								

Fuente: Flores, *et al* 1995.

En otros mercados regionales de México los precios del nopalito fresco, al igual que en la Central de Abastos (CEDA) de Iztapalapa, difieren en el año. La Tabla 5 ilustra el comportamiento de estos para el año de 1998 en

las principales ciudades consumidoras, observándose que donde alcanza los mayores precios es en el D.F., San Nicolás de los Garza, Nuevo León y Torreón, Coahuila, de donde a la vez, se distribuye a otras ciudades fronterizas del norte del país (Ciudad Juárez, Chihuahua, principalmente).

Tabla 5. Variación de precios del kilogramo de nopalito con espinas en distintas centrales de abastos de México.

Mes	CEDA D.F.	Guadalajara Jalisco	San Nicolás de los Garza, N.L.	Puebla	Mercado Madero en Hermosillo, Sonora	Torreón, Coahuila
Enero	4.32	5.36	4.39	5.62	4.50	6.10
Febrero	3.87	2.42	4.13	4.79	4.66	5.50
Marzo	1.40	1.05	2.34	1.44	2.45	2.49
Abril	1.39	0.82	2.00	0.81	1.71	1.65
Mayo	2.36	1.18	2.28	1.10	1.98	1.47
Junio	2.59	1.26	2.45	1.07	2.28	1.30
Julio	1.59	1.03	2.02	0.90	2.03	1.55
Agosto	1.54	0.86	2.05	0.79	2.02	1.68
Septiembre	2.95	1.21	2.73	1.55	2.11	3.23
Octubre	6.37	2.63	5.38	4.82	2.74	6.05
Noviembre	6.00	2.62	5.24	5.97	3.41	6.71
Diciembre	5.64	2.95	4.30	4.09	3.77	6.77
Promedio	3.34	1.95	3.28	2.75	2.50	3.15

Fuente: SNIM. 1998. México.

La demanda del nopalito se circunscribe prácticamente a la cocina mexicana y a la población de origen mexicano en el extranjero. Geográficamente la demanda en el país no es homogénea; se concentra en el centro y es menor en la zona norte con tendencia a aumentar, siendo casi nula en las costas (Flores, 2002). Esta demanda es constante en el año con épocas de mayor flujo en cuaresma y navidad. Una de las razones que explican su incremento es por motivos de salud. Al saber de los beneficios que conlleva su consumo, el consumidor incrementa su demanda. Estos beneficios son: ayuda a la disminución de peso y el abatimiento de los niveles de azúcar y el colesterol en la sangre. Gómez *et*

al. (1992) reportan que el consumo *per cápita* en México es mayor a medida que el nivel de ingresos se eleva, siendo mayor el consumo en el centro del país que en el noroeste.

La mayor demanda de nopalito en el extranjero se presenta en EUA en las ciudades de Los Ángeles y San Diego, California; Houston, Dallas y San Antonio, Texas y en la ciudad de Chicago y Nueva York. En los centros comerciales además de venderse nopalito preparado en salmuera o escabeche, se encuentra con espinas, nopalito limpio y recientemente se vende limpio y picado en bolsa de plástico sellada. Todas estas presentaciones en verde se localizan en mesas que cuentan con sistema de enfriamiento. Se considera que la demanda de nopal es homogénea durante todo el año, repuntando en cuaresma y navidad. Es por esto que el consumo nacional aparente de "nopalito" sigue el balance estricto de producción, existiendo un gran potencial de expansión en el mercado doméstico, incorporando e incrementando el consumo en las zonas costeras y del sureste del país, así como a las regiones menos abastecidas del norte. Además de penetrar en los sectores de altos ingresos en las ciudades (SAGARPA-CEA, 1999).

Considerando en México una población estimada en 97.362 millones de habitantes, acorde a las cifras preliminares del censo de población, el consumo *per cápita* aproximado de nopal en 1999 fue de 3.27 kg, ocupando el undécimo lugar dentro de las principales hortalizas producidas en México. Como se aprecia en la Tabla 6 (Negrete, 2000), las principales zonas productoras que distribuyen al interior del país el nopal verdura son Milpa Alta, D.F., Otumba (Estado de México) y Tlalnepantla, Morelos; las cuales destinan su producción a las tres importantes ciudades industriales del país que son: Guadalajara, Monterrey y Torreón. Le sigue Zacatecas que de igual manera distribuyen su producción a las ciudades antes mencionadas, incluyendo dos mercados (Tijuana B.C. y Ciudad Juárez, Chihuahua). Se observa también que Tamazunchale, San Luis Potosí y Herz-Mante, Tamaulipas, destinan su producción al exterior principalmente a las ciudades de Texas, Chicago y Nueva York. Tecate y Ensenada, B.C. son otras de las ciudades que exportan nopal verdura a

los Estados Unidos, específicamente a Los Ángeles y San Diego (Sistema Nacional de Información de Mercados, 1998).

La industrialización del nopal en México

Existe en México un gran número de empresas que utilizan el nopal como materia prima para producir gran variedad de productos. Los productos elaborados con nopal se pueden agrupar de la siguiente manera:

Alimentos: nopalitos en salmuera, escabeche, en forma de mermeladas y dulces y en licores. Las fábricas que procesan nopalito para alimento en México se muestran en la Tabla 7.

Cosméticos: cremas limpiadoras, cremas humectantes, shampoo, enjuagues, mascarillas y jabones. Para la fabricación de productos de belleza y medicinales con base al nopal, al igual que las empresas procesadoras de alimentos a partir del nopal, se localizan en los estados del centro del país.

Medicinales: cápsulas, comprimidos y polvos.

Comercialización y precios en el mercado externo

Como se mencionó anteriormente, la población de origen mexicano residente en Estados Unidos de América es un mercado importante potencial de crecimiento a futuro en la comercialización de nopalito, si extrapolamos los gustos y hábitos alimenticios de la población mexicana y su gran representatividad en los EUA. El inicio de esta comercialización ocurre en los años setentas, sobre todo en la época invernal, sustituyendo los volúmenes marginales del producto de Texas y California. Es alrededor de los ochentas cuando Baja California y La Huasteca Potosina iniciaron a dirigir sus exportaciones hacia los mercados de Dallas, Chicago, El Paso, Laredo, Los Ángeles, Nogales, San Diego, etc. (Pimienta, 1994).

Tabla 6. Mercado del nopalito en el interior de México.

Estado productor	Ciudad y Estado consumidor
Milpa Alta, Distrito Federal	CEDA Iztapalapa, D.F., Monterrey, Guadalajara, Torreón, ciudades del Sureste. Exportación a EUA.
Tamazunchale, S.L.P. Herz-Mante Tamaulipas	Tampico, Cd. Victoria, Tamaulipas; Monterrey, N.L. y exportaciones a Texas, Chicago y Nueva York.
Zacatecas	Guadalajara, Monterrey, Zacatecas, Torreón, Cd. Juárez y Tijuana.
Aguascalientes	Guadalajara, Morelia, Uruapan, Cd, Lázaro Cárdenas.
Valtierrilla, Guanajuato	Querétaro, Celaya, Guanajuato, Salamanca, Irapuato y León
Mexicali, Baja California, Tecate, Ensenada, Las Salinas	Mercado local y Tijuana. Los Ángeles, San Diego otras ciudades de California, USA.
Oeste de la Laguna de Chapala, Jalisco	Mercado local, Noreste de México
Valles Centrales, Oaxaca	Ciudad de Oaxaca
Cuautitlán-Texcoco y Pirámides, Estado de México	CEDA del DF, Central de Ecatepec, Central de Tultitlán
Coatepec, Harinas. Estado de México Polotitlán	Oeste del Estado, Toluca San Juan del Río, Querétaro, Celaya
Tlalnepantla, Morelos	Central de Abastos del D.F., Cuautla y Cuernavaca, Morelos, Acapulco, Guerrero, Monterrey, N.L., Saltillo y Torreón, Coahuila
Tlaxcalancingo, Atlixco y Acatzingo, Puebla	Puebla, Tlaxcala, Cd. De México, Guadalajara, Veracruz y Tabasco.
Ziracuaretiro, Michoacán	Guadalajara, Morelia, Uruapan, Cd. Lázaro Cárdenas.

El nopal se exporta en fresco en diversas presentaciones, en fresco con espinas, sin espinas y cortado; procesado en salmuera o escabeche; precocido y congelado. No hay información suficiente para establecer la cantidad de industrias que procesan actualmente el nopal; sin embargo, el producto se exporta a los mercados con etiquetado de grandes empresas como La Costeña, Herdez-Doña María, Frugo, Ann O'Brian, Clemente Jacques, Embasa y Coronado (Flores y Gallegos, 1994). Todas ellas

trabajan al nopal como uno más de sus productos, existiendo además la maquila de producción de pequeñas empresas que hacen productos similares a escala regional para venta en grandes ciudades o bien en forma de maquila para comercializadores de la frontera. El producto procesado no tiene sentido para el mercado local, los pequeños productores no pueden obtener fácilmente el registro de la FDA para el mercado de Estados Unidos de América, por lo que la maquila es necesaria. Se localizan fábricas de procesamiento en diversos Estados de la república, destacando San Luis Potosí, Guanajuato, Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala, Zacatecas, Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Baja California. Existen también cerca de 20 plantas que elaboran nopal deshidratado en polvo, cápsulas o comprimidos, incluso se envía al extranjero a través de la empresa Obepal en Saltillo, Coahuila, la mayoría se ubican en el Estado de México, Coahuila, Veracruz, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí, Nuevo León y Sinaloa.

Exportaciones mexicanas de nopal

La producción de nopalito, además de México, se realiza en Estados Unidos de América en los Estados de Texas y California, con 100 hectáreas en producción (datos de 1995), siendo las variedades más comúnmente utilizadas en estos Estados las del género *Nopalea*, que presentan un verde brillante, con pocas espinas y con una cutícula gruesa, desatendiendo el hecho en que muchos consumidores prefieren las variedades de *Opuntia* de origen mexicano.

México no tiene realmente competencia en cuanto a la exportación de esta hortaliza. Actualmente, no es un gran volumen lo que significa el mercado de exportación del nopalito fresco. En el período de 1995 a 1996, oscilaban los 2.5 millones de dólares, con un volumen aproximado de 4,000 toneladas, que representaban apenas el 1.36 % de la producción nacional del mismo año, mientras que el monto estimado para el negocio de nopalito procesado, se calculaba en una cifra de 7.5 millones de dólares (Flores, 1995). Debido a la amplia aceptación de la comida mexicana, la exportación de nopalitos procesados ha sido creciente hacia Europa, Canadá, Países de la Cuenca del Pacífico, entre otros. En la

Tabla 8 se muestran las cifras de exportación total y las registradas hacia los Estados Unidos de América (Flores, 2002).

Tabla 7. Agroindustrias procesadoras de nopalito para alimento en México.

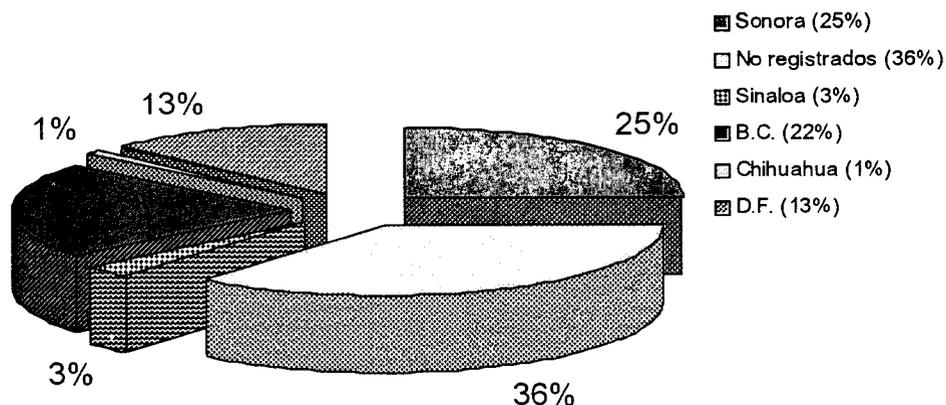
Agroindustria	Ciudad	Marca
Productos Frugo, S.A. de C.V.	Salamanca, Guanajuato	Frugo
Arancia, S.A. de C.V.	Celaya, Guanajuato	Embasa, Pueblito, La Gloria
Consil o Ann O'Brien, S.A. de C.V.	Silao, Guanajuato	Ann O'Brien
Herdez S.A. de C.V.	San Luis Potosí, SLP	Doña María
Rompepe Coronado	San Luis Potosí	Coronado
Conservas La Costeña	Tulpetlac, Estado de México	La Costeña
Clemente Jaques	Querétaro, Querétaro	Clemente Jaques
Conservas Delicius	Pachuca, Hidalgo	Delicius
Productos San Joaquín	Tecozanutla, Hidalgo	San Joaquín
Productos Milpa Alta	Milpa Alta, D.F.	Escabeche
Mauro Robles, S.A. de C.V.	Villanueva, Zac.	El Carretero
Agroprocesos Pro Bajío, S.A. de C.V.	Celaya, Guanajuato	Pro Bajío
Empacadora Rila, S.A. de C.V.	Aguascalientes, Ags.	Rila
Soc. Coop. Pronopval, S.C.L.	Salamanca, Guanajuato	Valtierrilla
PAV S.A. de C.V.	Salamanca, Guanajuato	Rancherito
Granjita del Centro	Cortazar, Guanajuato	La Granjita del Centro
Empacadora del Centro, S.A. de C.V.	Nopalulan, Puebla	San Marcos
El Paraíso S. de R.L.	Hejotzingo, Puebla	Rossina
Agrícola Carsan, S. de R.L.	Ensenada, B.C.	La Costa
Agroindustria Milpa Alta S. De R.L.	Milpa Alta, D.F.	Milpa Alta

Fuente: Flores y Olvera, 1994.

Tabla 8. Exportación de nopalitas procesados en México.

Año	Exportación Total	Exportación a EUA	
	(t)	(t)	(%)
1991	6,329.10	4,048.70	63.97
1992	5,650.00	3,097.70	54.83
1993	5,807.10	3,443.00	59.29
1994	9,878.30	3,526.40	35.70
1995	11,253.00	2,185.60	19.43

La participación porcentual de las diversas entidades mexicanas productoras de nopal para el año 1999 se muestra en la Figura 4. Las exportaciones de nopalito en 1999 tuvieron como origen los estados de Chihuahua, Sonora, Baja California (881 toneladas) y el Distrito Federal (521 toneladas) (SAGARPA-CEA, 1999).



Fuente: ASERCA (con datos de la Secretaría de Economía).

Figura 4. Entidades mexicanas de origen de las exportaciones de nopalito fresco, 1999.

Aranceles al comercio de nopalito con Estados Unidos de América y Canadá

Como todo producto de consumo, el nopal quedó incluido en el TLCAN, así como con la Unión Europea. Las cuotas arancelarias se acordaron conforme a la Tabla 9, dentro del TLCAN y con las fracciones descritas, apareciendo en la misma tabla los porcentajes del arancel vigentes hasta antes del Tratado (% *ad valorem*), así como el código de desgravación acordado. Cabe señalar que la fracción arancelaria en la que se encuentra al nopal, incluye alcachofas, setas y trufas. Aunado a esta negociación, se tiene la del Tratado de Libre Comercio México-Unión Europea, donde el nopalito quedó incluido dentro del capítulo 07-Legumbres y Hortalizas, Plantas, Raíces y Tubérculos alimenticios; Partida 0709-. Las demás hortalizas (incluso silvestres), frescas o refrigeradas; Subpartida 070990-. El resto se ubicó en la fracción 07099090- otros (Pimienta, 1994).

Para esta partida, se especifica que la tasa base de arancel es de 11.80 en categoría tres. En esta categoría al entrar en vigor el tratado, la cuota se reduce a 89 % del arancel base y en los años subsecuentes tendrá reducciones sucesivas del 11 % anual de dicho arancel, hasta quedar eliminados por completo a los ocho años. Los volúmenes de nopalito fresco reportados por el USDA (Green y Plummer, 1992) para el año fiscal 1991 (que termina en septiembre de 1991) aparecen en la Tabla 10.

Normas de calidad

El nopal está circunscrito a dos normas vigentes: la Norma Oficial Mexicana NOM-FF-68-1988 (DGN-SECOFI) y la Norma Codex Stan 185-1993 (Codex Alimentarius-FAO). Con relación a la definición del producto y especies de aplicación, ambas normas se aplican para las especies "*O. ficus indica*", "*O. tormentosa*", y "*O. hyptiacantha*", "*O. robusta*", "*O. inermis*", y "*O. ondulata*". Al respecto cabe señalar que faltaría por incluir a una especie del género *Nopalea* que también se usa como verdura en La Huasteca Potosina y Tamaulipeca, la cual se trata de *N. cochenillifera* L.

Tabla 9. Nopal verdura en el Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN).

Fracción Arancelaria	Concepto	Exportaciones		Importaciones	
		A ESTADOS UNIDOS	A CANADA	DE ESTADOS UNIDOS	DE CANADA
07.09	Otros vegetales frescos o refrigerados.	07.09.90.40 Otros (cactus leaves). 25 % "A"	07.09.90.91 Cactus leaves (Nopales) Libre "D"	07.09.90.99 Los demás 10 % "A"	07.09.90.99 Los demás 10 % "A"
07.10	Legumbres y hortalizas (incluso cocidas en agua o vapor) congeladas.	07.10.90.99 Otros 17.50 % "B"	07.01.80.91 (Cactus leaves) Libre "D"	07.10.80.99 Los demás 15 % "B"	07.10.80.99 Los demás 15 % "A"
20.01	Legumbres, hortalizas, frutos y demás partes comestibles de plantas, preparadas o conservas en vinagre o ácido acético.	20.01.90.60 Otros 17.50 % "A"	20.01.90.99 Otros Libre "D"	20.01.90.99 Los demás 17 % "C"	20.01.90.99 Los demás 20 % "A"
20.04	Las demás legumbres y hortalizas preparadas o conservadas (excepto en vinagre o ácido acético) congeladas.	20.05.90.87 Otros 17.50 % "A"	20.04.90.91 (Cactus leaves) Libre "D"	20.04.90.99 Los demás 17.50 % "A"	20.04.90.99 Los demás 20 % "A"
20.05	Frutos y demás partes comestibles de plantas preparados o conservados de otra forma, incluso con adición de azúcar, o de otros edulcorantes o de alcohol, no expresados ni comprendidos en otra forma	20.05.90.87 Nopalitos 17.50 % "A"	20.05.90.91 Cactus leaves Libre "D"	20.05.90.99 Los demás 20 % "A"	20.05.90.99 Los demás 20 % "A"

Código "A" Libre de arancel.

Código "B" Desgravación en cinco etapas iguales, libres de arancel en enero de 1998.

Código "C" Desgravación en 10 etapas anuales iguales desde 1 de enero de 1994 a 1 de enero de 2003.

Código "D" Libre de arancel al entrar en vigor el tratado para el 1 de enero de 1994.

Fuente: ASERCA, 2001.

Las normas se aplican a las mismas especies y se refieren al cladodio con una diferencia significativa, la Norma Mexicana se refiere al nopal con espina mientras que la Codex (Sistema de Normas de Códigos para Exportación) se refiere al nopal libre de espinas. Las categorías de clasificación en la Norma Mexicana son: "México Extra", "México 1" y "México 2", mientras que en la norma Codex: "Clase Extra", "Clase I", y "Clase II", existiendo correspondencia entre éstas. Las categorías de clasificación por tamaño cubren los mismos rangos en ambas normas (desde 9 hasta 30 cm), con la diferencia de que en la Norma Mexicana, las categorías van de mayor a menor (asignándole la letra "A" a la categoría de mayor tamaño (de 25 a 30 cm), mientras que en la norma Codex las categorías van de menor a mayor, asignando la letra "A" al rango de menor tamaño (de 9 a 13 cm).

Tabla 10. Volúmenes de nopalito importados por EUA por país de origen y puerto de entrada (1 de octubre de 1991 a 30 septiembre de 1992).

País /(Puerto de entrada)/ Destino	Volumen (kg)
<u>Chile/</u>	
New York, N. Y.	1,474
<u>México/</u>	
Chicago, Illinois	400
Dallas, Texas	18
Eagle Pass, Texas	2,084
El Paso, Texas	99,771
Hidalgo, Texas	238,723
Laredo, Texas	429,186
Los Ángeles, California	51,550
Nogales, Arizona	60
Progreso, Texas	110,458
Roma, Texas	3,542
San Diego, California	591,672
TOTAL MEXICO	1,527,464
TOTAL	1,528,938

Fuente: Green and Plummer, 1992.

Recomendaciones para mejorar el mercado de nopalito

- Promover campañas publicitarias en radio y televisión para el consumo de esta hortaliza, dentro y fuera del país en diversas presentaciones, destacando sus propiedades curativas, principalmente como preventivo y correctivo de la diabetes y regulador del azúcar.
- Diversificar las presentaciones del nopalito para su consumo (agregar valor a la cadena productiva).
- Fomentar el consumo del nopal en ciudades alejadas del centro del país y zonas costeras que por diversas situaciones el nopalito no constituye una tradición.
- Organizar en pequeñas medianas empresas a productores que se encuentran dispersos en formas de Asociaciones de Sociedades de Cooperación, con lo cual puedan tener mayor capacidad de negociación tanto en la compra de insumos como en la negociación de precios de venta en México y otros países.
- Orientar la producción de nopal hacia su industrialización como productos nacionales con alto potencial de mercado en México y el mundo.

Bibliografía

- ASERCA. 2001. Nopal. Leyenda, Comercio y Futuro en México: En Revista Claridades Agropecuarias Núm. 8. México. p. 25.
- Barbera, G. 1995. History, economic and agro-ecological importance. *In*: G. Barbera; P. Inglese y E. Pimienta B. Eds. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection. Paper 132. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 1-11.
- Barrientos P.F. y O. Brauer. 1964. Multiplicación Vegetativa del Nopal. Vida Rural México. 7(83):38-39.
- Barrego E., F. 1982. Avances en mejoramiento genético del nopal *Opuntia spp* en el Norte de México. *En*: Resúmenes del IX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p. 116.

- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Segunda Edición Vol. 1. México. Instituto de Biología. UNAM 755 p.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. México. Folleto Informativo No. 158. p. 10.
- Colín C., B. 1976. Industrialización del nopal y sus productos. Tecnología LANFI.
- Figueroa H., F. 1984. Estudio de las nopaleras cultivadas y silvestres sujetas a recolección para el mercado en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P. México. 171 p.
- Flores V., C. A. 1992. Historia del uso del nopal en México y el mundo. *En*: J. De la Fuente, R. Ortega P. y R. Sámano (Eds). Historia de la agricultura en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. Pp 55-60.
- Flores V. C. y M. Olvera. 1994. El sistema producto nopal verdura en México. SARH, UACH, CUESTAAM. Chapingo, México. 150 p.
- Flores, V. C., Juan M. De L. E. y Pedro P. R. M. 1995. Mercado mundial del nopalito. Chapingo, Estado de México. ACERCA, UACH, CUESTAAM, México. 115 p.
- Flores V., C. A. 2002. Producción, industrialización y comercialización de nopalito. *En*: Schwentesius R. R., I. Covarrubias G. Coordinadores. Frutas y Hortalizas. Estado actual y nuevas alternativas en México. PIAI CUESTAAM. Chapingo, Estado de México. 464 p.
- Flores V., C. A. y C. Gallegos V. 1994. Sistema-producto tuna. Subsecretaría de Agricultura, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Gallegos, V., C. y S. de J. Méndez G. 2000. La Tuna. Criterios y técnicas para su producción comercial. Universidad Autónoma Chapingo-Fundación Produce Zacatecas, A.C. y Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma Chapingo. México. 164 p.
- Green R. C. y C. Plummer S. 1992. U. S. Imports of fruits and vegetables under plant quarantine regulations, Fiscal Year 1991. Statistical, Bulletin Number 859. Economic Research Service. United States Department of Agriculture. USA. p 8-9.
- Gómez C., M. A., R. Rindermann y A. Merino. 1992. El consumo de hortalizas en México. Reporte de Investigación 07. CUESTAAM-UACH. Chapingo, Estado de México. 51 p.

- González C., A. y A. J. W. Scheffey. 1964. Los recursos espontáneos y su economía. Las Zonas Áridas del Centro y Noroeste de México y el Aprovechamiento de sus Recursos. México, D.F. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. pp. 71-77
- Kohls L. and Uhl Joseph N. 1990. Marketing of agricultural products. Purdue University. 7th edition. Macmillan Publishing Company. USA. 265 p.
- Lozano, G.M. 1958. Contribución al estudio e industrialización del nopal. Tesis Profesional. Saltillo, México, Universidad de Coahuila. Escuela de Agricultura. 56 p.
- Negrete H., S. 2000. Perspectivas del mercado nacional e internacional del nopal verdura. *En: Flores V., C. Ed. Memorias del curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal.* Chapingo, Estado de México. 102 p.
- Orona C. I., A. Flores H., M. Rivera G. y J.G. Martínez R. 2002. Desarrollo de tecnología para la producción de nopal hortícola bajo riego por goteo, una opción para la zona agrícola de la Comarca Lagunera". Informe final del proyecto de investigación. Clave SIVILLA: 19990406029. INIFAP-CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. 47 p.
- Peralta M., V. M. 1983. Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (*Opuntia spp*) de fruto (tuna) en el Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 76 p.
- Pimienta B., E. 1994. Perspectiva general de la producción de tuna en el mundo. *En: G. Esparza F. y S. de J. Méndez G., Eds. Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas (Memoria).* CECAM. Morelos, Zacatecas. México. Pp. 25-30.
- SAGARPA-CEA. 1999. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México, D.F
- Sistema Nacional de Información de Mercados (SNIM). 1998. México.
- Valadéz V., S.A. Valadéz V. y S. Chatelain M. 1979. Pigmentos de tuna cardona como posibles colorantes alimentarios. México. Boletín Técnico Informativo No. 15/18, Año 2, Tomo 1, CONAFRUT.
- Villarreal A. 1958. El Nopal como forraje para el ganado. *En: Primer congreso de investigación agrícola en México.* Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. pp. 210-220.
- Zorrilla A. S., y J. S. Méndez. 1994. Diccionario de Economía. Segunda Edición. Editorial Limusa. México, D. F. 296 P.

Tercera Parte

El Nopal en Baja California Sur

Experiencias de Investigación, Difusión
y Tecnologías de Producción



El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 205-254.

Capítulo 10

INVESTIGACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN EL CIBNOR SOBRE EL NOPAL COMO NUEVO CULTIVO EN EL NOROESTE DE MEXICO

Bernardo Murillo-Amador

Alfonso Villaseñor-Beltrán, Miguel Vélez-Moncada, Héctor
Adán Cortés-Ávila, Mayrlein Cadena-Carabantes, Nora A.
Velasco-Meza

Resumen

En el presente capítulo se presentan los resultados de las investigaciones realizadas con nopal en el CIBNOR desde 1996 a la fecha, las cuales se desarrollaron con el apoyo de estudiantes de la carrera de ingeniero agrónomo de la Universidad Autónoma de Baja California Sur y se han enfocado a aspectos de prácticas agronómicas tales como el uso de fertilizantes orgánicos y químicos, adaptación de genotipos a las condiciones agroecológicas de la entidad, evaluación del efecto de la salinidad en la producción de nopal verdura y en la búsqueda de fuente de germoplasma con resistencia a este factor abiótico.

Palabras clave: *fertilización química y orgánica, salinidad, nopales silvestres.*

Abstract

In this chapter are shown the results of the researches with prickly pear in the CIBNOR from 1996 to date, which have been developed with the support of students of the agronomist engineer from the Universidad Autónoma de Baja California Sur and they have been focused to aspects of practical agronomic such as the use of organic and chemical fertilizers, adaptation of genotypes to the environmental conditions of the state, evaluation of the effect of salinity in the production of greenness cladodes and in the search of sources of germplasm with resistance to this abiotic factor.

Key words: *chemical and organic fertilization, salinity, wild prickly pear.*

Antecedentes

Los trabajos de investigación con nopal en el CIBNOR iniciaron en 1996, año en que se consolidó la recién formada Fundación Produce Baja California Sur, A.C., la cual financió dos proyectos con nopal, que fueron desarrollados en el valle de Santo Domingo (establecimiento de parcelas demostrativas de nopal-verdura (*Opuntia* spp) como cultivo alternativo para la zona del valle de Santo Domingo, Baja California Sur) y en la región del Cabo (establecimiento de parcelas demostrativas y experimentales de nopal como alternativa forrajera en la región del Cabo, Baja California Sur). En 1997 se inició con la formación de un banco de germoplasma de nopal en el campo experimental del CIBNOR, realizándose recorridos a lo largo de la geografía estatal, con el fin de coleccionar genotipos mismos que han sido introducidos de otras entidades del país a las rancherías, ejidos y pueblos del Estado. A continuación se muestran los resúmenes de las investigaciones, eventos de difusión y capacitación realizados hasta la fecha en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., mismos que se han presentado en diversos congresos, en publicaciones de ámbito estatal, nacional e internacional y en diversos foros locales relacionados con el tema.

EFFECTO DE HORAS DE CORTE Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA SOBRE EL pH DE CULTIVARES DE NOPAL (*Opuntia* spp)

Bernardo Murillo-Amador y Alfonso Villaseñor-Beltrán

Introducción

Ciertas suculentas de la familia Crassulaceae aumentan el contenido ácido durante la noche, decreciendo durante el día. Estas plantas absorben CO₂ en la oscuridad, pero frecuentemente no a la luz (Bidwell, 1979). Este metabolismo involucra la síntesis de ácido málico por carboxilación durante la noche y el rompimiento de dicho ácido durante el día con liberación de CO₂ para la fotosíntesis, este proceso provoca que los “nopalitos” que por lo general se cosechan en las primeras horas de la mañana, presenten mayor acidez al ser consumidos inmediatamente después de ser cosechados, lo que puede afectar su calidad para el mercado. Los objetivos de este trabajo fueron, evaluar la acidez de “nopalitos” en ocho cultivares de nopal, así como el comportamiento de pH a diferentes horas de corte y diferentes dosis de estiércol bovino.

Materiales y métodos

Se evaluaron diferentes dosis de fertilización orgánica y cultivares de nopal-verdura, mismos que fueron colectados en el municipio de La Paz, con pequeños propietarios y ejidatarios que siembran en sus lotes estos materiales tanto para autoconsumo como para su venta en pequeña escala en comercios de la localidad. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La parcela grande, representada por los niveles de fertilización orgánica basada en la aplicación de estiércol de bovinos (D1= 400, D2= 800 t ha⁻¹ de estiércol bovino y D3=0 el cual es el testigo), la parcela media representada por los ocho cultivares de nopal-verdura (G1= Chapingo 1; G2= Copena V-1; G3= Regional, G4= Otumba; G5= Durango 1; G6= Durango 2; G7= Nopalea 1 y G8= Nopalea 2). Finalmente,

la parcela chica estuvo representada por las horas de corte (H1= 8:00 a.m., H2=13:00 p.m., H3=18:00 p.m.). Los cortes se efectuaron semanalmente y en las tres distintas horas en los cultivares respectivos, cuando los brotes alcanzaban su tamaño comercial y de acuerdo al comportamiento de los diferentes cultivares. Posteriormente se llevaron al laboratorio para determinar pH mediante el siguiente procedimiento: se tomó la penca respectiva, se limpió del polvo con brocha fina, se fraccionó con bisturí botánico y se tomaron al azar las fracciones obtenidas hasta completar una muestra de 50 g, se adicionaron 100 mL de agua destilada, se licuó con una licuadora-homogenizadora y se procedió a medir el pH con un potenciómetro portátil marca OAKTON. Para el análisis de los datos se realizaron comparaciones múltiples de medias (Duncan $p \leq 0.05$) con la finalidad de encontrar las diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos derivados de los factores en estudio.

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias significativas para la variable pH en los factores, cultivares y horas de corte. No se presentaron diferencias significativas para el factor fertilización orgánica. El análisis de medias (Duncan $p \leq 0.05$) mostró que para horas de corte, se presentó un valor promedio de 5.29 de pH a las 18:00 horas (menor acidez) y un valor promedio de pH de 3.73 a las 8:00 horas (mayor acidez), coincidiendo con Flores (1992) quien encontró que el genotipo AN-TV6 se debe cosechar en la tarde para obtener una acidez baja y poder ser consumido dentro de las 24 horas después de su corte. También García y Pimienta (1996) encontraron aumentos de pH en nopalitos conforme transcurren los días después de cosechados, tanto en luz como en oscuridad. Asimismo, Samish y Ellern (1975) y Nobel (1980) encontraron que las plantas de nopal, durante la noche, abrían los estomas y la concentración total de ácidos se incrementaba, a la vez que disminuía la concentración de almidones y glucosa; lo inverso ocurría en el día. Los primeros autores mencionan que el pH alcanza valores bajos en las primeras horas de la mañana y que el pH es elevado en los días soleados y cálidos durante la tarde. Con respecto al factor cultivares, la Tabla 1 muestra las diferencias

entre los cultivares evaluados, observándose Nopalea 1 y 2, y Durango 1 y 2, con baja acidez, mientras que el de mayor acidez fue el cultivar de Otumba, lo que coincide con Ramírez (1972) quien reportó que el nopal verdura posee un sabor agradable y ligeramente ácido, según la variedad y madurez.

Tabla 1. Valores promedio de pH al considerar los cultivares en estudio.

Cultivar	pH
Nopalea 2	5.54 a [¶]
Durango 1	4.52 a
Nopalea 1	4.48 ab
Durango 2	4.47 ab
Copena V-1	4.38 bc
Chapingo 1	4.37 bc
Regional	4.36 bc
Otumba	4.29 c

[¶]Valores con misma literal no difieren estadísticamente.

Conclusiones

Bajo el sistema de producción intensiva y condiciones agroecológicas de la época y región de estudio, se concluye que la mejor hora de corte es por la tarde (18:00 h) que es cuando se presenta menor acidez en "nopalitos" (pH>5). Con respecto a los cultivares evaluados, los menos ácidos fueron Nopalea 1 y 2 (nopales de jardín), Durango 1 y 2, mientras que el cultivar con mayor acidez fue el de Otumba. De esta manera, se explica la preferencia del consumidor por los "nopalitos de jardín" (G7 y G8, usados como testigos, con pH>4.5), que no destacan para consumo como nopal verdura por sus características químicas y alta viscosidad en sus pencas, comparados con los cultivares de Chapingo, Copena y el cultivar de Otumba, sin embargo, los nopales con pH>4.5 tienen una mayor preferencia por los consumidores.

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (ESTIÉRCOL BOVINO) EN CULTIVARES DE NOPAL (*Opuntia* spp) INTRODUCIDOS A BAJA CALIFORNIA SUR

Bernardo Murillo-Amador y Alfonso Villaseñor-Beltrán

Introducción

En el Estado de Baja California Sur, el nopal es un cultivo aun no destaca entre los más importantes, sin embargo, se espera que en el futuro sea una de las especies cultivadas con mayor impacto en la región, aunado al sistema de producción de agricultura orgánica, que es una actividad sumamente desarrollada en la entidad. El objetivo del presente estudio fue determinar el mejor sistema de producción al seleccionar genotipos de nopal con buena producción y número de brotes tiernos (nopalitas) considerando dosis de fertilización orgánica (estiércol bovino).

Materiales y métodos

En este trabajo se evaluaron cinco genotipos de nopal (Otumba, Milpa Alta, Regional, Durango 1 y Durango 2) y diferentes dosis de fertilización orgánica (0, 400 y 800 toneladas de estiércol bovino por hectárea). Los genotipos se colectaron en el municipio de La Paz, con pequeños propietarios y ejidatarios que siembran en sus lotes estos materiales tanto para autoconsumo como para su venta. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. La parcela grande o mayor estuvo representada por los genotipos y la parcela chica o menor por los niveles de fertilización orgánica. La unidad experimental estuvo representada por seis pencas, sembradas a una distancia de 20 cm entre pencas y 10 cm entre filas. La parcela útil consistió en tomar tres pencas centrales de la parcela experimental. Las variables consideradas fueron, número de brotes cosechados, peso fresco (producción) y seco de brotes (gramos/planta), largo y ancho de brote, área de brote, y peso promedio de brote. Se

realizaron análisis de varianza y comparación de medias (Duncan $P < 0.05$), utilizando el paquete SAS v. 6.12.

Resultados y discusión

En relación a los genotipos, todas las variables estudiadas mostraron diferencias significativas para este factor, a excepción de la variable número de brotes. En la Tabla 2, se muestran los valores promedio de cada una de ella.

Tabla 2. Promedios de variables consideradas en genotipos de nopal en diferentes dosis de estiércol bovino.

Cultivar	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Peso promedio de brote (g)
Otumba	405.2d [¶]	27.01 b	16.23 a	6.68 c	88.83 c	47.51 b
Milpa Alta	491.6 c	37.30 a	14.95 b	8.28 a	101.93 b	52.62 a
Regional	594.3 a	38.33 a	16.68 a	8.29 a	111.97 b	55.48 a
Durango 1	526.0 b	39.66 a	15.09 b	7.75 b	97.52 b	53.11 a
Durango 2	480.7 c	30.04 b	15.18 b	7.72 b	96.16 b	51.95 b

[¶] Medias con misma literal en columna, no difieren estadísticamente

De acuerdo con los resultados, el cultivar Regional presentó mayor peso fresco (producción), siendo el más productivo en las condiciones de evaluación, asimismo, este genotipo fue superior para el resto de las variables evaluadas. De acuerdo al orden en los promedios obtenidos en las diferentes variables, le sigue el cultivar Milpa Alta, el cual fue estadísticamente igual al cv. Regional en tres de las variables consideradas. Por otro lado, el cultivar Otumba, se ubicó con los promedios más bajos para todas las variables, a excepción de la variable largo de brote, donde se presentó estadísticamente igual al cultivar Regional. En cuanto a las dosis de fertilización orgánica, todas las variables mostraron diferencias significativas para este factor. En la Tabla 3, se observan los valores promedio.

Tabla 3. Promedios de variables consideradas en nopal en las diferentes dosis de estiércol bovino.

Dosis de fertilización orgánica (t·ha)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Peso promedio de brote (g)	Número de brotes
0	159.40c [¶]	11.23 c	14.37 c	6.75 c	81.33 c	37.82 c	5.61 b
400	546.91 b	39.66 b	15.35 b	7.77 b	95.79 b	48.40 b	11.25 a
800	792.44 a	52.52 a	17.16 a	8.71 a	120.72 a	70.19 a	11.25 a

[¶]Medias con misma literal en columna, no difieren estadísticamente

Los resultados son contundentes (Tabla 3), todos los valores promedio aumentaron conforme se incrementaron los niveles en las dosis de estiércol, a excepción del número de brotes, que es estadísticamente igual a las dos dosis de fertilización. Los resultados coinciden con Vázquez y Gallegos (1997); García y Grajeda (1991), Méndez y Martínez (1988), Murillo-Amador (1996), López y Cruz (1988), Fierro (1997), Tobar (1995), que el nopal responde favorablemente a la fertilización orgánica (estiércoles de origen animal). En la interacción de los factores estudiados, la mayoría de las variables presentaron diferencias estadísticas significativas, a excepción de número de brotes y área foliar. Para interpretar esta interacción, se realizó un análisis gráfico en cada una de las variables y se observó que todas las variables presentan paralelismo, es decir, existe ausencia de interacción, esto significa que todos los genotipos respondieron de igual manera en las dosis de fertilización, por lo que no se realizaron comparaciones de medias para las interacciones que el ANOVA determinó como significativas.

Conclusiones

Se concluye que bajo el sistema de producción establecido, el mejor genotipo para producción de brotes tiernos "nopalitos" es el cultivar Regional, mientras que la mejor dosis de fertilización orgánica determinada fue la de 800 t ha⁻¹ de estiércol bovino.

EFFECTO DE LA SALINIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL-VERDURA (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.)

Bernardo Murillo-Amador y Héctor Adán Cortés-Ávila

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas de México, ocupan más del 60 % del área total del país. El Estado de Baja California Sur, es considerado como zona semiárida y se ubica entre los que presentan más bajas precipitaciones en México (100 y 200 mm anuales). Aunado a esto, en las principales regiones agrícolas del Estado, como el Valle de Santo Domingo, el 81% de los pozos presentan agua con salinidad alta (de 750 a 2250 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$) y el 12 % presentan salinidad muy alta (de 2250 a 5000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$) resultando los iones sodio y cloro los predominantes. Lo anterior representa una limitante crítica para las actividades agropecuarias, repercutiendo fuertemente en el abandono constante de terrenos improductivos con la consecuente desertificación gradual de los mismos, además, aquellos cultivos tradicionales que logran sobrevivir bajo estas condiciones, presentan bajos rendimientos y otros problemas de carácter agronómico ocasionando pérdidas considerables a los productores. El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el efecto de la salinidad en la producción de nopal-verdura variedad Copena V-1.

Materiales y métodos

Se evaluaron seis niveles de salinidad expresada en Conductividad Eléctrica (CE) en deciSiemens/m (dS m^{-1}) Los niveles de salinidad aplicados fueron: 2, 5, 10, 13, 18 y 21 dS m^{-1} . Para evitar daños por efectos de desnutrición, se aplicó semanalmente una solución nutritiva basada en N (20%), P (30%), K (10%) y microelementos como azufre (480 ppm), hierro (250 ppm), zinc (250 ppm), magnesio (65 ppm), calcio (65 ppm), cobre (65 ppm), boro (65 ppm), cobalto (12 ppm) y molibdeno (6 ppm). El trabajo se realizó bajo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se estableció bajo una estructura de media sombra (50 %) y

en macetas de plástico 30 x 40 cm de diámetro y altura, respectivamente. Se transplantó enterrando la penca a un tercio de la parte inferior con el corte hacia abajo, orientando el cladodio de norte a sur (lados o caras este-oeste). Se utilizó arena fina como sustrato. Las variables consideradas para los brotes o "nopalitos" fueron peso fresco (producción) y seco, succulencia (grosor de brote), largo y ancho, área foliar y peso promedio de brote. Al final del experimento, a las pencas madre se le tomaron las mismas variables anteriores y otras como la longitud, ancho y número de raíces. Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias (Duncan $P < 0.05$), utilizando el programa SAS v. 6.12.

Resultados y discusión

Las variables morfo-fisiológicas y de rendimiento mostraron diferencias significativas para todas las variables consideradas en los brotes "nopalitos", a excepción de la variable peso promedio de brote. La tendencia que mostraron las variables de rendimiento importantes como el peso fresco y seco fue la de disminuir conforme aumentaron las concentraciones salinas. Se observó que todas las variables morfométricas y de rendimiento disminuyeron a partir de 5 dS m^{-1} (Tabla 4). En relación con las variables de rendimiento y crecimiento de la penca madre, destacando el peso fresco de penca, peso fresco y seco de raíces, succulencia (grosor de penca) y largo de raíces mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de salinidad aplicados. También la tendencia de estas variables fue la de disminuir conforme los niveles de salinidad aumentaron, principalmente a partir de los 10 dS m^{-1} (Tabla 5).

En general todas las variables de crecimiento, medidas en los brotes y en la penca madre, disminuyeron conforme se incrementaron los niveles de salinidad en el agua de riego, estos resultados coinciden con Nobel *et al.* (1984), Silverman *et al.* (1988), Nerd *et al.* (1993), Berry y Nobel (1985), quienes reportan que las opuntias son relativamente tolerantes a la sequía; sin embargo, son sensibles a la salinidad. Otros estudios han demostrado que los agaves y las cactáceas no son tolerantes a la salinidad; en dicha condición el crecimiento de sus raíces se inhibe

drásticamente con concentraciones de 1/5 del agua de mar (aproximadamente 12 g de NaCl por litro). En la penca madre, la reducción de las variables fue menos drástica que en los brotes, a excepción de la variable succulencia o grosor de penca, ya que el daño sufrido por deshidratación fue muy severo, lo cual como consecuencia causó disminución en el peso fresco de penca.

Tabla 4. Efecto de la salinidad en la producción y componentes de rendimiento de brotes "nopalitos" de nopal-verdura.

Salinidad (dS m ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Número de brotes	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Sukulencia (cm)
2	88.79a [¶]	13.20 a	6.64 a	30.33 a	1122.94 a	62.74 a	0.38 a
5	53.93 b	8.14 b	4.07 b	12.80 b	675.80 b	45.36 b	0.24 b
10	40.12 c	5.91 c	3.28 b	10.20 b	462.64 c	36.28 b	0.18 c
13	26.79 d	4.19 cd	2.26 c	7.00 b	295.35 d	21.60 c	0.11 d
18	22.62 d	3.45 d	1.88 c	5.80 b	251.02 d	20.68 c	0.09 d
21	19.42 d	3.08 d	1.64 c	5.20 b	208.15 d	15.96 c	0.08 d

[¶]Medias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

Tabla 5. Efecto de la salinidad en penca madre de nopal-verdura.

Salinidad (dS m ⁻¹)	Peso fresco (g)	Peso fresco de raíces (g)	Peso seco de raíces (g)	Sukulencia (cm)	Longitud de raíces (cm)
2	498.98a [¶]	39.78 a	13.00 a	1.23 a	21.77 a
5	308.20 b	37.50 b	10.96 a	0.81 b	20.00 a
10	291.06 b	19.60 b	6.00 b	0.70 bc	16.04 ab
13	288.25 b	16.66 b	4.88 b	0.66 bc	13.83 b
18	283.62 b	13.90 b	4.32 b	0.65 cd	10.95 b
21	266.50 b	12.92 b	2.78 b	0.55 d	10.38 b

[¶]Medias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

Conclusiones

Las variables consideradas en el presente experimento disminuyeron conforme aumentaron los niveles de salinidad en el agua de riego. Las variables de los brotes presentaron valores mayores en condiciones de la salinidad de 2 dS m⁻¹ (control), mientras que para la penca madre, dichas variables mostraron los valores mayores indistintamente en los tratamientos de salinidad de 2 y 5 dS m⁻¹.

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA CON SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (*Opuntia* spp)

Bernardo Murillo-Amador y Miguel Vélez-Moncada

Introducción

México se caracteriza por sus zonas áridas y semiáridas, áreas deficientes en disponibilidad de agua limitan por este factor la mayor parte de las actividades de producción agropecuaria. Alrededor del 53% de la superficie nacional está ocupada por zonas áridas y semiáridas (CONAZA, 1992). El nopal (*Opuntia* spp) surge como uno de los recursos vegetales para aprovecharse eficientemente por las poblaciones humanas de estas zonas. Sin embargo, en la mayoría de los casos dentro de las prácticas de este cultivo se implementa el uso de fertilizantes químicos, a excepción de ciertas regiones como Milpa Alta, D.F. (Fierro, 1997), Ojocaliente, Zacatecas (Méndez, 1990), San Nicolás de los Garza N.L. (Vázquez y Gallegos, 1997); existiendo productores que realizan una fertilización química continua y en ocasiones con abono orgánico (Méndez, 1990). Basados en esta problemática, se planteó la realización del presente trabajo, en el cual se estudió el cultivo del nopal, con un enfoque hacia la productividad con un manejo de materia orgánica como fuente de fertilización orgánica, a través de la aplicación de material de origen animal (estiércol) y el empleo de harinas de pescado y harina de langostilla, de las cuales no se tienen registros de resultados de investigación concretos sobre una posible aportación factible a la agricultura.

Materiales y métodos

Se utilizaron pencas de la variedad COPENA V-1, las cuales se seleccionaron por su uniformidad en tamaño y sanidad y se colocaron en una cama de suelo para su enraizamiento. Después de 30 días, se transplantaron en macetas de plástico de 30 cm de diámetro y 40 cm de altura, enterrando la penca a un tercio de la parte inferior con el corte

hacia abajo. Los tratamientos fueron: (1) 75% de suelo + 23% de composta de estiércol bovino con paja de residuos de cosecha de trigo + 2% de harina de langostilla; (2) 75% de suelo + 23% de composta de estiércol de bovino con paja de residuos de cosecha de trigo + 2% de harina de pescado; (3) 75% de suelo + 25% de composta de estiércol bovino con paja de residuos de cosecha de trigo, (4) 75% de suelo + 25% de estiércol bovino y (5) suelo del campo experimental del CIBNOR (como testigo). El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, utilizando tres pencas como parcela útil. Las variables medidas fueron: número de brotes, peso fresco de brotes, peso seco de brotes, succulencia de brotes, ancho de brotes, longitud de brotes y área foliar de brotes. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de rango múltiple (Duncan $P < 0.05$).

Resultados y discusión

Los resultados muestran que para todas las variables número de brotes "nopalitos", longitud de brotes, área foliar de brotes, peso fresco de brotes, peso seco de brotes y succulencia de brotes, el mejor tratamiento fue el correspondiente a 75% de suelo + 23% de composta de estiércol de bovino con paja de residuos de cosecha de trigo y 2% de harina de pescado, siendo esta mezcla de productos la mejor en cuanto a las variables directamente relacionadas con la producción de "nopalitos". Asimismo, el tratamiento que corresponde a 75% de suelo + 23% de composta de estiércol de bovino con paja de residuos de cosecha de trigo + 2% de harina de langostilla, fue estadísticamente igual que el tratamiento anterior en todas las variables anteriormente mencionadas (Tabla 6), esto demuestra que la combinación de subproductos de origen animal terrestre (composta de estiércol de bovino) y animal marino (harina de pescado y harina de langostilla) tuvieron un mejor efecto en cuanto a la producción de "nopalitos" y en el resto de las variables relacionadas con la producción de nopal verdura.

Tabla 6. Promedio y significancia de variables entre tratamientos.

Tratamientos	Número de brotes	Largo de brotes (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso fresco de brote (g)	Peso seco de brote (g)	Suculencia de brote (cm)
75% suelo + 23% de composta + 2% de harina de langostilla	13.80 ab [¶]	13.13 ab	84.88 ab	53.43 ab	2.51 ab	0.42 ab
75% suelo + 23% de composta + 2% de harina de pescado	15.80 a	13.96 a	92.15 a	60.55 a	2.97 a	0.46 a
75% suelo + 25% de composta	11.20 b	10.48 b	65.63 b	41.90 b	2.12 b	0.36 b
75% suelo + 25 de estiércol de bovino	11.80 ab	11.03 ab	70.20 b	42.99 b	2.28 ab	0.34 b
Suelo del campo experimental del CIBNOR	6.80 c	6.16 c	37.28 c	22.13 c	1.36 c	0.19 c

[¶]Medias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

Por otro lado, el tratamiento correspondiente a 75% de suelo + 25% de estiércol de bovino también fue estadísticamente igual a los tratamientos uno y dos en las variables número de brotes, longitud de brotes y peso seco de brotes; aunque en la variable de mayor interés que es el peso fresco de brotes no fue estadísticamente igual a los tratamientos uno y dos, este tratamiento se ubicó en tercer lugar después de estos dos tratamientos. Los resultados obtenidos en cuanto a los beneficios del uso de fertilizantes orgánicos de origen animal, coinciden con los de Castellanos y Muñoz (1987), Velasco (1998), Álvarez *et al* (1996). Otras investigaciones (Lynch y Bragg, 1985; Fortun y Fortun, 1989) señalan que la materia orgánica influye en el nivel de aireación, en la estructuración y retención de humedad, así como en la resistencia a la erosión; también tiene un efecto en la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, en la regulación del pH, en el desarrollo de la raíz como parte de nutrimentos para las plantas. En cuanto a las principales variables relacionadas con el

peso fresco de brotes, el área foliar de brotes, largo de brotes, succulencia de brotes y número de brotes presentaron correlaciones significativas, con tendencia positiva y con los mayores valores de correlación. La correlación positiva encontrada entre el número de brotes y el peso fresco de brotes, así como entre el número de brotes y el área foliar de brotes, lo cual no coincide con lo encontrado por Méndez y Martínez (1988) quienes al estudiar el nopal en una plantación comercial no observaron dichas correlaciones positivas.

Conclusiones

Todas las variables estudiadas resultaron ser mayores en los tratamientos con fertilización orgánica *versus* el tratamiento testigo. La combinación de materia orgánica de origen animal (terrestre y marino): composta más harina de pescado, incrementó la producción de nopal-verdura, ya que los valores mayores en cuanto al peso fresco de brotes "nopalitos" se presentaron en el tratamiento correspondiente a 75% de suelo + 23% de composta de estiércol bovino + 2% de harina de pescado. Las variables área foliar y largo de brotes estuvieron correlacionadas significativamente con la variable peso fresco de brotes de nopal verdura bajo las condiciones de evaluación. Adicionalmente, las variables succulencia y número de brotes también presentaron correlaciones positivas, significativas y con tendencia lineal con la variable peso fresco de brotes, la cual está directamente relacionada con la producción y el rendimiento de "nopalitos".

ESTUDIO PRELIMINAR DE FUENTES Y DOSIS DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.)

Bernardo Murillo-Amador y Mayrlein Cadena-Carabantes

Introducción

El nopal (*Opuntia* spp) es una planta que ha tenido importancia en la historia de nuestro país entre las tribus prehispánicas dentro de la dieta alimenticia. Actualmente es un recurso de importancia social y económica por su valor alimenticio, forrajero, medicinal, cosmetológico e industrial; su utilización en la alimentación humana ha sido una de las formas principales de consumo de los productos generados por esta planta. En el ámbito nacional existen 18 estados con 10,500 hectáreas con una producción de 575 toneladas, lo que nos da una idea de la gran demanda que se tiene. Así, entre las ciudades y Estados con mayor consumo de nopal verdura se encuentran el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Tijuana, Sonora y Chihuahua. (SAGAR, 1996). En México, la producción de verdura a partir del nopal se localiza en mayor grado en el centro del país, destacando como los mayores productores las localidades de Milpa Alta, Distrito Federal, San Martín de las Pirámides, Estado de México y el Estado de Puebla, entre otros (FAO, 1996).

En el Estado de Baja California Sur, existen tecnologías que se han querido adoptar, pero la falta de capital y el costo alto de la inversión, han propiciado que las superficies agrícolas sean abandonadas, es por ello que se ha implementado la estrategia para encontrar cultivos que resulten rentables con menores costos y adaptados a la escasez de agua. El cultivo del nopal en el Estado, debido a las características de clima árido y semiárido está considerado como una de las grandes alternativas, ya que se adapta a las escasas lluvias y altas temperaturas. Requiere de costos

bajos de inversión, lo que proporciona un beneficio para mejorar la calidad de vida de los productores de estas regiones. Sin embargo, la demanda actual es muy escasa debido a la falta de difusión a productores y a la comunidad en general sobre su importancia, beneficios, etc., por lo cual se debe hacer conciencia de los grandes recursos disponibles que la naturaleza nos proporciona en su hábitat, como fuente de alimentación y que pueden explotarse en forma racional o cultivarse para su aprovechamiento. Las perspectivas que nos presenta este recurso de poder ser producido en condiciones ecológicas limitadas, como escasa retención de humedad del suelo y alta temperatura ambiental, han sido una de las causas que han motivado a la investigación de técnicas para incrementar la producción y mejorar la calidad. En este sentido y debido a la falta de información sobre las técnicas de fertilización y otras prácticas agrícolas, se ha visto limitado el uso, producción y comercialización del nopal en algunas regiones tales como el Estado de Baja California Sur. En el presente trabajo se estudiaron diferentes dosis y fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio, pretendiendo a través de su aplicación obtener una mayor producción y proporcionar información sobre el uso de la fertilización química para posteriores investigaciones.

Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló en el invernadero del CIBNOR, S.C. en la Paz Baja California Sur y fue parte de una tesis de licenciatura. El material genético se colectó en la comunidad de El Centenario, B. C. S. y se utilizó la variedad Milpa alta (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.). Se seleccionaron pencas uniformes y sanas, se lavaron con agua y jabón, se colocaron bajo una malla media sombra de 85% de sombreado, permaneciendo así durante 15 días para su cicatrización. El sustrato utilizado fue una mezcla de 50 % de arena y 50 % de SOGEMIX (Sustrato comercial). Las pencas se colocaron en macetas de plástico, enterrando la penca a un tercio de la parte basal. Se aplicaron riegos de acuerdo a los requerimientos de humedad (1/2 y 1 L). Los tratamientos de fertilización se aplicaron en dos ocasiones, al principio del experimento (después del enraizamiento de la penca madre) y la segunda a los 50 días posteriores a la primera aplicación. El experimento

se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, utilizando dos pencas como parcela útil. Los tratamientos en estudio se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Tratamientos de fertilización (dosis y fuentes de cada elemento).

Tratamientos	Dosis (kg ha ⁻¹)	Elemento	Fuente
1	120	Nitrógeno	Urea (46-00-00)
2	120	Nitrógeno	Nitrato de Amonio (33.5-00-00)
3	240	Nitrógeno	Urea (46-00-00)
4	240	Nitrógeno	Nitrato de Amonio (33.5-00-00)
5	100	Fósforo	Triple 17 (17-17-17)
6	100	Fósforo	Fosfato Monoamónico (11-52-00)
7	200	Fósforo	Triple 17 (17-17-17)
8	200	Fósforo	Fosfato Monoamónico (11-52-00)
9	90	Potasio	NKS (14-00-42.5)
10	90	Potasio	Sulfato de Potasio (00-00-50)
11	180	Potasio	NKS (14-00-42.5)
12	180	Potasio	Sulfato de Potasio (00-00-50)
13	0	Testigo	0

Los cortes se realizaron cuando los cladodios mostraron una longitud aproximada de 14 cm, los cuales se trasladaron al laboratorio donde se midieron las variables en estudio: peso fresco y seco de brotes, largo y ancho de brote, área foliar, succulencia y número de brotes. Se realizaron análisis a cada una de las variables en estudio, así como comparación de medias (Duncan $P < 0.05$). Los análisis estadísticos para cada una de las variables estudiadas se realizaron con el paquete estadístico, SAS v. 6.12.

Resultados

Los resultados indicaron diferencias significativas para las variables de crecimiento medidas. Las plantas bajo el tratamiento número 11 (NKS-14-00-42.5) con una dosis de 180 kg ha⁻¹, mostraron el mayor número de brotes, con un promedio de 40 brotes por planta, seguido del tratamiento 4 (nitrato de amonio) con 240 kg ha⁻¹ con un promedio de 37 brotes por

planta, mientras que las plantas bajo el tratamiento número 7 (200 kg ha⁻¹ de triple 17) mostraron el menor número de brotes (Tabla 8).

Los brotes con mayor longitud se presentaron en las plantas bajo el tratamiento 8 (fosfato monoamónico con una dosis de 200 kg ha⁻¹), seguido de los tratamientos 3 (urea, 240 kg ha⁻¹), 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha⁻¹), 5 (triple 17, 100 kg ha⁻¹), 6 (fosfato monoamónico, 100 kg ha⁻¹), 7 (triple 17, 200 kg ha⁻¹) y 9 (NKS, 90 kg ha⁻¹), mientras que las plantas bajo el tratamiento testigo mostraron los brotes con menor longitud (Tabla 8).

Tabla 8. Efecto de dosis y fuentes de N, P y K en la producción y componentes de rendimiento de brotes "nopalitos" de nopal-verdura.

Tratamientos	Área foliar (cm ²)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Número de brotes	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Suculencia (cm)
1	84.4 a [¶]	14.9 b	7.10 a	27.2 d	982.4 c	37.1 fg	0.572 bcde
2	83.5 ab	14.8 b	7.08 a	34.2 bc	1203.4 b	49.9 b	0.557 cde
3	83.3 ab	15.0 ab	7.0 ab	32.2 c	1210.8 b	45.7 c	0.552 de
4	85.7 a	15.3 ab	7.05 ab	36.7 ab	1381.0 a	56.2 a	0.557 cde
5	85.1 a	15.3 ab	7.02 ab	27.2 d	1026.7 c	43.4 cd	0.550 de
6	84.7 a	15.3 ab	6.97 ab	19.7 e	867.5 d	40.6 de	0.550 de
7	82.8 ab	15.3 ab	6.81 abc	18.0 e	789.5 e	35.0 g	0.547 e
8	83.9 ab	15.5 a	6.79 abc	22.0 e	950.8 cd	39.4 ef	0.562 cde
9	82.1 abc	15.3 ab	6.73 bcd	20.2 e	875.6 d	39.7 ef	0.575 abcd
10	77.1 bcd	14.9 b	6.52 cd	21.7 e	948.9 cd	41.5 de	0.58 abc
11	75.7 cd	14.9 b	6.46 d	39.5 a	1171.0 b	49.3 b	0.587 ab
12	74.7 d	14.8 b	6.42 d	21.2 e	878.1 d	38.8 ef	0.597 a
13	75.4 d	14.8 b	6.5 cd	22.2 e	884.7 d	36.9 fg	0.592 ab

[¶]Medias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

Las plantas bajo los tratamientos 1 (urea, 120 kg ha⁻¹) y 2 (nitrato de amonio, 120 kg ha⁻¹) mostraron los brotes más anchos, siendo estadísticamente igual los tratamientos 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha⁻¹), 5 (triple 17, 100 kg ha⁻¹), 3 (urea, 240 kg ha⁻¹) y 6 (fosfato monoamónico, 100 kg ha⁻¹). Las plantas bajo los tratamientos 11 (NKS, 180 kg ha⁻¹) y 12 (sulfato de potasio, 180 kg ha⁻¹) mostraron los valores inferiores de respuesta en esta variable (Tabla 8). Los brotes bajo los tratamientos 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha⁻¹) mostraron las mayores áreas foliares, con un promedio de 85.74 cm², seguido por los tratamientos 5 (triple 17, 100

kg ha⁻¹), 6 (fosfato monoamónico, 100 kg ha⁻¹) y 1 (urea, 120 kg ha⁻¹); mientras que las plantas bajo los tratamientos 13 (testigo) y 12 (sulfato de potasio, 180 kg ha⁻¹) mostraron las áreas foliares menores en los brotes cosechados (Tabla 8). Las plantas bajo el tratamiento 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha⁻¹) mostraron los mayores pesos frescos y secos de brotes con un promedio de 1381 g y 56.2 g, respectivamente, mientras que el nivel de respuesta de las plantas bajo el tratamiento 7 (triple 17, 200 kg ha⁻¹) mostraron ser inferiores en estas dos variables (Tabla 8). En relación con la variable succulencia de brote, las plantas bajo el tratamiento 12 (sulfato de potasio, 180 kg ha⁻¹) superaron a aquellas sometidas al resto de tratamientos; sin embargo, los tratamientos 11 (NKS, 180 kg ha⁻¹), 10 (sulfato de potasio, 90 kg ha⁻¹), 9 (NKS, 90 kg ha⁻¹) y el tratamiento 13 (testigo) mostraron igualdad estadística con este tratamiento.

Discusión

Los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas en la variable peso fresco de brotes cosechados, esto debido al efecto de cada una de las fuentes y dosis de fertilizante químico utilizadas. Se observó que el nitrato de amonio fue el tratamiento que incrementó el peso fresco de brotes, observándose que a una dosis de 240 kg ha⁻¹ se obtienen mejores rendimientos, debido a que el nitrato de amonio tiene una solubilidad más rápida, aportando así de forma más inmediata el nitrógeno requerido, es decir se tiene una mejor disponibilidad en la cantidad de nitratos en la solución del suelo que otras de las fuentes utilizadas. Por otro lado, Jara *et al*, (1981) señalan que debido a diversos resultados experimentales, se demuestra que el estado físico y la forma de presentación del fertilizante nitrogenado ejerce una influencia significativa sobre el comportamiento en el suelo y sobre la respuesta de los cultivos. En este sentido, el nitrato de amonio ha demostrado que es una de las fuentes de nitrógeno, que proporciona muy buenos resultados, con respecto a las variables evaluadas. Además se sabe que el nitrógeno tiene un efecto importante en la producción con respecto a la sanidad y calidad (Teucher y Adler, 1981). Asimismo, Gordon y Barden (1984) mencionan que otro problema que causa la deficiencia del nitrógeno es la disminución

del potencial hídrico, causando que el agua sea más restrictiva para la planta, trayendo consigo toxicidad, pérdidas económicas y degradación en los suelos con repercusión en los rendimientos. Por esto, el nitrógeno es el elemento requerido en mayor cantidad como menciona Gallegos-Vázquez (1999) debido a que es constituyente de los componentes estructurales de la célula (pared celular), incluyendo la celulosa, hemi-celulosa y lignina, así como no estructurales (enzimas, clorofila y ácidos nucleicos) por lo cual viene siendo el factor limitativo en el crecimiento de la planta. También se observó, que al igual que en el peso fresco, el tratamiento 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha^{-1}) tiene gran influencia sobre el peso seco, considerándose como el mejor tratamiento. Sin embargo, este tratamiento también influyó en menor grado sobre otras variables como el número de brotes, largo y ancho de brotes, área de brotes. Cruz *et al* (1988) señalan que el nitrógeno es el elemento que más ha limitado el crecimiento y la producción de materia expresada en peso fresco y peso seco. Asimismo, Nobel (1998) también hace mención de lo señalado por Cruz *et al* (1988), pero además indica que la fertilización con productos inorgánicos que contengan nitratos, o bien estiércol, casi siempre aumenta el crecimiento de agaves y cactus.

En el caso del número de brotes, se presentaron diferencias significativas observándose que el tratamiento 11 (NKS, 180 kg ha^{-1}) mostró un efecto significativo sobre esta variable; sin embargo, no se debe descartar que el tratamiento 4 (nitrato de amonio, 240 kg ha^{-1}) presentó un aceptable rendimiento, además de ejercer cierta influencia sobre la succulencia de brotes. López y Cruz (1988) mencionan que la fertilización tiene un efecto sobre la emisión de brotes vegetativos; sin embargo, las dosis utilizadas son menores que las evaluadas en este experimento. Para el caso de la variable succulencia de brotes, el tratamiento 12 correspondiente a la fuente de sulfato de potasio (180 kg ha^{-1}), parece representar la mejor opción. Sin embargo, debido a que los tratamientos 11 (NKS, 180 kg ha^{-1}), 10 (sulfato de potasio, kg ha^{-1}) y 9 (NKS, 90 kg ha^{-1}) son estadísticamente iguales y el testigo proporciona los mismos efectos que cualquiera de los tratamientos antes mencionados; se determinó entonces que no existe efecto sobre la variable antes mencionada. Asimismo, cabe señalar que el

sulfato de potasio utilizado como fuente de potasio, no ejerce influencia alguna sobre alguna de las variables evaluadas. Esto parece ratificar lo mencionado por Méndez y Martínez (1988) ya que mencionan que de acuerdo al estudio realizado no existe efecto positivo por la aplicación de potasio. En relación con las variables área, largo y ancho de brotes, se aprecia que existe cierta relación entre éstas, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos ejercen influencia directa sobre una de las variables, pero ésta sobre las demás es más que notoria; tal es el caso del tratamiento 8 (fosfato monoamónico, 200 kg ha⁻¹), que proporciona el mejor resultado con respecto a la variable largo de brotes, pero además ejerce cierta influencia sobre las variables área foliar de brotes y ancho de brotes. Asimismo, aunque la influencia del tratamiento 1 (urea, 120 kg ha⁻¹) y el tratamiento 4 (nitrato de amonio) es directamente para la variable ancho y área de brotes, respectivamente, se puede observar que también ejercen influencia sobre otras variables evaluadas. Aunque se recomienda no aplicar fertilizantes químicos; si se hace un uso adecuado de estos, se pueden lograr mejores rendimientos en la producción de nopal, como lo menciona Rojas (1961) y Lozano (1958), ya que efectivamente el nopal responde a la fertilización con abonos químicos, siendo necesario conocer la composición química.

Conclusiones

El efecto de la fertilización sobre el nopal se ve expresado en un aumento en el peso fresco, número de brotes, peso seco, largo y ancho de brote, mostrando una alta producción. Las dosis seleccionadas para cada uno de los fertilizantes fueron; urea (120 kg ha⁻¹), nitrato de amonio (240 kg ha⁻¹), triple 17 (100 kg ha⁻¹), fosfato monoamónico (200 kg ha⁻¹), NKS (180 kg ha⁻¹) y sulfato de potasio (180 kg ha⁻¹). Asimismo, se seleccionó como fuente de nitrógeno al nitrato de amonio (240 kg ha⁻¹) por presentar la respuesta más favorable en área, peso fresco y peso seco del brote. En la fuente de fósforo, el fosfato monoamónico (200 kg ha⁻¹) ya que se obtuvieron buenos resultados sobre el largo del brote. Como fuente de potasio, el NKS con una dosis de 180 kg ha⁻¹, proporciona un excelente rendimiento en el número de brotes cosechados. Se consideran componentes principales de

rendimiento en nopal, el ancho y número de brotes, con coeficientes de correlación de 0.30 y 0.84, respectivamente. Asimismo, cabe señalar que el uso de dosis más bajas en urea y triple 17, proporcionaron mejores efectos sobre las variables ancho y área de brote. El tratamiento constituido por sulfato de potasio no presenta influencia significativa sobre las variables evaluadas. El tratamiento 4 constituido por el nitrato de amonio (240 kg ha^{-1}) mostró la mejor interacción entre la fuente y la dosis, por sus efectos directos sobre el peso fresco, peso seco y área del brote, por lo que se concluye que este compuesto es la mejor fuente de nitrógeno para las condiciones agroecológicas del semidesierto en el noroeste de México.

ECOTIPOS DE NOPAL SILVESTRE (*Opuntia* spp) DE LAS COSTAS DE BAJA CALIFORNIA SUR: IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN PARA TOLERANCIA A SALINIDAD

Bernardo Murillo-Amador y Nora Aline Velasco-Meza

Introducción

Debido a la necesidad y la carencia de alimento para el ganado, en las zonas áridas se ha utilizado el ecocultivo del nopal (*Opuntia* spp) como un importante recurso forrajero, el cual puede soportar las fuertes sequías y los cambios bruscos de temperatura debido a su rusticidad en este ambiente, pudiendo desarrollarse sin ningún problema e incrementando su producción. El nopal es una planta que presenta atributos favorables principalmente en épocas desfavorables, ya que es cuando el forraje tiene un alto precio, es factible en el desierto considerarla debido a sus cualidades anatomorfológicas, gran concentración de agua y a su cutícula gruesa, permitiendo con éxito el establecimiento de dicho cultivo.

Uno de los problemas abióticos que se presentan como un reto a la humanidad, es la salinidad (López, 1995), que al igual que la sequía permanece como uno de los problemas ambientales más antiguos y más graves del mundo, principalmente en regiones áridas y semiáridas (McWilliam, 1986). La acumulación de sales altamente solubles en un suelo puede disminuir significativamente el valor de la productividad de las tierras agrícolas (Pessarakli, 1999). La salinidad no sólo ocasiona descensos en la producción de los cultivos, sino que además transforma en zonas estériles grandes áreas terrestres que de antaño eran terrenos productivos (López, 1995). La FAO (1996) estima que de los 237 millones de hectáreas de tierras de regadío, alrededor de 30 millones están gravemente afectadas por la sal. Otros 80 millones de hectáreas se han visto afectados en cierta medida y cada año se pierden cerca de 1.5

millones de hectáreas de tierras de riego debido al anegamiento y la salinidad.

El Estado de Baja California Sur cuenta con 2,230 km de costas, entre las que destacan las bahías de Sebastián Vizcaíno, Magdalena, La Paz, Asunción, Ballenas, Concepción y San Carlos. En sus costas, crece una variedad de especies de plantas silvestres entre las que se incluye las opuntias destacando cuatro especies de nopal, *Opuntia pycnantha* Engelm. in Coulter, *Opuntia taponae* Engelm. in Coulter, *Opuntia (platyopuntia) spp* y *Opuntia lagunae* K. Brandegeee, la cual es endémica de la Sierra de La Laguna. El hábitat de estas especies se localiza en mesas, laderas y pendientes rocosas y se distribuyen desde el Desierto de Vizcaíno hasta la Sierra de La Laguna. Los principales usos son: los tallos son cocinados de diversas maneras y el fruto fresco de algunas especies es comestible (León de la Luz y Coria, 1992). La *Opuntia orecola* es otra especie que se encuentra ampliamente distribuida en la Península, la cual ofrece un refugio y alimento para conejos, ratones, pájaros y reptiles, se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la costa del Océano Pacífico. Asimismo, se menciona que la especie de *Opuntia taponae* es endémica de la Península, la cual se distribuye desde Comondú y Loreto hasta la región Del Cabo y muchas Islas del Golfo de California (Roberts, 1989). Según Diguét (1912) en Baja California las Opuntias de raquetas son muy raras y lo más que se encuentran son especies de pequeña altura, especialmente en la región del Pacífico.

Basados en las perspectivas de este recurso de zonas áridas y semiáridas, el enfoque de la presente investigación se dirigió hacia el estudio de la tolerancia a la salinidad de las especies silvestres de nopal que crecen alrededor de las costas del Estado, con el propósito de identificar los lugares donde crecen, identificar materiales tolerantes a la salinidad que en un momento dado sean fuente de germoplasma silvestre y puedan ser utilizados en programas de mejoramiento genético de la especie para el carácter de tolerancia a la salinidad.

La presente investigación ofrece información sobre la absorción de minerales, principalmente Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , N, P, K^+ , B entre otros, de las plantas de nopal silvestre que crecen alrededor de las costas del Estado de Baja California Sur, con el fin de identificar materiales con posible tolerancia a salinidad, mismos que un determinado momento podrán ser utilizados como patrones en programas de mejoramiento genético de la especie con posibilidades de tolerancia a la salinidad bajo condiciones de cultivo.

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

Se realizó un recorrido de exploración por la costa del Océano Pacífico desde la Laguna de San Ignacio hasta Cabo San Lucas, B.C.S. con el fin de detectar los lugares donde se encuentran las nopaleras silvestres lo más cercano a la costa, haciéndose un muestreo en cada uno de éstos. Posteriormente se continuó dicho recorrido desde Cabo San Lucas hasta la ciudad de La Paz por la costa del Golfo de California. En total se consideraron 14 sitios (Tabla 9) en ambas costa que rodean al Estado de Baja California Sur.

Descripción del trabajo de campo

Como se mencionó anteriormente, en el recorrido realizado alrededor de las costas del Estado (Fig. 1), se ubicaron primeramente las nopaleras silvestres más cercanas a la costa, buscando con ello, coleccionar plantas con una mayor exposición a la brisa marina. Cabe aclarar que continuará con los recorridos hasta completar las áreas costeras pendientes de hacer un muestreo, desde la ciudad de La Paz por el Golfo de California, hasta el área del paralelo 28 y de ahí continuar hasta La Laguna de San Ignacio por el Océano Pacífico en una segunda etapa de estudio. Una vez detectada la nopalera o plantas más cercanas a la costa, se procedió a realizar lo siguiente: primeramente se tomaron fotografías de las plantas más representativas del sitio.

Tabla 9. Sitios de muestreo de plantas de nopaleras silvestres localizadas en la costa del Océano Pacífico y Golfo de California en el Estado de Baja California Sur.

Sitio	coordenadas geográficas	Ubicación	Características
1	N= 23.23072 W= 110.10491	Océano Pacífico	Terreno pedregoso, arcilloso, localizado en una meseta aproximadamente a 3 km de la costa, cerca del poblado denominado El Pescadero, B.C.S. No abundante.
2	N= 23.11301 W= 110.08145	Océano Pacífico	Terreno arenoso, localizado cerca de un predio de particulares, aproximadamente a 500 m de la costa. No abundante.
3	N= 22.56082 W= 109.48551	Océano Pacífico	Terreno arenoso, ubicado en un pequeño arroyo, aproximadamente a 400 m de la costa. No abundante.
4	N= 22.96534 W= 109.79787	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en una loma frente al mar, aproximadamente 50 m de la playa. No abundante.
5	N= 23.08524 W= 109.60080	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en un arroyo, aproximadamente 100 m de la playa. No abundante.
6	N= 23.28588 W= 109.43627	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en un arroyo, aproximadamente a 200 m de la playa. Regular abundancia.
7	N= 23.37828 W= 109.43313	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en un arroyo, cercano al lugar denominado Cabo Pulmo, aproximadamente a 100 m de la playa. Regular abundancia
8	N= 23.73180 W= 109.71351	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en una loma, aproximadamente a 200 m de la playa. Muy abundante.
9	N= 23.89399 W= 109.80743	Golfo de California	Terreno arenoso, ubicado en un arroyo, aproximadamente a 500 m de la playa. Muy abundante.
10	N= 23.93802 W= 109.83888	Golfo de California	Terreno pedregoso, arcilloso, ubicado en una elevación pronunciada frente al mar, aproximadamente a 20 m de la playa. No abundante.
11	N= 24.19468 W= 110.29990	Golfo de California	Terreno pedregoso, arcilloso, ubicado en una elevación pronunciada frente al mar, aproximadamente a 50 m de la playa. Regular abundancia.
12	N= 26.16907 W= 112.26469	Océano Pacífico	Terreno pedregoso, arcilloso, aproximadamente a 1000 m de la playa. No abundante.
13	N= 25.97815 W= 112.11028	Océano Pacífico	Terreno arcilloso, ubicado en un valle, aproximadamente a 2000 m de la playa. Regular abundancia.
14	N= 24.4114 W= 111.51572	Océano Pacífico	Terreno salitroso, desértico, cercano a planicie arenosa, aproximadamente a 600 m de la playa. Lugar conocido como El Médano Amarillo, cercano al Estero Salinas.

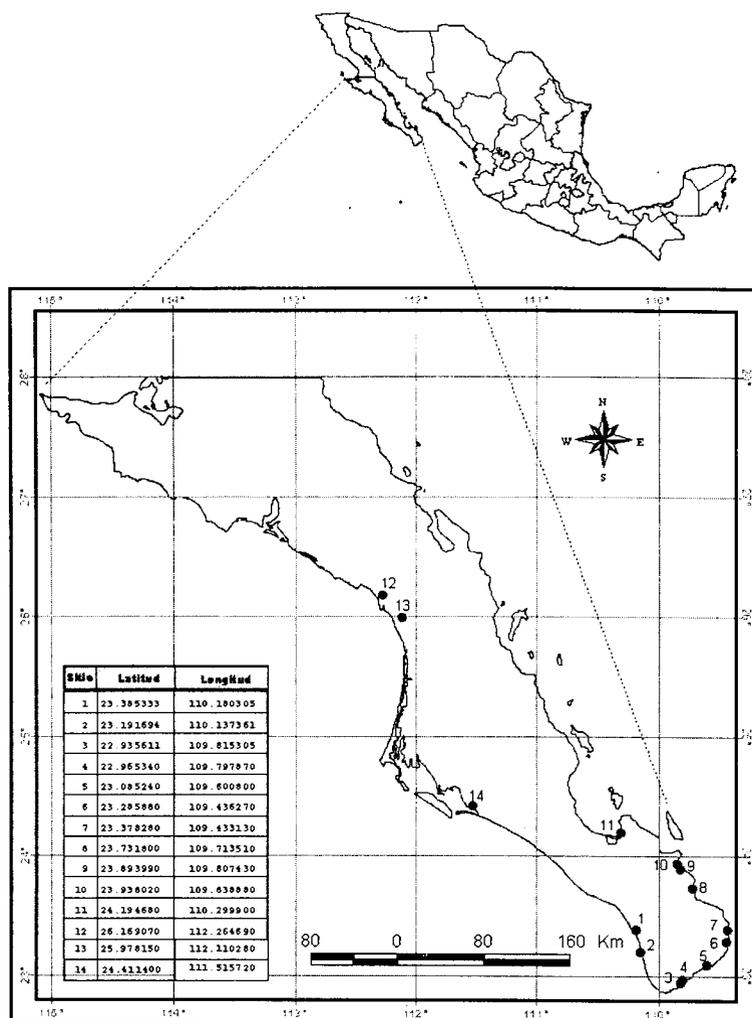


Figura 1 Sitios de muestreo de plantas de nopaleras silvestres localizadas en la costa del Océano Pacífico y Golfo de California en el Estado de Baja California Sur.

A continuación se observó alrededor del sitio, con el fin de identificar el tipo de suelo, se anotaban algunas características del mismo,

principalmente la distancia aproximada a la playa, la ubicación (arroyo, loma, cerro), así como el tipo de vegetación más cercana (10 m alrededor de la planta).

Posteriormente se tomó el dato de la talla (altura) de aquellas plantas que se colectaban completamente para evaluar los minerales tanto en penca como en raíz; para ello se contó con la correspondiente autorización de la SEMARNAT en B.C.S. Las pencas y raíces colectadas se introdujeron en bolsas de papel, con su respectiva etiqueta y se almacenaron en cajas de cartón, debidamente cubiertas. Cabe aclarar que en cada sitio se colectaron cuatro plantas, representando cada una de ellas una repetición. Una vez que se tuvo el material colectado en el laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del CIBNOR, S.C., las pencas de cada planta colectada se fraccionaron en trozos pequeños y se colocaron en charolas de aluminio para posteriormente introducir las a un horno de circulación de aire forzado a 80° C durante 48 h, con el fin de obtener el peso seco. Las raíces de cada planta se colocaron en su respectiva charola con su respectiva penca y también se introdujeron al horno a la misma temperatura y tiempo de secado. Después del tiempo de secado, que fue donde se alcanzó el peso seco constante, tanto para las pencas como para las raíces, se procedió a moler finamente cada uno de los órganos anteriormente mencionados.

Análisis de minerales

El material seco se pulverizó finamente y se mezcló para determinar los análisis minerales tanto de raíz como de parte aérea. El cloro se determinó por cromatografía de iones. El sodio, calcio, potasio, magnesio, zinc, manganeso y boro se determinaron mediante una digestión ácida de $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ a 1:10:4, respectivamente, midiendo su concentración en un espectrofotómetro de absorción atómica. El fósforo se determinó por el método del azul de molibdeno y se midió con espectrofotómetro a una absorbancia de 660 nm.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza para la variable altura de planta, considerando como fuentes de variación a los diferentes sitios de muestreo de las costas del Estado de Baja California Sur. También se efectuaron comparaciones múltiples de medias para esta variable en particular, utilizando el método de Tukey ($P < 0.05$). En relación con los minerales analizados en la planta, se realizaron análisis de varianza considerando como fuentes de variación a los órganos (parte aérea – penca- y raíz) y a los diferentes sitios de muestreo. Los minerales considerados fueron sodio, cloro, potasio, magnesio, fósforo, manganeso, zinc, boro, hierro, cobre y nitrógeno.

Resultados y discusión

Para determinar las posibles diferencias de la talla (altura) de las plantas de nopal silvestre muestreadas en los diferentes sitios, se realizaron dos análisis de varianza (ANOVA) considerando primeramente como fuente de variación los sitios (1-14) y posteriormente las costas (Océano Pacífico - OP- y Golfo de California -GC-). El análisis mostró que existen diferencias significativas entre sitios pero no entre costas. La prueba de comparación de medias realizada (Tukey $P < 0.05$) ubicó al sitio número 8 (GC) como el lugar donde los nopales presentan mayor talla, aunque mostraron igualdad estadística los sitios 3 (OP) y 9 (GC) (Tabla 10).

Con relación a la concentración de minerales, los análisis indicaron diferencias significativas tanto para los sitios de muestreo como para la concentración en órganos (raíz y parte aérea). Con relación a la concentración en órganos, todos los minerales mostraron mayor concentración en parte aérea que en raíz (Tabla 11). A continuación solo se describen los resultados de Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ . Para sodio (Tabla 10), las plantas de nopal colectadas en el sitio 14, que se ubica en el Océano Pacífico (OP), mostraron la mayor concentración, mientras que las de los sitios 9 y 11 que se ubican en el Golfo de California (GC), mostraron las menores concentraciones de este ion. Para cloro, las plantas del sitio 6

(GC) mostraron una mayor concentración, siendo igual estadísticamente el sitio 1 (OP), mientras que las plantas ubicadas en los sitios 9 (GC), 13 y 14 (OP) mostraron la menor concentración de este mineral.

Tabla 10. Altura y concentración de minerales en plantas de nopal silvestre creciendo en 14 sitios alrededor de las costas del Estado de Baja California Sur.

Sitios	Altura (cm)	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	Ca ²⁺ (%)	K ⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)
1	85.00 b [¶]	0.68bcd	1.47 ab	1.51 bcd	4.44 a	1.32 bc
2	58.25 b	0.61 cd	0.74 efg	0.54 f	2.73 bcd	0.68 fg
3	100.00 a	0.67bcd	0.88 cdef	1.01 def	3.37 b	0.64 gh
4	83.75 b	0.60 cd	0.77 defg	0.90 ef	1.66 f	1.58 b
5	58.00 b	0.74 ab	0.92 cdef	1.52 bcd	2.63 bcde	1.01 de
6	68.75 b	0.74 ab	1.63 a	2.47 a	2.71 bcde	1.27 cd
7	68.00 b	0.87 ab	1.08 cde	1.35 cde	2.96 bc	0.85 efg
8	140.00 a	0.41 de	0.98 cdef	0.98 def	1.97 ef	1.32 bc
9	94.25 b	15.3 ab	0.46 gh	1.00 def	2.15 def	0.54 h
10	65.75 b	0.29 e	1.12 bcd	0.98 def	2.50 cde	1.51 bc
11	56.50 b	0.40 de	1.20 bc	1.77 bc	2.49 cde	1.88 a
12	57.50 b	0.44 de	0.67 fgh	2.04 ab	2.56 cde	0.95 ef
13	58.25 b	0.63 cd	0.52 gh	0.99 def	2.36 cdef	1.02 de
14	49.50 b	1.54 a	0.33 h	1.29 cde	2.30 cdef	0.49 h

[¶]Medias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

Las plantas colectadas en el sitio 6 (GC) mostraron una mayor concentración de calcio, siendo igual estadísticamente las del sitio 12 (OP). Las colectadas en el sitio 2 (GC) mostraron la menor concentración de este mineral. La mayor concentración de potasio se presentó en las plantas localizadas en el sitio de muestreo número uno (OP) y posteriormente las del sitio 3, ubicado también en el Océano Pacífico. Las plantas del sitio 4 (GC) mostraron la menor concentración de este ion en sus órganos. La mayor concentración de magnesio se presentó en las plantas del sitio 11 (GC) siguiendo en orden descendente el sitio 4 (GC) hasta los sitios 9 (GC) y 14 (OP) donde se presentó la menor concentración en las plantas de dichos sitios.

Tabla 11. Concentración de minerales en los diferentes órganos (penca y raíz) de plantas de nopal creciendo en diferentes sitios alrededor de las costas del Estado de Baja California Sur.

Órganos	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	Ca ²⁺ (%)	K ⁺ (%)	Mg ²⁺ (%)
Raíz	0.34 b	0.46 b	0.85 b	2.13 b	0.54 b
Parte aérea (penca-cladodio)	1.03 a	1.37 a	1.77 a	3.12 a	1.61 a

^aMedias con misma literal en columna, son iguales estadísticamente.

En general se observó una tendencia de una mayor disminución en la altura en las plantas de las nopaleras silvestres ubicadas en la costa del Océano Pacífico, mismas que son afectadas en mayor medida debido a las condiciones climáticas que prevalecen en esas áreas costeras, ya que como se reporta (Nobel, 1998), la mayoría de los magueyes y cactus no toleran niveles de salinidad moderados (2 a 4 dS m⁻¹). El crecimiento de sus raíces se inhibe de manera drástica a concentraciones de sodio de un quinto de la encontrada en el agua de mar (el agua de mar contiene más o menos 12 g de sodio por litro).

Como se esperaba, debido a una mayor incidencia de brisa salina, las plantas colectadas en los sitios ubicados en el OP mostraron la mayor concentración de sodio, a excepción de las plantas del sitio 10 (GC) mientras que en general, las menores concentraciones las mostraron las plantas muestreadas en los sitios del Golfo de California. Como se mencionó anteriormente, las condiciones climáticas a las que están expuestas las plantas ubicadas en el OP, incluyendo una mayor humedad relativa y ocurrencia de vientos nocturnos, provocan que se presente una mayor afluencia de brisa marina, así como corrientes de vientos en dichas áreas costeras, donde además, abundan las áreas de salitrales. Por lo anterior, en el OP las plantas de nopal están mayormente expuestas a los embates climáticos, dando como resultado, plantas con tallas más bajas y con diferencias morfológicas tales como las que muestran las plantas de la zona de dunas más cercanas al OP, que se caracterizan por presentar gran cantidad de espinas, más largas que las plantas de los sitios ubicados en el GC. En relación con la concentración de este mineral en la planta, las pencas mostraron la mayor concentración con respecto a la

raíz, siendo las plantas de los sitios 7, 10 (GC) y 14 las que mostraron la mayor concentración en este órgano, mientras que las plantas del sitio 9 (GC) presentaron las menores concentraciones. Se observa también que solo en las plantas del sitio 14 (OP) la concentración de sodio fue muy similar en penca y raíz, mientras que las plantas del sitio 2 (OP) disminuyeron su concentración en penca pero se incrementó en raíz. El hecho de haber encontrado la mayor concentración en parte aérea (penca o cladodio) que en raíz, difiere de los resultados encontrados por Nerd *et al* (1991), que mencionan que el nopal (*Opuntia* spp) es capaz de acumular más sodio en sus raíces evitando su movilización a las pencas, es por ello que se sostiene que la brisa marina contribuye en gran medida en incrementar la concentración de sodio en penca, que es la parte mayormente expuesta a las condiciones climáticas de las costas en los sitios de muestreo.

Para el caso de la concentración de cloro, se muestra que contrario al sodio, en su mayoría, las concentraciones mayores se presentaron en las plantas de los sitios ubicados en el Golfo de California, siendo además, superior en penca que en raíz. Sin embargo, la interacción mostró que en dos de los sitios (12 y 13) ubicados en el Océano Pacífico el cloro fue superior en raíz que en penca. Asimismo, se observa que en el sitio 2 (OP) la concentración disminuyó en ambos (penca y raíz) mientras que en el sitio 6 (GC) aumentó. En los sitios 12, 13 y 14, aunque la concentración fue mayor en raíz, la tendencia fue disminuir en ambos órganos, por lo que las plantas de estos sitios, pudieran ser nuevamente analizadas para determinar la posible tolerancia de éstas a este ion en particular. De acuerdo con Greenway y Munns (1980), la sensibilidad a la salinidad de ciertas especies es debido a la absorción de la raíz a la parte aérea de cantidades relativas de Cl^- y/o Na^+ . Tanto la comparación entre variedades como entre especies muestra que la sensibilidad a las altas concentraciones de Cl^- y Na^+ en las hojas es mucho mayor en la glicófitas que en las halófitas y esta diferencia está siempre basada en un compartimiento celular inadecuado de iones en las hojas de las glicófitas. La concentración de Ca^{2+} en las plantas de los diferentes sitios, muestra que los valores mayores se presentaron en las plantas de los sitios 6 (GC)

y 12 (OP), mientras que lo contrario lo mostraron aquellas ubicadas en el sitio 2 (OP). En otras especies de plantas cultivadas, se ha observado que con el incremento en los niveles de Ca^{2+} , el estado hídrico (medido como el contenido relativo de agua) es mayor y la tasa de pérdida de agua es menor, asimismo, la acumulación baja de prolina en sus tejidos podría ser debido a que el Ca^{2+} induce la integridad de la membrana y/o mantiene un potencial hídrico alto en los tejidos (Cari *et al.* 1986). Además del papel del Ca^{2+} en mantener la integridad de la membrana, otras razones posibles para mantener un estado hídrico alto en los tejidos por el Ca^{2+} , puede ser la condensación de la bicapa de lípidos haciéndola impermeable al agua y a los electrolitos, manteniendo la pared celular del plasmalema y aumentando el espesor de las membranas (Cari *et al.* 1986). En otras especies como frijol (La Haye y Epstein, 1971) y soya (Wieneke y Läuchli, 1980), se encontró que un incremento en la concentración de Ca^{2+} , inhibe la absorción de Na^+ y es un factor importante en el control de la respuesta a la salinidad en vegetales. Aunque el efecto iónico se considera estar relacionado con la tolerancia a salinidad (Abel y Mackenzie, 1964; Ashraf *et al.* 1989), la evaluación del contenido iónico es un proceso intensivo, especialmente cuando se realiza bajo condiciones controladas y condiciones de salinidad para estimar los valores relativos. Por lo anterior, la determinación de las relaciones K^+/Na^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$, los contenidos de Cl^- , entre otros minerales, limita el valor que pudiera tener en los programas de mejoramiento genético para tolerancia a salinidad, por lo que en estos casos, el uso de marcadores genéticos, tales como las isoenzimas o RFLPs pueden ser más eficientes y útiles al método (Saranga *et al.* 1993). La salinidad ejerce efectos complejos en la planta como resultado de una interacción iónica, osmótica y nutricional, aunque el mecanismo fisiológico exacto del estrés por sales se desconoce aún (Shannon, 1997). La tolerancia a la salinidad depende con frecuencia de la complejidad anatómica y fisiológica de la planta organizada. Este hecho hace difícil encontrar la manera de incrementar la tolerancia a la salinidad en un mayor grado. Sin embargo, esto da una esperanza de que la tolerancia a la salinidad puede incrementarse encontrando los factores que están más limitados por el estrés salino durante el crecimiento y desarrollo (Shannon, 1997). Por otro lado, la sensibilidad a la salinidad en algunos cultivos se ha

atribuido al fallo de las plantas para mantener al Na^+ y al Cl^- fuera del flujo de la transpiración y consecuentemente del citoplasma de los tejidos de la parte aérea (Flowers *et al.* 1977; Harvey, 1985). Bajo estrés salino, una planta puede absorber nutrientes y restringir la absorción de iones tóxicos en potenciales de agua menores que los normales. Las plantas que limitan la absorción de iones tóxicos y mantienen rangos normales de nutrientes iónicos pueden ser más tolerantes a la salinidad que aquellas que no restringen la acumulación de iones y el balance nutricional (Shannon, 1997).

Aspectos importantes del estudio y perspectivas

La producción de "nopalitos" en México involucra el desarrollo de tres sistemas: las comunidades de nopaleras silvestres, las plantaciones en los jardines de las casas y las plantaciones comerciales (Sodi, 1964; Flores, 1992). Se estima que en México, de los 13 millones de hectáreas de formación de matorral de crasicauléscente, 3 millones está densamente ocupado por las comunidades de nopaleras silvestres. Los cladodios tiernos o "nopalitos" de un número grande de especies silvestres se usan para el consumo humano y como forraje. Por este tipo de explotación se procesan y envasan para exportación o esporádicamente para el mercado nacional entre 2000 y 3000 t ha⁻¹ en condiciones intensivas (Reyes, 1993). Normalmente los "nopalitos" producidos en los jardines de las casas se consumen en el periodo de rebrote (primavera). Esta producción se destina principalmente a los mercados del pueblo, pero también para el consumo nacional. Según Flores (1995) la importancia de este sistema queda en la gran diversidad genética que ofrece. Es casi imposible estimar el área cubierta por las nopaleras en los jardines de las casas en México. Las plantaciones comerciales cubren alrededor de 10,500 hectáreas y aproximadamente 580,000 ton año⁻¹, proporcionan la mayoría de los "nopalitos" a los mercados locales y extranjeros con un rendimiento medio de 55 t ha⁻¹ (Flores, 1997). Las regiones con la mayor área de cultivo de "nopalitos" son, Milpa Alta, Distrito Federal y Tlalnepantla, Morelos, generalmente no usan riego (Flores, 1995); sin embargo, hay regiones en México como Mexicali y Valles de la Costa en Baja California donde la

producción requiere de la irrigación. Específicamente en Baja California Sur, en esta región, el agua subterránea se usa para la producción de "nopalitos" y otros cultivos hortícola y frutales, dicha agua tiene un rango de salinidad de 2.5 a 5.0 dS m⁻¹ (Navejas, 1995). Desde que la salinidad es uno de los factores más importantes que limitan la productividad y distribución de plantas, los estudios del efecto de la salinidad se han llevado a cabo durante mucho tiempo; sin embargo, el mecanismo de resistencia a la salinidad no se ha entendido totalmente (Mansour, 1997). Por otro lado, un tercio de las tierras irrigadas del mundo están afectadas por la salinidad, por lo que esta representa uno de los problemas más importantes que afectan la agricultura irrigada en el mundo. Es un sueño y una tarea formidable del hombre lograr que las especies cultivadas prosperen en las inmensas áreas de tierra salinizadas (El-Saidi, 1997). La extensión agrícola en las regiones áridas y semiáridas, suponen una gran cantidad de agua de riego. Los recursos de agua dulce no son suficientes para ser usados en los cultivos para cubrir la demanda de alimento de una población creciente. Así, explorando la posibilidad de usar el agua salina para la irrigación, especialmente el desagüe y el agua del subsuelo es de gran importancia. Cuando el agua de calidad superior no está disponible para la irrigación, la substitución de cultivos ha sido el acercamiento principal a tratar con la salinidad. Aunque al parecer el mecanismo de tolerancia a la salinidad no está desarrollado en las opuntias, se necesitan otros estudios relacionados a la tolerancia a la salinidad de esta especie usando otros cultivares, variedades o especies con alto valor comercial que probablemente puedan mostrar tolerancia a la salinidad. Adicionalmente, se requiere realizar trabajos de investigación en campo bajo tratamientos de sequía e incrementar la salinidad, continuando con experimentos en invernadero usando el sistema hidropónico. Finalmente, la investigación con esta especie es muy importante para los investigadores que están trabajando sobre cuestiones biológicas, genéticas, agronómicas, fisiológicas, industria, medicina, bancos de germoplasma y otros temas relacionados con la especie en estudio.

TALLERES Y ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

Dentro de las actividades del "Proyecto de Desarrollo de la Agricultura y Comunidades Rurales en Baja California Sur, México", se han impartido a la fecha cuatro talleres para productores con el fin de presentar los resultados obtenidos en dicho proyecto binacional (CIBNOR-Universidad de Tottori-JICA). El proyecto es el resultado de la colaboración académica interinstitucional entre la Universidad de Tottori de Japón y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) de México y tiene como propósito fundamental brindar asesoría, experiencia y conocimientos a productores agrícolas del Ejido El Carrizal en materia de agricultura sostenible.

Es indudable que el incremento de la población y el desarrollo de las actividades turísticas en el Estado de Baja California Sur han venido impactando la disponibilidad y calidad del agua para riego. Lo anterior ha ocasionado efectos severos en el desarrollo de los cultivos, principalmente por la escasez del recurso hidrológico y por el incremento en la salinidad del suelo y agua de riego, condiciones que han empobrecido los agroecosistemas. De manera similar, el abatimiento del nivel freático del agua subterránea facilita la intrusión del agua de mar al subsuelo, lo cual contribuye a la alteración gradual de los ecosistemas en el Estado. Ante la panorámica de la falta de agua, una posibilidad factible para alcanzar la sostenibilidad de la agricultura en la región consiste en el mejoramiento, adaptación y promoción de cultivos adaptados a las zonas semidesérticas, con menores requerimientos de agua de riego para su desarrollo. Entre los cultivos disponibles para dicho efecto, el nopal figura como una especie utilizada tradicionalmente en diversas zonas del país, actualmente con un elevado potencial para ser comercializado. En el presente Taller sobre "Actualización en el Manejo del Cultivo del Nopal" se abordarán diferentes temas de dicho cultivo, con el fin de incrementar el conocimiento práctico para un mejor aprovechamiento del mismo, como cultivo comercial en Baja California Sur.

PRIMER TALLER DE DIVULGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS CULTIVOS PARA ZONAS SEMIÁRIDAS: INDUCCIÓN SOBRE NUEVOS CULTIVOS PARA ZONAS ÁRIDAS

Enrique Troyo-Diéquez, Bernardo Murillo-Amador, Alejandra Nieto-Garibay, Juan Larrinaga-Mayoral, Rosalía Servín-Villegas y Lilia Alcaráz-Meléndez

Este taller se impartió en las instalaciones del CIBNOR el día 9 de noviembre de 2001, contándose con la presencia de los productores de El Carrizal. Se presentaron las características generales de los cultivos considerados en el proyecto, tales como chile chiltepin, frijol de árbol, control de plagas con productos naturales, sábila, frijol y orimón, chile güerito, damiana y nopal. Para nopal, se mencionó que el fenómeno de la desertificación, cada vez más acentuado en el territorio nacional, es causa de que los productores de las zonas semiáridas tengan pérdidas totales consecutivas por varios años en sus cultivos anuales. Siendo el nopal una planta con resistencia natural a la sequía, debido a su fisiología muy particular y a su compleja estructura anatómica y morfológica, ofrece una alternativa real para el uso de los suelos de las regiones áridas y semiáridas del país, que constituyen aproximadamente el 60% del territorio nacional. Los usos que se le dan al nopal son muy variados: se aprovecha como fruto fresco, verdura y forraje, además de sus usos potenciales y secundarios manifiestos en la obtención de colorante rojo natural, cosméticos, medicinas, mermeladas, jugos, dulces, bebidas alcohólicas, etc., así como alimento de la fauna silvestre. El nopal es de origen mexicano y desde tiempos inmemoriales ha jugado un papel importante en la cultura nacional. Datos estadísticos actuales revelan que en México existe marcado interés en el cultivo de esta Cactácea.

SEGUNDO TALLER DE DIVULGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS CULTIVOS PARA ZONAS SEMIÁRIDAS: ACTUALIZACIÓN EN EL MANEJO DEL CULTIVO DEL NOPAL

E. Troyo-Diéguez y B. Murillo-Amador (Editores)

Este taller se realizó en las instalaciones del CIBNOR y en el Ejido El Carrizal, del 6 al 10 de febrero de 2002. Se abordaron temas de fertilización y nutrición en nopal, el manejo del agua en dicho cultivo y aspectos de la producción y comercialización de nopal verdura en México. Se hizo hincapié en que la producción de alimentos se ha convertido en una necesidad prioritaria que todos los países de alguna manera se esfuerzan por satisfacer. En este afán, la tecnología agrícola y ganadera se supera e intensifica en las zonas de riego y de temporal, así como en las de agostadero. Sin embargo, en las zonas áridas y semiáridas, las condiciones climáticas han limitado el desarrollo de la agricultura y de la ganadería, razón por la cual los pobladores de estas áreas desde tiempos inmemoriales han desarrollado estrategias de sobrevivencia y producción a partir de recursos naturales nativos e introducidos con alto potencial de adaptación y remunerativo. El futuro de las zonas áridas y semiáridas dependerá en gran medida del desarrollo sostenible de la agricultura y de la ganadería, actividades que deberán basarse en la selección adecuada de especies que sean factibles de desarrollarse y producir bajo condiciones climáticas extremas, tales como la falta o escasez de agua durante casi todo el año, suelos infértiles y la variación en las temperaturas. El nopal posee alta rusticidad y requiere pocos insumos; presenta para el productor un sinnúmero de atributos como es producir forraje para el ganado, alimento para el humano, su uso en medicina, en la cosmetología, obtención de colorante rojo natural, la importante variedad de subproductos como bebidas, quesos, licores, jugos, dulces y su papel ecológico en la recuperación de suelos y como alimento de la fauna silvestre. Por lo anterior, su cultivo resulta prioritario para el desarrollo de una agricultura sustentable en el desierto.

TERCER TALLER DE DIVULGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS CULTIVOS PARA ZONAS SEMIÁRIDAS COMERCIALIZACIÓN: ESTRATEGIAS, INFORMACIÓN Y VINCULACIÓN

E. Troyo-Diéguez y A. Nieto-Garibay (Editores)

Este taller se realizó en las instalaciones del CIBNOR y en el Ejido El Carrizal, los días 6 y 7 de junio de 2002. En este se trataron temas como las bases para la formación de un sitio productivo en la región de La Paz, los aspectos y formas para la comercialización de productos agrícolas, los productos y servicios que ofrece BANCOMEXT, el papel de ASERCA para el apoyo de la comercialización agrícola, el consumo del nopal en la dieta y su impacto en la salud humana, así como la elaboración de productos de nopal verdura y sus tecnologías de conservación e industrialización. Se comentó que la producción de alimentos en zonas áridas y semi-áridas ha constituido siempre un gran reto para los agricultores de estas zonas, la escasez de agua y salinidad de suelos son dos de los factores que afectan el óptimo desarrollo de los cultivos. Una vez que se ha logrado producir aún bajo condiciones adversas, los agricultores se enfrentan a otra problemática compleja: La falta de organización, de información y planeación, aspectos por los que la venta de sus productos es un punto crítico a resolver. A pesar de que se cuenta con instancias gubernamentales y privadas para la canalización en el mercado de los productos agrícolas existe desconocimiento por parte del agricultor sobre dichas instancias. Bajo este contexto la comercialización dentro de los proyectos que se apoyan financieramente ya sea de investigación y/o de transferencia de tecnología agrícola, es uno de los componentes que ha cobrado mayor importancia dentro del rubro social y financiero de los mismos. Por lo anterior y conjuntamente con la demanda de los productores agrícolas del Ejido el Carrizal se planeó un taller para vincular al productor agrícola con algunas instancias encargadas de fomentar y apoyar la comercialización de productos.

CUARTO TALLER DE DIVULGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN SOBRE NUEVOS CULTIVOS PARA ZONAS SEMIÁRIDAS AVANCES DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

Juan Larrinaga-Mayoral, Bernardo Murillo-Amador, Alejandra Nieto-Garibay, José Luis García-Hernández y Héctor Fraga-Palomino

El presente taller se realizó en las instalaciones del CEPROVEG (Centro de Propagación Vegetativa, Gobierno del Estado de Baja California Sur, Ejido El Carrizal), lugar en donde se están realizando las actividades de investigación de los proyectos con nopal y otras especies. Este se llevó a cabo con la participación de los productores participantes del proyecto binacional CIBNOR-Universidad de Tottori, Japón, el día 21 de febrero de 2003. En dicho evento se explicaron los avances de los estudios desarrollados, así como los planes para el año en curso, enfocados a manejo de riego y fertilización de los cultivos nopal, sábila, frijol yorimón, chile chiltepin y chile güerito. Se informó a los productores participantes que para 2003, también se realizarán estudios en sus parcelas, con el propósito de lograr una transferencia de conocimientos en el manejo de los cultivos, con mayor énfasis en la economía del agua de riego. Se comentó que se ha iniciado una mejora en las instalaciones del sistema de riego en CEPROVEG, lo que nos permitirá conocer con mayor detalle las necesidades de agua por los cultivos en las diferentes estaciones del año, lo que nos pondrá en posición de emitir recomendaciones de los volúmenes de riego que se deberán aplicar a los cultivos. En concreto, estas mejoras consisten en la instalación de medidores de consumo de agua por parcelas pequeñas, lo que permite a cada investigador realizar sus estudios, conociendo con detalle y precisión el consumo de agua por cultivo, así como la dosificación de fertilizantes al sistema para nutrir a las plantas con base en los diferentes tratamientos a estudiar para los agricultores de zonas áridas, en este caso los agricultores de El Carrizal.

DIFUSIÓN EN RADIO Y EN MEDIOS IMPRESOS

El día 6 de marzo de 2002, en el Programa de Radio numero 52 del Programa "un mar de ciencia en el desierto" del CIBNOR que se transmite semanalmente en la emisora XEBCS radio cultural del Instituto Estatal de Radio y Televisión, se presentó la entrevista intitulada El cultivo del nopal como una actividad productiva en Baja California Sur, la cual fue realizada por la conductora y productora Zulema Puig Amarillas. Los participantes en dicha entrevista fueron el Dr. Enrique Troyo-Diéguez, Dr. Bernardo Murillo-Amador e Ing. Luis Landa-Hernández, quienes abordaron aspectos como la importancia que tiene actualmente el cultivo de nopal en BCS y los estudios que realiza el CIBNOR sobre el tema, sobre las expectativas de éxito que tiene el cultivo de nopal en tierras Sudcalifornianas, las variedades que se pueden sembrar y que métodos de siembra se recomiendan para suelos como los de Baja California Sur, sobre la experiencia del CIBNOR en su campo experimental y su vinculación con productores del ramo, sobre las limitaciones para la implementación del cultivo de nopal, sobre lo que falta por hacer y que alternativas se proponen para que productores del campo exploten esta alternativa, las recomendaciones, entre otros comentarios

LIBRO:

EL NOPAL

Cultivo forrajero sostenible para el Noroeste de México

Bernardo Murillo-Amador, Enrique. Troyo-Diéguez,
Alejandra Nieto-Garibay y Martín Aguilar-García

Es el título del libro editado en junio de 2002 por Murillo-Amador *et al* (2002) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., como parte del proyecto de investigación y transferencia intitulado "evaluación y validación de un sistema de producción intensiva de nopal para verdura y para forraje en Baja California Sur", el cual fue financiado por el Sistema

de Investigación del Mar de Cortés y la Fundación Produce Baja California Sur, A.C., cuyo director es el Dr. Bernardo Murillo Amador, investigador del CIBNOR. Este libro es producto de los diferentes trabajos de campo, invernadero y laboratorio realizados en las instalaciones del CIBNOR, así como de las relaciones interinstitucionales que se tiene con la Universidad de Chapingo, la Universidad Agraria Antonio Narro, entre otras instituciones con las cuales se tienen colaboraciones en el ámbito académico. El propósito de la obra fue el de contar con un documento que se utilice como material de consulta, principalmente por los productores agrícolas y ganaderos del Estado de Baja California Sur y del resto de las entidades que conforman el Sistema de Investigación del Mar de Cortés, por el personal técnico de las diferentes instituciones relacionadas con el sector agropecuario, así como por los estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado del área de las ciencias agropecuarias. Es importante mencionar que en Baja California Sur, la alimentación del ganado es un problema recurrente, ya que ésta se sustenta en su mayoría del forraje que proporciona el agostadero, cuya capacidad depende principalmente de las precipitaciones pluviales, que se presentan mayormente durante el verano y en menor proporción en invierno, con períodos de estiaje hasta de 5 meses. Por tal motivo, es importante que en los períodos de estiaje, se complemente la alimentación del ganado con raciones de nopal, existiendo una clara conciencia de que no se puede mantener al ganado solamente con nopales, aunque el ganado vacuno de las regiones desérticas subsiste a veces consumiendo nopal durante tres o más meses del año.

La presente obra destaca, entre otros aspectos, los antecedentes del cultivo del nopal forrajero en México, la importancia de cultivar nopal forrajero, su uso en la alimentación en ganado, los beneficios alimenticios que aporta, la manera de cultivarlo, así como el manejo general de las plantaciones. La mayoría de los ciudadanos conocen la utilidad del nopal como fuente de forraje para ganado bovino, ovino, caprino y porcino, siendo aprovechado como forraje de corte o bien de pastoreo directo; sus frutos (tuna), para consumo humano en fresco (nopalitos) y para la elaboración de dulces, además su importancia en la gran cantidad de usos

en la medicina y la industria. Basado en lo anterior, deben plantearse alternativas de solución que además de estar en ese marco, cumplan las expectativas cualitativas que el ganado exige para su mantenimiento, producción y reproducción. En este sentido, es posible afirmar que una de las alternativas más viables y a corto plazo para contribuir a solucionar este problema, es la de usar especies como el nopal, por lo que las líneas de investigación deben enfocarse en la búsqueda de genotipos de nopal, tanto forrajeros como de verdura, que muestren capacidad de adaptación y al mismo tiempo determinar las cualidades que deben mostrar los genotipos que se estudien mismas que deben satisfacer las características de altos rendimientos, respuesta favorable a condiciones de producción intensiva así como de agostadero, buen consumo (palatabilidad) y alta digestibilidad.

Por otro lado, las probabilidades de utilizar los ecocultivos del nopal en zonas áridas como un recurso forrajero y de consumo humano, cada vez son más necesarias, pues es una de las pocas especies que soporta las fuertes sequías y los cambios bruscos de temperatura debido a su rusticidad en este ambiente que permiten adaptarse aumentando el éxito de la producción. El nopal es una planta que presenta atributos favorables principalmente en épocas climáticas desfavorables, ya que es cuando el forraje tiene un alto precio, por lo tanto, es factible en el desierto considerar el cultivo intensivo de esta planta debido a sus cualidades anatómicas, morfológicas y fisiológicas que le confieren gran rusticidad, adaptación y una gran eficiencia en la utilización del recurso agua, principalmente. Si bien es cierto, se requieren de estrategias para promover plantaciones comerciales de nopal ante los productores para impactar en el sector productivo, esta especie, desafortunadamente no ha cobrado importancia en la región Noroeste de México, por lo que es necesario que tanto las instituciones federales como estatales nos involucremos para lograrlo.

Aisladamente, se tiene información de pequeños productores que tienen huertos de nopal, principalmente para verdura, también se sabe que algunas amas de casa, obtienen recursos al producir nopal en sus hogares

(traspatio) en pequeños huertos familiares donde lo cultivan, lo siembran, cosechan y comercializan. La intención fundamental es que la obra sea utilizada como material de consulta por aquellas personas interesadas en la especie bajo estudio, la cual es un recurso natural con múltiples valores, que van desde el histórico hasta el alimenticio, incluyendo los diferentes usos en la medicina, cosmetología, biología, ecología, entre otros; principalmente en zonas áridas y semiáridas del territorio nacional, donde su valor es incalculable. El libro puede adquirirse a un precio accesible para todo público y se encuentra en las principales librerías de la ciudad de La Paz, así como en el propio CIBNOR

Bibliografía

- Abel GH, MacKenzie AJ. 1964. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth. *Crop Sci* 4:157-161.
- Álvarez S.J.D., Ferrera-Cerrato R. Santizo R.J.A., Zebrowski C. 1996. Establecimiento y actividad de *Rhizobium* y de *Azospirillum* introducidos en tepetate durante el primer año de roturación. *Agrociencia*, 30(2):177-184.
- Ashraf M, McNeilly T, Braddshaw AD. 1989. The potential for evolution of tolerance to NaCl, CaCl₂, MgCl₂ and seawater in four grasses species. *New Phytol* 112, 245-254.
- Bidwell R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. AGT Editor. 762p.
- Cari M, Gupta K, Prasad TG, Krishna-Sastry KS, Udaya-Kumar M. 1986. Enhancement of water status by calcium pretreatment in groundnut and cowpea plants subjected to moisture stress. *Plant and Soil* 109:109-114.
- Castellanos R.J.Z., Muñoz V.J.A. 1987. Efecto del estiércol de bovino sobre las características de un suelo arcilloso y el rendimiento de alfalfa. INIFAP. Núm. 68. 40 p.
- CONAZA-INIFAP. 1981. El nopal; Editado por el INIFAP; Edición especial; México D. F.
- CONAZA, 1992. Nopal, cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Edit. Comisión Nacional de Zonas Áridas, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de la Reforma Agraria. Saltillo, Coahuila, México.

- Cruz, H. P., A. López J. y G. Baca. C.1988. Inducción de deficiencias de macronutrientes y Fe en nopal tunero (*Opuntia amyoclaea* T.). En: López, G. J. J. y Ayala, O M. J. (Editores). Programas y resúmenes. 3a. Reunión Nacional y 1a. Reunión Internacional Sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. p. 73.
- Diguét, L. 1912. La República Mexicana. Territorio de la Baja California. Reseña Geográfica y Estadística. Edit. Librería de la Vda. de C. Bouret. Paris-México. p. 11.
- El-Saidi, M.T. 1997. Salinity and its effect on growth, yield and some physiological processes of crop plants. In: Jaiwal, P.K., Rana P. Singh and Anju Gulati (Editors). Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants. Science Publishers, Inc. U.S.A. 111-127.
- FAO. 1996. Alimentos para todos. Cumbre mundial sobre la alimentación. 13-17 noviembre, Roma, Italia. 64 p.
- Fierro A.A. 1997. Producción de nopal-verdura (*Opuntia ficus-indica*) utilizando altos volúmenes de fertilizante orgánico (estiércol de bovino) en Milpa Alta, D.F. En: Vázquez-Alvarado R., Gallegos-Vázquez N., Treviño-Hernández N., Díaz-Torres Y. (compiladores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º congreso nacional y 5º internacional. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México.
- Flores, V.C.A. 1995. "Nopalitos" production, processing and marketing. In: Barbera G., Paolo I. and E. Pimienta, B. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. 92-99.
- Flores, V. C.A. 1997. La producción de nopalito en México. In: Vázquez, A.R.E., C. Gallegos, V., N. Treviño H. y Y. Díaz T. (Comp.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º Congreso Nacional y 5º Internacional. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México. 28-38.
- Flores, V.G. 1992. Respuesta de Producción de Nopalitos y de pH de 4 genotipos de Nopal (*Opuntia* spp), Tolerantes a Heladas a 3 Densidades en Invierno. Tesis Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buena Vista Saltillo, Coahuila, México. .55 p.
- Flowers T.J., Troke P.F., Yeo A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol* 28:89-121.
- Fortun C., Fortun A. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Ann. de Edafología y Agro biología*. 48:185-204.

- García V.A y Grajeda G.J.E. 1991. Cultive nopal para verdura. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México, México. 18 p.
- García S.M.L., Pimienta B.E. 1996. Evaluación del proceso de senescencia en pencas jóvenes de nopal (*Opuntia ficus indica*, Mill).
- Gallegos-Vázquez, C. 1999. Estado del conocimiento sobre metabolismo del nitrógeno en nopal. En: Aguirre, R. J. R. y Reyes, A. J. A. (Editores). Memoria. VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre el conocimiento y aprovechamiento de nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S. L. P. México. p. 173, 183.
- García V.A. y Grajeda G.J. 1991. Cultive nopal para verdura; Colegio de Postgraduados. Centro de Genética; Chapingo, México. 10 p.
- Gordon H. R. y Barden J. A. 1984. Horticultura. Edit. A. G. T. Editor S. A. México, D. F. p. 307-321.
- Greenway H, Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Ann Rev Plant Physiol* 31:149-190.
- Harvey DMR. 1985. The effects of salinity on ion concentrations within the root cells of *Zea mays* L. *Planta* 165:242-248.
- Jara, F. R. R., Meléndez G. y J. J. Martínez H. 1981. Efecto de las fuentes y dosis de fertilización sólida y fluida en la producción de maíz, bajo condiciones de temporal. En resumen XIV Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, S. L. P., México.
- La Haye PA, Epstein E. 1971. Calcium and salt toleration by bean plants. *Physiol Plant* 25:213-218.
- León de la Luz, J.L., Coria, R. 1992. Flora icononográfica de Baja California Sur. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. p. 91.
- López TM. 1995. Resistencia de las plantas. Trillas, México. pp. 20-39.
- López J.A., Cruz H.P. 1988. Efecto de la fertilización con N, P y K y tres fuentes de materia orgánica en nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T.). En: López G.J.J. y Ayala O.M.J. (Ed.) El Nopal. Programa y resúmenes de la tercera reunión nacional y primera internacional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 58.

- Lozano, G. M. 1958. Contribución al Estudio e Industrialización del Nopal. Tesis. Ing, Agrónomo Escuela. Superior de Agricultura. Antonio Narro, Universidad de Coahuila. Saltillo, México. Lynch J.M., Bragg E. 1985. Microorganism and soil aggregates stability. In: Advances in Soil Science. Sewart, B.A. (Ed.) Vol. 2. Springer-Verlag, N.Y. USA. 133-170.
- Mansour, M.M.F. 1997. Cell permeability under salt stress. In: Jaiwal, P.K., Rana P. Singh and Anju Gulati (Editors). Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants. Science Publishers, Inc. U.S.A. 87-110.
- Méndez G.S.J.J., Martínez H.J.J. 1988. Efecto de la fertilización química y orgánica sobre el rendimiento en tres formas de Nopal (*Opuntia* spp) en una plantación comercial. En: López G.J.J. y Ayala O.M.J. (Ed.) EL Nopal. Programa y resúmenes de la tercera reunión nacional y primera internacional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 70.
- McWilliam, J.R. 1986. The national and international importance of drought and salinity effects on agricultural production. In: Plant Growth, Drought and Salinity. Turner, C.N. and Passioura, B.J. (Eds.). CSIRO, Australia. 1-13p.
- Murillo-Amador, B. 1996. Parámetros fisiotécnicos de eficiencia y productividad de nopal verdura (*Opuntia* spp) bajo condiciones de producción intensiva. Tesis de Maestría. Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 96p.
- Murillo-Amador, B, Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Aguilar-García, M. 2002. El Nopal, cultivo forrajero sostenible para el Noroeste de México. Editorial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 97p.
- Navejas J. J. 1995. Respuesta del Frijol y Maíz a la Salinidad en las Etapas Fenológicas de Germinación y Vegetativa. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México.
- Nerd A., Karadi A., Mizrachi Y. 1991. Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). Plant and Soil 137:201-207.
- Nobel P.S. 1980. Interception of photosynthetically active radiation by cacti of different morphology. Oecología. 45(2):160-166.
- Nobel P.S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. 211p.

- Pessaraki M. 1999. Response of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to salt stress. In: 'Handbook of plant and crop stress' Pessaraki M (Ed.) Marcel Dekker, Inc. USA. pp. 827-842.
- Ramírez M.E. 1972. Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. Mundo Científico, J.P.N. CONAFA SEDICT. No. 4:10-14.
- Reyes, M. 1993. Aprovechamiento y comercialización del nopal tapón (*Opuntia robusta* Wendland) en el Estado de San Luis Potosí. Tesis. División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, México. 87 p.
- Roberts, N.C. 1989. Baja California Plant Field Guide. Edit. Natural History Publishing Company. La Jolla, California, USA. 309 p.
- Rojas, M. P. 1961. Aprovechemos las Zonas Áridas, Cultivo del Nopal Tunero. México. El campo XXX (878): 48-54.
- Samish Y.B., Ellern S.J. 1975. Tritratable acids in *Opuntia ficus indica* L. Dept. of Bot. Tel Aviv Jardel. Journal of Range Management. 28(5):365-369.
- Saranga Y, Zamir D, Marani A, Rudich J. 1993. Breeding tomatoes for salt tolerance: variations in ion concentrations associated with response to salinity. *J Amer Soc Hort Sci* 118:405-408.
- SARH. 1981. El nopal. Instituto nacional de investigaciones forestales. México. Pag.41, 53, 55-60.
- Shannon M.C. 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy* 60:76-120.
- Sodi, P.E. 1964. Las cactáceas en la época Precolombina y Virreynal. Cac. Suc. Mex. México. XII (1).
- Teuscher H. y R. Adler. 1981. El suelo y su Fertilidad. Ed. CECOSA. México.
- Tobar R.R. 1995. Producción de verdura (rendimiento y calidad) de cuatro genotipos de nopal (*Opuntia spp*), considerando cinco densidades de plantación, dos fertilizaciones orgánicas y túneles de polietileno. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 61p.

- Vázquez-Alvarado R., Gallegos-Vázquez C. 1997. Efecto de altos niveles de estiércol en la producción de dos variedades de nopal verdura. En: Vázquez-Alvarado R., Gallegos-Vázquez N., Treviño-Hernández N., Díaz-Torres Y. (compiladores). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º congreso nacional y 5º internacional. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, N.L. México.
- Velasco T.J.A. 1998. Efecto de la fertilización química y orgánica en la producción de avena forrajera con veza. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Aceves, N. E. 1979. El Ensaltramiento de los Suelos bajo Riego. Ed. Colegio de Post- graduados Chapingo. México.
- Wieneke J, Läuchli A. 1980. Effects of salt stress on distribution of Na⁺ and some other cations in two soybean varieties differing in salt tolerance. *Z Pflanzenernaehr Bodenk* 143:55.67.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 255-268

Capítulo 11

INVESTIGACIÓN, DIFUSIÓN Y TECNOLOGÍA SOBRE NOPAL EN LA UABCS

Roberto Pargas-Lara y Joel Ramsés Pargas-Águila

Resumen

El nopal cultivado enfrenta serios problemas debido al incremento en la incidencia de plagas y patógenos que parasitan esta especie. Los estudios más recientes indican que los problemas de plagas que este cultivo enfrenta se deben en su mayoría a un estado de desnutrición, a incrementos poblacionales de la cochinilla del nopal y frecuentemente a excesos de humedad en la zona de raíces, lo que genera pudriciones y daños, los cuales difícilmente pueden ser controlados o eliminados. En virtud de la potencialidad que tiene el nopal para diversificar la agricultura en el noroeste de México, los objetivos de este trabajo fueron: determinar el potencial de rendimiento para verdura, forraje, fruto y ornato del germoplasma establecido, generar técnicas para los productores de la región y brindar apoyo permanente para actividades de docencia-investigación (tesistas) de los alumnos del Área Interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias de la UABCS. Para este trabajo se consideró como hipótesis la suposición de que dentro del material evaluado existen líneas con características de producción de nopal para verdura, forraje, fruto y de ornato. De acuerdo con los resultados se concluye que: las variables producción de brotes (peso húmedo) y peso seco (materia seca) presentaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados encontrándose que el más productivo fue el genotipo CEN1 y posteriormente le siguieron en orden descendente los genotipos SQ1,

CAL2, MEZQ y OLA. Para el factor densidades se encontró que existen diferencias de rendimiento entre ellas, observándose que la densidad de 9 plantas por metro cuadrado fue la que promovió mayor rendimiento en los genotipos evaluados. Se concluye que a mayor densidad de plantas por unidad de superficie, mayor será el rendimiento. De acuerdo con la dinámica de crecimiento, el genotipo OLA mostró una mayor velocidad de crecimiento y en contra parte, proporcionó la producción menor entre los genotipos evaluados. Ello indica que el genotipo con la mayor velocidad de crecimiento no necesariamente coincide con el de mayor cantidad productiva ni con la calidad nutrimental. Con la información generada, se impartió un curso a los productores.

Palabras clave: *nopal para verdura, forraje, fruto y ornato, densidad de plantación, curso para productores.*

Abstract

The cultivated lines of *Opuntia* or “nopal” faces serious due to the increment in the incidence of pests and pathogens that parasite this species. The most recent studies indicate that the problems that this crop faces are a consequence its majority of a state of malnutrition, of population increments of the cochineal of nopal and frequently, and of excesses of humidity in the area of roots, which generate a soft putrefaction and other surface damages, those which difficultly can be controlled or eliminated. Because of the potentiality that has the nopal to diversify the agriculture in the northwest of Mexico, the aims of this work were: to determine the yield potential for greenness, forage, fruit and ornament of the established genotypes, to generate techniques for those producers in the region and to offer permanent support for teaching-research activities (bachelor thesis) of the students subscribed to the Interdisciplinary Area of Agricultural Sciences of the UABCS. For this work it was considered as hypothesis the supposition that among the evaluated genetic lines, one or some of them possess characteristics as nopal for production of vegetables ‘nopalitos’, forage, and fruit or for ornament. In accordance with the results, it is concluded that: the variables production of

buds (on the basis of fresh weight) and dry weight (dry matter) showed significant differences among the evaluated genotypes. In this sense, the genotype CEN1 was the most productive, following in a descending order the genotypes SQ1, CAL2, MEZQ, and OLA. For the factor densities, it was found that yield differences exist among them, showing that the density of 9 plants for square promoted the biggest yield within the evaluated genotypes. We found that a higher density of plants per surface unit corresponds to a bigger yield. In accordance with the dynamics of growth, the genotype OLA showed a bigger rate of growth, but at the same time, the same provided the smallest production among the evaluated genotypes. This indicates that the genotype with the biggest rate of growth not necessarily coincides with that of more production and quantity. With the generated information, a course was given to the producers.

Key words: *prickly pear for greenness, forage, fruit and ornament, plantation densities, farmer's course.*

Introducción

Las zonas áridas de México están distribuidas en trece entidades federativas, (incluida Baja California Sur) con una superficie de 56.7 millones de hectáreas. Las zonas semiáridas comprenden 23.3 millones de hectáreas clasificándola bajo el criterio que tienen de 300 a 600 milímetros de precipitación; entre las plantas que prosperan en esas regiones se encuentra el nopal (*Opuntia* spp) que se adapta bien a ese ambiente por su alta homeostasis que no es común en otras plantas del desierto por lo que su aprovechamiento se convierte en una de las alternativas económicas más viables para los habitantes de esas zonas. (CONAZA, 1994; Cruz, 1977.). En esas regiones con un clima semidesértico y con una precipitación mal distribuida y errática, limita las posibilidades el establecimiento de cultivos bajo una agricultura de temporal, por lo que la agricultura es bajo sistemas de riego, lo que origina problemas de incremento en el costo de producción y escasez del agua que se extrae del suelo originando otros problemas como es la mala calidad de la misma, lo cual puede terminar en el abandono de las zonas

de cultivo, provocando una migración de tipo rural en la mayoría de los casos, hacia nuevas zonas con “mayores” oportunidades. A nivel Nacional y durante 1999, se cultivaron 52,332 hectáreas; de las cuales el 85 % corresponden a la producción de tuna, el 13% nopal verdura y el resto 2 % a la producción de forraje, el total de la producción fue del orden de 597,624 t (tuna, nopal verdura y forraje), con un valor de 1, 083,156.2 miles de pesos (SAGARPA, 2001). Por lo anterior el nopal (*Opuntia* spp) es un recurso importante para la diversificación de cultivos, ya que esta especie contiene una información tanto genética o de manejo que no ha sido debidamente estudiada para su aprovechamiento como verdura, forraje, fruto, ornato o industrial, opciones que sin duda beneficiarán a futuro al productor.

Antecedentes

En un trabajo conjunto entre la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAA“AN”), Saltillo, Coahuila y la Dirección de Fomento Agropecuario del Gobierno del Estado de Baja California Sur; a petición de productores agrícolas del Estado de Baja California Sur, se inició un proyecto en marzo de 1995 y fue desarrollado en el Departamento de Agronomía de la UABCS, generando información relacionada con la caracterización de 17 genotipos de nopal (*Opuntia* spp) para su aprovechamiento como verdura, forraje y fruto, información que corresponde a la primera etapa del proyecto, desarrollándose también una tesis de licenciatura que consistió en conocer la interacción de genotipos con densidades para la producción de nopal para verdura (segunda etapa). Con la generación tecnológica generada se impartió un curso sobre “Tecnología de producción y aprovechamiento del Nopal” a productores de El Centenario y Chametla, B.C.S. (Pargas *et al.*, 1997), que es lo que corresponde a la transferencia de tecnología, en la tercera etapa. Tomando en consideración la problemática específica de la región, así como la infraestructura con que cuenta la misma, el proyecto que se desarrolló fue diseñado buscando la mayor viabilidad para su implementación quedando estructurado de la siguiente manera:

Objetivos

- Determinar el potencial de rendimiento para verdura, forraje, fruto y ornato del germoplasma estudiado.
- Generar información técnica para productores de la región.
- Dar apoyo permanente para actividades de Docencia-Investigación (tesistas) de los alumnos del Área Interdisciplinaria de Ciencias Agropecuarias de la UABCS.

Los propósitos de esta investigación fueron: encontrar la densidad óptima de plantación de cada uno de los genotipos de acuerdo a su rendimiento bajo las condiciones agroecológicas del Valle de La Paz B.C.S., determinar la mejor interacción entre genotipo y densidad de plantación basándose en su rendimiento y, además, evaluar la velocidad de crecimiento de los cladodios o nopalitos y el rendimiento de cada uno de los genotipos

Hipótesis

Del material evaluado, existen líneas genéticas con características y atributos de producción de nopal para verdura, forraje, fruto y de ornato.

Metas

Primera Etapa

- Caracterización de líneas para verdura, forraje, fruto y ornato

Segunda Etapa

- Determinación de las prácticas culturales más adecuadas para riego, fertilización y densidad de población (tesistas).
- Establecer un lote de producción de nopal para su comercialización y venta de germoplasma a productores.
- Establecer un lote de policruzadas para asegurar la viabilidad del germoplasma para futuros trabajos de fitomejoramiento.

Tercera Etapa

- Transferencia de tecnología.

Materiales y Métodos

La presente investigación consistió en la evaluación de cinco genotipos de nopal (*Opuntia* spp.) denominados: CEN1 (Centenario), SQ1 (San Quintín), CAL2 (Calandrio), OLA (Olas Altas) y MEZQ (Mezquitito), cada uno de ellos se estableció bajo tres densidades de plantación correspondientes a D1= 3, D2= 6 y D3= 9 plantas por metro cuadrado (Fig. 2) correspondientes a un total de 30,000, 60,000 y 90,000 plantas por hectárea respectivamente.

Material genético

Los cladodios (pencas) que constituyeron el material vegetativo para su evaluación fueron colectados en diferentes entidades federativas del país donde se incluyó material de productores, Instituciones Gubernamentales (CONAZA, INIFAP) y educativas (UAAAN, Universidad Autónoma Chapingo). Las pencas seleccionadas fueron las más uniformes y sanas, las que se pusieron a cicatrizar por un período de 15 días bajo la sombra (malla media sombra de 50 %) del invernadero del Campo Agropecuario de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Establecimiento

Previo a la preparación del terreno (barbecho, rastreo y surcado) y después que las pencas cicatrizaron, se establecieron en surcos de 60 m de largo y con un ancho tal que dejó el paso libre del tractor entre hileras para las labores culturales (deshierbes principalmente), la distancia entre plantas (pencas) fue de 0.40 m.

Fertilización

Un mes antes de la plantación, se aplicó fertilizante orgánico (estiércol bovino y caprino) a razón de 50 toneladas por hectárea (Fig. 1). Posteriormente se aplicó composta cada 6 meses en dosis de acuerdo al análisis previo de necesidades de nutrimentos del área cultivada (García y Grajeda, 1991.).

Riegos

Se aplicaron con una frecuencia aproximadamente de 30 días, esto dependiendo de la época del año y condiciones físicas del suelo, para no provocar estrés y que repercutiera en una baja productividad. (Nerd *et al.*, 1991).

Toma de datos y análisis estadístico

Se registró la fenología de cada variedad o ecotipo establecido, los datos fueron: inicio de brotación, inicio de floración, número de brotes, peso fresco y seco, longitud y ancho de brotes, fecha de corte, rendimiento por hectárea. El diseño empleado fue bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, en donde la parcela grande estuvo representada por los genotipos y la parcela chica por las densidades. Los valores de la producción que se evaluaron fueron: producción de peso húmedo, producción de peso seco y la dinámica de crecimiento de los nopalitos o cladodios de los genotipos estudiados.



Fotografía 1. Fertilización de parcelas.

Resultados

Los resultados son parte de la investigación realizada en el Campo Agropecuario Experimental de la UABCS y que sirvieron para la tesis de ingeniero agrónomo de Jesús Felipe Alvarado Mendoza. Los resultados obtenidos son un indicativo acerca de la alta factibilidad de establecimiento del cultivo del nopal en el área de influencia del Campo Experimental Universitario, Colonia Agrícola Los Bledales, Municipio de La Paz, Baja California Sur.



Fotografía 2. Establecimiento en diferentes densidades de plantación.

Los resultados muestran que la mayor producción de peso húmedo le correspondió al genotipo CEN1 con un volumen promedio de 10.61 t ha^{-1} y posteriormente se presentaron valores promedios en orden descendente para los genotipos SQ1 con 9.95 t ha^{-1} , CAL2 con 6.83 t ha^{-1} , MEZQ con 6.60 t ha^{-1} y OLA con 4.27 t ha^{-1} , respectivamente. Para la variable producción de peso seco se obtuvieron los promedios siguientes: para el genotipo CEN1 = $586.63 \text{ kg ha}^{-1}$, SQ1 = 527.8 kg ha^{-1} , CAL 2 = $326.93 \text{ kg ha}^{-1}$. MEZQ = $413.70 \text{ kg ha}^{-1}$ y para OLA = $240.63 \text{ kg ha}^{-1}$. En cuanto a la interacción genotipo por densidad es importante señalar que cuanto mayor es la cantidad de plantas por unidad de superficie, mayor es la producción que se obtiene. Así, en la interacción del CEN1-D3 correspondiente a nueve plantas por metro cuadrado, registró una producción de 12.03 t ha^{-1} , la CAL2-D3 = 10.34 t ha^{-1} , la MEZQ-D3 = 9.81 t ha^{-1} , la OLA-D3 = 5.89 t ha^{-1} , ya que esta densidad empleada en todos los genotipos anteriores

mostró una mayor producción con respecto a la D1 y D2, siendo la excepción la SQ1-D3 con 7.11 t ha^{-1} , que fue superada tanto por la D1 y D2 dentro del mismo genotipo, debido a daños ocasionados por liebres durante el desarrollo de los brotes. Respecto a la dinámica de crecimiento se encontró que el genotipo que mostró una mayor velocidad de crecimiento fue el material denominado OLA al cual le siguen MEZQ, CAL2, SQ1 y CEN1, respectivamente, quedando demostrado en esta investigación, que el genotipo que registró una mayor velocidad de crecimiento no proporciona el mayor volumen de producción.

Discusión

De acuerdo con los resultados se concluye que: las variables producción de brotes (peso húmedo) y peso seco (materia seca) presentaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados encontrándose que el más productivo fue el genotipo CEN1 y posteriormente le siguieron en orden descendente los genotipos SQ1, CAL2, MEZQ y OLA, respectivamente.

Para el factor densidades se encontró que existen diferencias de rendimiento entre ellas, observando que la densidad tres representada por 9 plantas por metro cuadrado fue la que mostró mayor rendimiento en todos los genotipos evaluados. Por lo cual se concluye que a mayor densidad de plantas por unidad de superficie, mayor será el rendimiento.

Conclusiones

De acuerdo con la dinámica de crecimiento, el genotipo OLA mostró una mayor velocidad de crecimiento y en contra parte, proporcionó la producción más baja entre los genotipos evaluados. Esto indica que el genotipo que registró la mayor velocidad de crecimiento no es garantía de proporcionar la mayor cantidad productiva.

Con la información generada, se impartió un curso de capacitación a los productores de la entidad.

Curso de tecnología de producción y aprovechamiento del Nopal

El curso fue impartido por los profesores investigadores del Departamento de Agronomía de la UABCS:

- PhD. Maurilia Rojas Contreras
- M.C. Roberto Pargas Lara
- M.C. Raúl Alonso Carranza Acevedo
- M.C. Francisco Higinio Ruiz Espinoza

Con el apoyo de la UABCS, el Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario, A.C. (CIMO) y la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA).

El curso fue recibido por algunos productores de los Ejidos, Chametla y El Centenario, donde se concentra la mayoría de ellos, así como amas de casa que se dedican al cultivo de nopal verdura para su venta en el mercado local. Ambas comunidades están caracterizadas y reconocidas como zonas productoras de nopal a escala comercial y de traspatio.

Lista de productores participantes:

Sergio Muñoz Enríquez ^a, Encarnación Murillo Romero, Edith Graciela Muñoz Murillo, María Antonia Murillo Amador, Fernando Carballo Rodríguez, Margarita Méndez de Carballo, Teresa de Jesús Hernández Flores, Jorge A. Peña Castillón, Juan Bautista Reyes García ^b, Juan Espinoza Paz, Francisco Espinoza Paz, Gerardo Hernández Espinoza, Rosario González Espinoza, Amalia Pérez García, Lucía Hernández Espinoza, Francisco Sánchez Salgado, Agustín García García, Evelio Ojeda Amador, Ofelia Carvajal Ramírez, Epifanio López Misina, Simón Navarro Cevallos, Rodrigo Ojeda Hilaes, Atanasio García Sánchez.

^a Grupo Xochimilco.

^b Grupo El Nopalero.

El curso fue estructurado atendiendo el perfil del productor representativo en la región y consistió en ocho unidades temáticas, siendo estas como se muestra a continuación:

Unidad I

Aspectos básicos y producción.

Unidad II

Ecología del nopal.

Unidad III

Agronomía y cultivo del nopal.

Unidad IV

Labores culturales.

Unidad V

Recolección y tratamiento poscosecha.

Unidad VI

Manejo poscosecha, conservación y técnicas de preparación.

Unidad VII

Elaboración de nopales en conservas.

Unidad VIII

Técnicas de deshidratación y molido del nopal.

Como parte final del proyecto se decidió establecer un vínculo entre los productores y a la vez conocer sus capacidades para expresar su potencial de creatividad para lo cual se realizó un concurso de tema libre, donde usaron el material biológico en estudio, habiendo una buena participación por parte de los productores expresando sus habilidades artísticas; las cuales reflejan en parte sus vivencias en su ambiente cotidiano (Fotografías 3 y 4).



Fotografía 3. Establecimiento de cladodios a nivel comercial (Grupo El Nopalero).



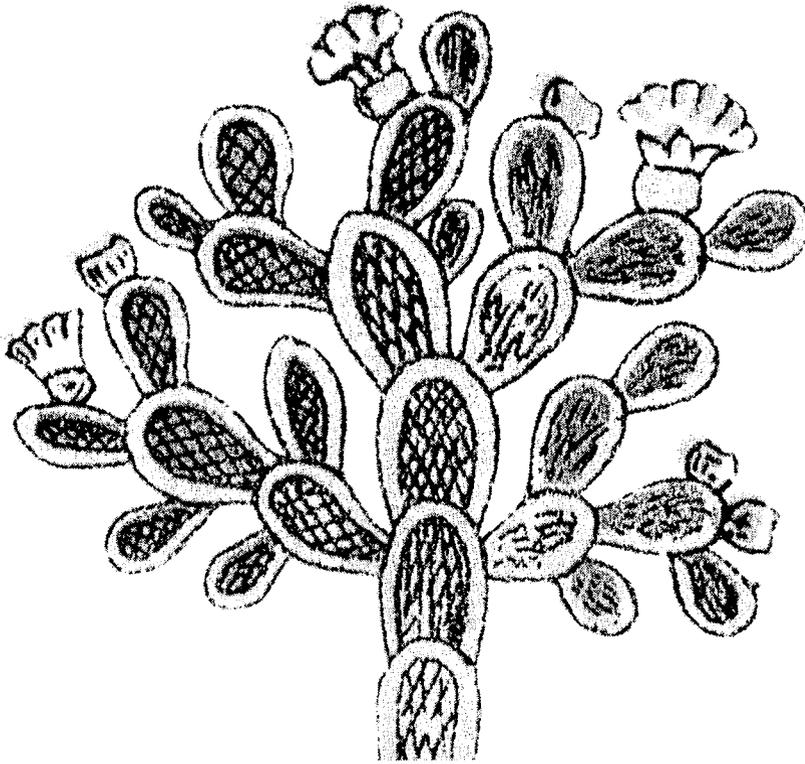
Fotografía 4. Elaboración de figuras con nopal.

Bibliografía

- Alvarado-Mendoza, J.F. 1998. Producción de Nopal (*Opuntia* spp) para verdura bajo diferentes densidades en el Valle de La Paz, B. C. S. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Agronomía, Universidad Autónoma de Baja California Sur., La Paz, B.C.S., México. 56 p.
- Cruz, H.P, García S. 1977. Nopal tunero para el área semidesértica del Valle de Vasequillo. SARH-INEA. No-91. México.
- CONAZA 1994. Nopal tunero (*Opuntia* spp) cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México.
- García, V.A, Grajeda G.J.E. 1991. Cultive nopal para verdura. Colegio de Postgraduados de Chapingo. México. 18 p.
- Herp B. 2000. *Aloe vera*, jojoba y yuca. Ed. Océano. Barcelona España.
- Nerd, A., Karady, A., Mizrahi, Y. 1991. Out-of- season prickly pear fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts un productivity. HortScience (5): 527-529.
- Pargas-Lara, R. 1997. Tecnología de producción y aprovechamiento del Nopal. Curso a productores. Departamento de Agronomía. UABCS, DGETA, SAGAR.
- Pargas-Lara, R. 1994. Producción de biomasa de dos especies de zonas semiáridas (nopal y sábila) considerando factores fisiotécnicos y genéticos ambientales para su evaluación. Proyecto de Investigación. Departamento de Agronomía. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Cuarta Parte

Experiencias de Cultivo, Producción y Comercialización de Nopal en Baja California Sur



El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 271-280.

Capítulo 12

CULTIVO DE NOPAL VERDURA: ANÁLISIS DE UN CASO EN BAJA CALIFORNIA SUR

Luis Landa-Hernández

Resumen

En relación con las experiencias de apropiación que se han realizado en zonas áridas fuera de su centro de origen, en este capítulo se presenta y analiza la percepción de un productor de nopal del estado de Baja California Sur. El productor presenta sus experiencias basándose en sus actividades, observaciones y experiencias acumuladas explica como ha sido el proceso de adopción y establecimiento de este cultivo en este Estado, donde hasta hace muy pocos años no existía la cultura del aprovechamiento de esta especie como alimento. Entre los diferentes aspectos analizados, se observa que los cortes se realizan diario temprano por la mañana, aprovechando pencas que tienen buen tamaño, generalmente de 20 a 30 cm, que no han perdido su calidad de "tiernos", que se puedan manipular fácilmente tanto al corte como en el proceso de eliminación de espinas o "desespine". Se hace hincapié en que el manipuleo al corte y desespine debe ser cuidadoso para obtener un producto de alta calidad. Muñoz (comunicación personal) menciona que el desespine lo realiza con navajas finas tipo *cutter*^{MR} o *exacto*^{MR}, eliminando las espinas en ambas caras de la penca y con el cuidado de efectuar los cortes lo más pequeños posibles para no exponer áreas significativas de oxidación, evitando así el manchado del producto y prolongando la vida de anaquel. Sus rendimientos actuales son de 1.5 a 2 toneladas por semana, teniendo incrementos en las semanas de quincena que es cuando sus

clientes le requieren más volumen. Finalmente, el productor manifiesta una plena satisfacción al haber elegido el cultivo de nopal dentro de su propiedad, mencionando que esta especie representa una alternativa rentable y con un futuro prospero en la localidad.

Palabras clave: *El Centenario, producción de nopal, Baja California Sur.*

Abstract

The prickly pear “nopal” established as a cultivated crop in agricultural systems of farms faces serious problems generated by the increment in the levels of incidence of pests and pathogens that parasite this species. Recent studies indicate that the main problems are related to the managing of its nutrimental state, and also to those pests and diseases that this cultivation faces, which are a consequence of an inadequate watering, whose excess of water causes putrefaction mainly in the root and on the base. One of the natural pests is the cochineal, which can weaken the plants drastically until killing them, when occurring in high infestations. In relation to the experiences that have been carried out in arid areas out of their origin center, in this chapter the perception of a farmer of nopal in the Mexican State of Baja California Sur is presented and analyzed. The farmer explains the potential and benefit of nopal, based on the activities, observations and accumulated experiences that he has obtained through several years. Accordingly, it is the adoption process and establishment of this cultivation in this state the first step to consider, where until very few years ago it didn't exist the culture for the use of this species as a food resource. Among his different analyzed aspects, it is observed that the cuts are harvested every day early in the morning, generally taking advantage of cladodes that have good size, from 20 to 30 cm. In this sense, it is intended that harvested cladodes have not lost their quality of tender, so they can be manipulated easily for process, handling and marketing, including the process of elimination of spines or thorns. All process of handling and mainly the process of elimination of spines are to be made carefully in order to obtain a product of high quality. Muñoz (personal communication) mentions that the elimination of spines is performed using

fine type knives fine, a kind of exact razor, eliminating the thorns in both faces of the cladode and with enough care to make the cuts small as possible for not exposing significant areas to an oxidation process, avoiding at the same time the occurrence of spot on the product. An important goal of this kind of management is to prolong the shelf life. Their current yields vary from 1.5 to 2 tm per week per ha, having picks raised during the weeks of more market activity, that it is when their clients require more volume from him. Finally, the producer admits a full satisfaction when having chosen the nopal as a cultivated crop inside its property, mentioning that this species represents a profitable alternative, with an interesting future of prosperity for the agricultural sector in the locality.

Key words: *El Centenario, prickly pear production, Baja California Sur.*

Introducción

Las propiedades de los nopales han sido recientemente difundidas en muchas partes del mundo. Las pencas tiernas, conocidas como “nopal verdura” o simplemente “nopalitas”, son ahora productos apreciados en diferentes países, aunque México sigue siendo el principal consumidor. Los nopalitas representan una fuente de minerales como el calcio, hierro y fósforo; azúcares, grasas, proteínas, así como varias vitaminas, principalmente B1, B2 y C. Estas propiedades constituyen características alimenticias muy apropiadas para su consumo y también muy económicos. A esta planta se le ha conferido el atributo de propiedades curativas, actualmente son muy apreciadas como fuentes naturales, la planta ha sido utilizada en la herbolaria mexicana, en medicina popular para tratamientos y curación de afecciones renales, atenuar dolores y acelerar cicatrización por quemaduras, así como para combatir la erisipela, se ha utilizado en forma de cataplasmas para desinflamaciones y dolores musculares, entre otros usos. En la actualidad, se recomienda para tratar problemas de diabetes, en este sentido; además de consumirse fresco, se consume en presentaciones deshidratadas, como una fuente de fibras naturales dietéticas y como auxiliar para tratar estreñimiento.

Estudio de Caso: Productor Sergio Muñoz Enríquez, Rancho Los Pinos, El Centenario, B.C.S.

Queda claro que los “nopalitos” representan una tradición alimenticia mexicana, cuyo consumo se remonta desde tiempos anteriores a la Conquista y aún mantiene un fuerte arraigo hacia el interior del país, principalmente en la región centro, donde se consume desde la clásica ensalada hasta las variadas combinaciones con otros alimentos, aderezos y postres. Sin embargo; de acuerdo a los comentarios vertidos por el Sr. Sergio Muñoz Enríquez productor local de nopalitos, en Baja California Sur no existía hábito de consumo de este exquisito alimento, por lo cual no había producción cultivada ni producción por colecta de nopales silvestres, puesto que dada la escasez de precipitaciones, las nopaleras naturales en esta entidad son muy incipientes, dispersas y de pobres brotaciones vegetativas. Fue hasta los años 70's y los 80's; que por la manifiesta explosión demográfica derivada de la inmigración de pobladores de otras entidades de la República Mexicana hacia Baja California Sur, se empiezan a demandar los nopalitos y las primeras ofertas fueron de los comerciantes que introducen sus mercancías del interior del país principalmente de la Central de Abastos de Guadalajara, Jalisco.

Sitio de estudio

El sitio de estudio se localiza en el poblado El Centenario del ejido del mismo nombre, ubicado dentro del Valle de La Paz y localizado en las cercanías de la ciudad de La Paz, a 15 kilómetros por la carretera al norte. En este lugar se ha venido incrementando la producción de nopalitos en traspatio, inicialmente por añoranza y para autoconsumo de sus pobladores, cuyos ejidatarios fundadores del ejido son en su mayoría originarios de los estados de Michoacán, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas y el Estado de México, en donde las nopaleras son muy comunes. Los primeros nopales que se establecieron en ese lugar fueron introducidos con pencas que en sus viajes de visita a sus lugares de origen fueron trayendo, algunas personas las trajeron más que para producir, como ornato y añorando los paisajes de los lugares que dejaron. Dada la

facilidad para traer consigo las pencas con menos espinas, predominan las de este tipo, principalmente los llamados nopales de jardín (género *Nopalea*) que son con los que alguien inició la introducción en el consumo local en La Paz, compitiendo muy favorablemente con materiales frescos, tiernos, sin espinas, sin baba y recién cortados, contra los introducidos generalmente de origen lejano que por ello llegaban deshidratados, con daños por mal manejo de transporte, manchados por oxidación en las heridas del desespinado y cuando venían con espina, no eran atractivos para el consumidor por tener que quitar espinas ya que además de no saber como hacerlo, representaba molestias y se optaba por no adquirirlos. En las últimas fechas se ha detectado una creciente inquietud por la producción de este cultivo, ello se debe en parte a que la agricultura en esta región depende exclusivamente del bombeo de agua para riego, no contando con precipitaciones definidas que permitan certidumbre para temporal, lo anterior obliga al uso eficiente del agua y la orientación para adoptar cultivos de bajos requerimientos de agua como lo es el nopal.

El señor Sergio Muñoz Enríquez en su rancho "Los Pinos" en el ejido El Centenario, produce hortalizas diversas en 8-25-00 ha, principalmente cebollas, lechugas, acelgas, repollo, cilantro, entre otras, mismas que tradicionalmente vende en la central de abastos y algunos centros comerciales en la ciudad de La Paz, lo cual le permitió iniciar la introducción de "nopalitos", atendiendo frecuentes pedidos que le hacían al entregar las hortalizas que ya venía produciendo. Explica Don Sergio que para atender estos pedidos se abocó a coleccionar nopales de traspatio de vecinos que ya los comercializaban a pequeña escala y se le despertó el interés para producirlos en su parcela agrícola.

Inicios de la plantación del productor

Sergio Muñoz Enríquez es originario del Estado de México de la región de Xochimilco, haciendo remembranza de las nopaleras de su tierra, inicia su plantación de nopales en el año de 1995 con diez surcos con pencas proporcionadas por "Don Cándido"; conocido productor de nopalitos en El Centenario, posteriormente en el año de 1996 le enviaron en diez cajas

desde Purándiro, Estado de Michoacán, pencas de nopales "muy rendidores y sin nada de espinas" de las cuales solo se lograron 200 a partir de las cuales ha desarrollado y mantenido sus plantaciones hasta la fecha.

Preparación del terreno y sistema de plantación

"Recordando las plantaciones en Milpa Alta y de mí tierra en San Gregorio" - relata Don Sergio – y de acuerdo al manejo de las siembras que realiza en la parcela, la preparación del terreno consiste en un barbecho, un rastreo cruzado, "tabloneo" y finalmente surcado que puede ser a 80 ó 90 cm, previa incorporación de 30 toneladas de estiércol maduro para el caso del establecimiento de nopal. A la distancia en tiempo y la experiencia ya adquirida sobre el manejo de nopales en las condiciones de altas temperaturas, poca lluvia y ciclones que se presentan en el Estado de Baja California Sur, el sistema de plantación actualmente lo efectúa en líneas separadas entre 3.20 a 3.60 m, a doble hilera separadas a 30 cm entre sí, con 30 a 40 cm de separación entre pencas, que le permite efectuar en las calles que quedan a esa separación, los otros cultivos que son de ciclo corto, ganando con ello; explica Don Sergio con entusiasmo, un buen manejo de los nopales por el constante laboreo que requieren dichos cultivos de ciclo corto y que le han dado buenos ahorros en mano de obra, facilitando la mecanización de las labores agrícolas. Ello contribuye también a un buen control de malezas, a la incorporación de esquilmos para mejorar el suelo una vez terminadas las cosechas de los cultivos intercalados y principalmente, que ya no ha sufrido pérdidas de las nopaleras como le sucedió en sus inicios que por "ganarle" el crecimiento y desarrollo se le "amontonó" el cultivo, dificultándole realizar las labores, sufriendo una fuerte invasión de malezas, repercutiendo en un deficiente manejo de los riegos y propiciando un crecimiento exuberante de los nopales, que por los fuertes vientos en la época de ciclones, terminaban dañados y pudriéndose finalmente con las lluvias del ciclón.

Establecimiento de la plantación

Como productor de nopalitos, el Sr. Muñoz, realiza el establecimiento de sus plantaciones de nopal, siempre asociada con otros cultivos de especies hortícolas que tradicionalmente produce y vende localmente, las pencas las obtiene en sus propias plantaciones seleccionándolas de plantas vigorosas y sanas que no tengan daños aparentes, dejándolas cicatrizar por 10 a 15 días, a veces más para deshidratarlas un poco, pues al parecer debido al estrés, responden bien en el primer riego que se aplica a los 15 o 20 días después de establecidas. Para el trazo de la plantación no tiene mayores complicaciones puesto que sus cultivos los realiza bajo sistema de riego por goteo el cual ya tiene diseñado y establecido, facilitándole con el “tendido” de las cintas del riego la orientación y colocación en el trasplante de las pencas.

La preparación del terreno para el establecimiento además de las labores señaladas anteriormente, es muy importante una buena nivelación, ya que los nopales son muy susceptibles a excesos de humedad y es seguro que se presentarán problemas de pudriciones por enfermedades con cualquier “encharcamiento” que se tenga en un mal manejo de riegos, como los tuvo este productor cuando sus riegos los realizaba bajo sistema de rodado.

Las pencas al trasplante se alinean de canto a lo largo de la línea de plantación, enterrando por la base una tercera o hasta media parte, pudiendo ser vertical o un poco inclinada. La época de plantación para los nopales en el Estado de Baja California Sur es recomendable fuera de verano, dando buenos resultados en febrero (casi al finalizar el invierno) cuando empiezan a mejorar las temperaturas, presentándose rápida la brotación teniéndose cortes tempranos en marzo y abril, coincidiendo con la época de cuaresma, fecha en donde existe una demanda elevada de consumo.

Las plantaciones efectuadas en verano tienen alto riesgo por deshidrataciones, quemaduras en la parte basal de las pencas y pudriciones cuando se aplican riegos en el intento de contrarrestar las

inclemencias del calor, sobre todo cuando la orientación de las pencas es de norte-sur y el sol incide directamente en ambas caras la mayor parte del día.

Manejo de la plantación

Control de malezas. El Sr. Muñoz, considera muy importante realizar esta actividad en el manejo del cultivo, pues está consiente que de no hacerlo, además de complicarle las labores, representan una fuerte competencia en el consumo de alimento y agua disminuyendo la producción y el rendimiento. Ocho días después del primer riego, realiza el primer deshierbe, el segundo a los 15 después de éste, el que sigue a los 30 días y uno mensual subsecuentemente. Durante los deshierbes, el productor levantar la cinta de riego para no dañarla y a que de no hacerlo, con frecuencia es dañada sin siquiera percatarse la persona que realiza dicha actividad y cuando se aplican riegos si no tiene precaución de revisar, las fugas, se ocasionan riegos deficientes y/o encharcamientos que provocan pudriciones, erogación extra de dinero por reparación de cinta y en el peor de los casos reposición de tramos completos de las líneas.

Riegos. Establecido el nopal, el Sr. Muñoz es muy cuidadoso con los riegos y aplica el primero entre los 8 y 12 días de la plantación, lo que permite en el transcurso de ese tiempo, se hayan estimulado los primeros brotes de raíces y cicatrizado cualquier herida que se haya provocado al momento del trasplante, evitando así tener fallas ocasionadas por pudriciones. El primer riego lo aplica por un tiempo entre 8 y 10 horas controlando a 12 o 15 psi (pounds per square inch) con cinta de riego de alto flujo calibre 8000; los riegos posteriores son dos por semana aplicando 3 h durante el invierno y en verano aplica riegos de 1 h por la mañana y 1 h por la tarde cada tercer día. Este programa de riegos lo sostiene y adecua según las circunstancias ya que de los riegos depende el comportamiento productivo del nopal.

Fertilizaciones. Después de aplicadas las 30 toneladas de estiércol que incorpora en la preparación del terreno, antes de la plantación, el Sr.

Muñoz, inicia la fertilización con triple 17, urea o sulfato de potasio, aplicando 4 kg por surco de 100 m, alternando cada 4 meses, agregando también 1.5 kg de harina de pescado; adicionalmente incorpora estiércol en la cantidad de 30³ por hectárea, dos veces al año. Las aplicaciones son manualmente e incorporando a lo largo de las líneas de nopal.

Control fitosanitario. Afortunadamente los problemas con plagas y enfermedades que ha tenido en su cultivo de nopal, los tiene plenamente identificados, por lo cual realiza aplicaciones preventivas para su control, sobre todo cuando detecta la presencia o inicio de alguno de los problemas. Inicialmente cuando recién incursionó con el cultivo de nopal que manejaba bajo riego rodado, realizaba aplicaciones incorrectas e inoportunas de labores culturales ocasionadas por excesos de humedad, presentándose pudriciones en las pencas basales en la parte próxima al contacto con el suelo, lo cual se asocia a enfermedades relacionadas con *Erwinia* sp, *Pythium* sp, entre otras. En esas fechas, intentó controlar mediante aplicaciones de productos a partir de cobre, tales como el Previcur y Ridomil, sin tener mucho éxito, convenciéndose que su primer problema lo constituía el manejo de riegos. Por tal motivo, decidió tecnificar su sistema de riego con controles en la conducción y aplicación de agua, seccionando e individualizando los riegos por cultivos mediante cinta de goteo, inclusive con llave de paso en cada línea de nopal, con lo cual solucionó el problema de pudriciones en su nopalera. En cuanto a plagas, el Sr. Muñoz menciona que la cochinilla del nopal siempre está presente, por lo que ha tenido que aprender a convivir con ella, ya que desde sus inicios, cuando tuvo problemas de manejo del cultivo, se le presentó una infestación fuerte de este insecto y recurrió a la aplicación de productos tales como el Tamarón, y el Safe-"T"-Side, incluso lavados con detergentes; esto último, sin poder aseverarlo, al igual que las aplicaciones con contenidos de aceite parafínico, ocasionaron deficiencias fisiológicas que se manifestaron en forma de engrosamientos de las pencas y una disminución en el número de brotes nuevos. Actualmente los controles los efectúa cuando observa presencia de cochinilla, mediante barridos sobre las pencas y aplicaciones con Malatión 50 o algún insecticida menos residual, sobre todo cuando asperja los cultivos que maneja intercalados.

No ha detectado otras plagas de importancia en el nopal, excepto un gusano blanco amarillento que se hospeda en las puntas de las pencas tiernas protegido con una tela de apariencia tejida, esta plaga no representa riesgo para la plantación, ya que debido a los cortes frecuentes que efectúa en los brotes tiernos "nopalitos", impiden la proliferación de la plaga.

Cosecha. Cuando la plantación se efectúa a mediados o fines del invierno (enero o febrero), según la experiencia del Sr. Muñoz, las brotaciones se presentan entre los 45 a los 60 días, permitiendo con ello que los primeros cortes de nopalitos aunque sean incipientes, inicien a ser regulares de los 6 meses en adelante. Las cosechas regularmente las efectúa atendiendo la demanda que tiene ya comprometida con sus clientes en los principales centros comerciales que venden directo a consumidores de la ciudad de La Paz, de ahí que los volúmenes que obtiene por semana, obedezcan principalmente a este motivo. Los cortes se realizan diariamente por la mañana temprano, aprovechando pencas que tienen buen tamaño, generalmente de 20 a 30 cm, que no han perdido su calidad de "tiernos", que se puedan manipular fácilmente tanto al corte como en el momento de eliminar las espinas (desespine). El manipuleo al corte y al desespine lo realizan con cuidado, el primero para no causar lesiones a la penca madre y al nopalito, tomando la penca y con un ligero movimiento giratorio, desprenderla, colocándola en los recipientes para ser llevadas en los mismos al lugar destinado para realizar el desespine. Los rendimientos actuales en la parcela del Sr. Muñoz, son de 1.5 a 2 toneladas de "nopalitos" por semana, teniendo incrementos elevados en las semanas de quincena, fecha en que sus clientes le solicitan una cantidad mayor de "nopalitos". Finalmente, el Sr. Muñoz manifiesta una satisfacción al haber elegido el cultivo de nopal dentro de su rancho, mencionando que esta especie representa una alternativa rentable y con un futuro prospero en la localidad.

El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI.
B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez y J.L. García-Hernández (Eds.)
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 2003.
Pp. 281-284.

CONSIDERACIONES FINALES

**Bernardo Murillo-Amador, José Luis García-Hernández
Enrique Troyo-Diéguez**

El aprovechamiento de los recursos naturales para la producción de alimentos se ha convertido en el reto más importante en casi todo el planeta. En el caso de México, donde las zonas áridas y semiáridas representan el 42% del territorio, la producción de nopal se convierte en una de las alternativas más importantes para enfrentar este reto.

La realización y conjunción del presente trabajo constituye el reflejo de los avances alcanzados sobre el conocimiento y uso del nopal, por parte de investigadores, profesores universitarios y productores en la región noroeste del país, principalmente en el Estado de Baja California Sur. A lo largo de la integración y edición de esta obra, los editores y participantes hemos podido constatar el interés que este interesante y promisorio cultivo alternativo ha despertado en el sector agrícola. Utilizado desde hace varios siglos, el nopal reviste múltiples posibilidades para ser aprovechado de manera sostenible, ya sea como cultivo para la producción de verdura, forraje, materia verde como abonado de suelos, como cerco vivo, protector del suelo, medicamento natural, constituye un tratamiento natural y seguro para la prevención y control de diversas afecciones, entre las que destaca la diabetes. También existen evidencias sobre su utilidad en el control del colesterol y del peso. Actualmente el nopal parece recobrar su importancia en virtud de la crisis que enfrenta la agricultura de zonas áridas, debida entre otros factores a la carencia de agua y dificultad en el abastecimiento de insumos. La información recopilada sobre el uso del nopal como cultivo productor de verduras de corte, tipo "nopalitos", es un indicativo de su potencialidad para diversificar la agricultura de riego en zonas áridas, lo que nos estimula a continuar con la investigación en este aspecto,

considerando que el nopal es un cultivo hortícola de importancia actual tanto en el ámbito nacional como en el ámbito mundial. Además de lo anterior, existen evidencias y datos experimentales acerca de su valor como especie forrajera y frutícola.

Por otro lado, los costos de establecimiento y producción son significativamente menores que otros cultivos, por lo que no tiene comparación con otras especies productoras de verduras y forrajeras, dado que es relativamente barato obtenerlo, establecerlo y cosecharlo. Por lo anterior, resulta altamente recomendable implementarse programas para evitar el inadecuado uso y la sobreexplotación de este recurso natural, principalmente en las regiones donde es abundante como especie silvestre. Es importante recalcar la importancia que actualmente reviste la identificación y evaluación de las especies y variedades botánicas del nopal, cuya característica principal es la tolerancia a las sequías, así como la validación de cultivares en las distintas regiones. Entre otros aspectos, se requiere caracterizar su distribución geográfica, el estado que guardan las nopaleras silvestres en cada localidad, la generación de tecnologías para el cultivo y aprovechamiento de la especie, la rehabilitación de nopaleras silvestres y la capacitación para su preservación, así como aquellos enfocados a la calidad nutrimental y la utilización como tal tanto para el consumo animal como para el consumo humano.

Definitivamente, las zonas áridas y semiáridas, dadas sus características de escasas precipitaciones y altas temperaturas, requieren de especies con desempeño eficiente en relación con el uso del agua, como el nopal, incluyendo sus diversas formas y variedades botánicas. Entre otros aspectos, el nopal ha sido valorado para la prevención y control de la desertificación, problema complejo que afecta vastas extensiones de suelos en el mundo. La desertificación afecta al 30 % de la superficie terrestre y es una amenaza para una gran parte de las tierras productivas del planeta. Para resolver este gran problema, los científicos están considerando cada vez más la agricultura de conservación, empleando técnicas de labranza mínima y especies compatibles con el ambiente, como el nopal y especies afines con los ecosistemas de zonas áridas.

Dicha estrategia ayudará a detener el avance del desierto, incrementará las cosechas y los ingresos, y permitirá a los agricultores a reducir los periodos de barbecho.

Cientos de especies de nopal son originarias y en muchos caso endémicas de nuestro país, su aprovechamiento desde hace cientos de años ha quedado registrado en la historia y el nopal se ha convertido en un símbolo de la nacionalidad mexicana; sin embargo, los estudios bajo métodos científicos apenas han iniciado en años recientes. Este libro nos permite conocer desde los aspectos básicos hasta los avances científicos más relevantes que se han logrado con tales investigaciones. Los diversos tópicos que enriquecen esta obra abarcan la taxonomía y descripción de las especies de nopal, su ubicación e importancia en el reino vegetal, así como los aspectos relacionados con sus hábitos biológicos, desde diversos puntos de vista, como pueden ser la fisiología, la bioquímica y la nutrición.

En el presente libro se reúnen los resultados de las investigaciones más recientes relacionadas con la producción de nopal, presentándose todos los capítulos en un lenguaje sencillo, con la finalidad de llegar a un variado auditorio. Se proporciona información actualizada en su campo y representa una excelente herramienta de consulta para todos aquellos involucrados en la producción de nopal, especialmente en zonas con recursos hídricos limitados. Se plantean además una serie de recomendaciones de manejo agronómico en forma muy práctica, abarcando aspectos que van desde técnicas de plantación, mediante tecnologías compatibles con la rentabilidad y la conservación del recurso suelo; de fertilización y nutrición, considerando el uso de fertilizantes, abonos orgánicos y la combinación de ambos; de protección contra plagas y enfermedades, bajo esquemas de un manejo integrado con el uso de las herramientas de control químico y biológico más apropiados; de aprovechamiento de nuevas variedades, y metodologías de riego presurizado.

Esta obra pretende servir como libro de texto complementario para cursos universitarios y de postgrado, relacionados con la producción vegetal en zonas áridas, pero además pretende ser una fuente de información para la toma de decisiones de los productores de nopal y sus técnicos de campo. De igual manera, la obra pretende alcanzar el objetivo de motivar a los estudiantes de agronomía y carreras afines e investigadores a incorporar a sus tareas cotidianas el estudio cada vez más detallado de esta especie con la finalidad de llegar a conocerla y explotarla en óptimas condiciones, trayendo con ello una alternativa para enfrentar el reto de la producción vegetal en zonas áridas por el bien de la humanidad.

Por último, queda en manos de los estudiantes de las ciencias biológicas y agropecuarias, así como de los profesores universitarios y de los investigadores continuar estudiando esta importante planta, de tal forma que se avance en todos los aspectos involucrados, en beneficio del sector agrícola productivo y de la sociedad en general. Resultará de trascendental importancia que las autoridades gubernamentales así como los diferentes actores involucrados en la producción agropecuaria de las zonas áridas y semiáridas del país, desde la investigación hasta la promoción, adopción y aplicación de las nuevas tecnologías y alternativas de cultivo, promovamos y fomentemos el uso sostenible y conservacionistas de especies como el nopal. Con lo anterior, se podrán establecer las bases de una agricultura sostenible y rentable, de tal forma que esta actividad perdure y sirva de sostén alimentario para la población.

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Abiótico. Que carece de vida. En el ecosistema se le domina así aquellos componentes que no tienen vida, como las sustancias minerales, etc.

Absorción. Acción y efecto de que un sólido haga entrar en sí a un líquido.

Adsorción. Fenómeno de retención o adherencia de un líquido o un gas en la superficie de un cuerpo sólido.

Ahuates. Espinas muy delgadas o vellos que se presentan en algunas plantas como el nopal y otras cactáceas.

Ahusado. Fino, adelgazado, puntiagudo.

Alelo. Forma alternativa del gen.

Androceo. Conjunto de órganos masculinos de la flor (estambres).

Anemófilo. Polinización realizada por el viento.

Angiospermas. Aplicase a los vegetales que tienen la semilla o las semillas encerradas en un recipiente, que es el ovario.

Antera. Porción del estambre que produce el polen.

Antesis. Es el momento al abrirse la flor.

Apodas. Larvas de insectos que carecen de patas verdaderas.

Arancel. Es la tasa o tarifa oficial que se cobra por derechos de aduana a los bienes de importación o de exportación. Los aranceles pueden ser de dos tipos: *ad valorem* cuando se cobra un porcentaje sobre el valor de los bienes y específicos cuando se cobra una cantidad de acuerdo con el peso o volumen del bien que se trate.

Areola. En general, espacio delimitado en un órgano; en las cactáceas, pequeña zona externa de la que surgen todas las nuevas partes vegetativas. Es una parte que rodea las espinas en la base.

Arreglo topológico. Conformación de la siembra de un cultivo, se refiere a la distancia entre plantas y entre surcos en la que son sembradas las plantas cultivadas.

Articulado. Provisto de segmentos o artículos que lo dividen.

Artículo. Término genérico aplicado a la zona internodal; en las cactáceas, parte de las ramas o del tallo metamorfoseada, más o menos dilatada o aplanada, estrechada en el punto de inserción.

Axila. Angulo formado por las vegetaciones secundarias en relación con el tallo o al eje del que parten.

Axonomorfa. Raíz que posee un eje primario que penetra profundamente en el suelo, muy pronunciado y carnoso, con la función de acumular sustancias nutritivas.

Biótico. Con vida, de la biota o relativo a ella.

Biotipo. Nueva especie de insecto generada por mutación de otra, capaz de desarrollarse independientemente de la especie de la cual proviene.

Bisexualidad. Característica de organismos con diferenciación de machos y hembras.

Bracónidos. Artrópodos pertenecientes a la clase Insecta, orden Hemiptera, de la familia Braconidae, los cuales en su mayoría son parasitoides de otros insectos.

Caducas. Que se caen.

Caldo bordelés. Se usa contra algunas de las enfermedades de los árboles. Sobre todo se usa contra los hongos que se ven como capitas de polvo o pelusita en las hojas, tallos o frutos. A veces causan pudriciones secas en las raíces de las plantas o manchas redondas o alargadas de distintos colores en las hojas. El caldo bordelés se prepara con: 200 g de cal hidratada, 200 g de sulfato de cobre, 10 L de agua fría. Nunca se usa cubeta de lamina para preparar o guardar el caldo bórdeles, son mejores las ollas de barro o vasijas de vidrio, madera o plástico. Primero, se mezcla el sulfato de cobre en agua. Si viene en forma de cristalitos, tarda en mezclarse, si se consigue en polvo es más fácil y rápido. Pero si no, colocar los cristales en un poco de agua caliente. Ya disueltos y mezclados, se agrega el agua fría. La cal se revuelve en otra olla con muy poco agua. Después se mezcla con el sulfato de cobre. El caldo se tiene que revolver muy bien. Lo mejor es rociar el caldo recién preparado. Si se deja sin usar, no guardarlo por más de 1 ó 2 días, echarle una brizna de azúcar por cada 10 litros y revolverlo mucho.

Centro de origen. Centro de surgimiento de alguna especie de planta o animal.

Clorénquima. Tejido del parénquima con gran cantidad de cloroplastos.

Clorofila. Pigmento verde fotosintético generalmente localizado en organelos intracelulares llamados cloroplastos. Resulta de la mezcla de clorofila *a* (pigmento antena) y clorofila *b*.

Códice. Libro manuscrito anterior a la invención de la imprenta, en la época prehispánica de México, generalmente los códices eran elaborados en cuero o papel amate con pictogramas.

Co-habita. Comparten el mismo hábitat.

Coloide. Sustancia formulada por diminutas partículas con características físicas y químicas que les permiten ser suspendidas de manera estable entre moléculas de otra materia

Comercialización de alimentos. El lazo de unión entre los productores agrícolas y los consumidores; es la distribución física y el puente económico diseñado para facilitar el movimiento e intercambio de bienes desde la parcela hasta el plato.

Comercialización. Actividad de intercambiar productos o servicios por otros con el mismo valor o por el correspondiente pago monetario. Sin embargo, según el contexto puede significar diferentes cosas para diferentes personas. Para el consumidor, mercadeo puede referirse a la compra semanal de alimentos en el supermercado. El productor trata primero con los compradores locales del producto y puede asociar el mercadeo con la carga de puercos a la camioneta para llevarlos al mercado o con la llamada de corredores locales que determinan quien está ofreciendo el mayor precio para ganar. En este sentido, para otros actores de la cadena productiva puede significar otra actividad o hecho.

Control etológico. Es el control de plagas que aprovecha el comportamiento de algunos insectos. Este control parte de la idea de que solo conociendo aspectos vitales de la plaga podemos tener las bases para su manejo de una manera racional.

Cópula. Acto de unión sexual entre dos organismos con sexo diferenciado con el objetivo de la reproducción.

Cuarentenaria. Se refiere a las plagas y actividades realizadas en las campañas fitosanitarias establecidas por los Comités Estatales de Sanidad Vegetal, bajo la responsabilidad del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (SENASICA) de México.

Cucurbitáceas. Plantas pertenecientes a la familia Cucurbitáceas (melón, sandía, calabaza, etc.).

Cutícula. Capa externa de las hojas y otros tejidos vegetales.

Dehiscente. Fruto que se abre espontáneamente liberando las semillas.

Demanda evaporativa. Es la cantidad de agua que demanda el ambiente para llegar a una humedad de saturación (100 %). Mientras menos humedad exista en el ambiente mayor es la demanda evaporativa.

Dicotiledóneas. Plantas cuyas semillas tienen dos cotiledones.

Elitros. Par de alas frontales engrosadas, con apariencia de cuero duro y rasposo que cubre en forma de estuche al otro par de alas delgadas membranosas adaptadas para el vuelo de las especies de insectos pertenecientes al orden Coleóptera.

Endemismos. Viene de endémico.- De las especies animales o vegetales que son propias y exclusivas de una determinada zona.

Enzima. Una proteína que cataliza una reacción química específica.

Erosión. Pérdida o arrastre de las partículas superficiales de un suelo por efecto del roce de algún cuerpo extraño, la erosión de suelo más frecuente se da por el viento y el agua de lluvia.

Escarabiforme. Forma típica de las larvas de los escarabajos pertenecientes al orden Coleóptera.

Especies rizófagas. Especies de insectos que se alimentan de las raíces de las plantas.

Estambre. Estructura básica del androceo que consiste de la antera y el filamento, y que produce el polen.

Estigma. Porción apical del pistilo que recibe el polen.

Estilo. Parte superior del ovario que remata en o varios estigmas.

Estomas. Configuración de apertura (orificio de salida) que forman las células guardianes cuya función es regular la pérdida de agua en forma de vapor de las hojas por transpiración y de los tallos en el caso de las cactáceas.

Estrato. (de suelo) Cada capa de suelo superpuesta una a la otra, se refiere a cada nivel de suelo para un determinado interés, en el caso de la agricultura, el estrato más importante es el más cercano a la superficie.

Estrés. Tensión, lesión o presión producida comúnmente por un factor ambiental externo.

Evapotranspiración. Es la suma de la pérdida de agua en forma de vapor de la planta y el suelo.

Explante. Parte de una planta (penca) usada para inducir raíz o brote en condición artificial.

Exportación. Conjunto de mercancías y servicios que un país vende a otro enviándolo por los diversos medios de transporte. La exportación, junto con la importación, forma parte del comercio exterior de un país, que a su vez integra el conjunto de relaciones económicas internacionales.

Familia. Grupo taxonómico que agrupa diferentes géneros similares.

Fanerógamas. Planta con órganos sexuales visibles en la flor.

Filiforme. Forma alargada de antena, típica de los insectos del orden Lepidóptera.

Fitoparasitos. Especies de plagas que se alimentan de organismos vegetales.

Fitosanitaria. Se refiere a la sanidad o salud vegetal.

Fumagina. Enfermedad vegetal provocada por un complejo de hongos, la cual se desarrolla sobre la mielecilla excretada por algunos insectos pertenecientes al orden Homóptera.

Funículo. Tejido que une el óvulo con la placenta.

Gen. Unidad hereditaria que porta la instrucción para la síntesis de una proteína específica y ocupa un lugar en el cromosoma.

Hábitat. Conjunto de condiciones geofísicas en que se desarrolla la vida de una especie o de una comunidad animal o vegetal. Lugar con condiciones ambientales específicas que rodean a un organismo y que influyen en su crecimiento, desarrollo y reproducción.

Hermafroditos. Organismos que poseen estructuras sexuales femeninas y masculinas en el mismo individuo y que son capaces de autofecundarse.

Importación. Conjunto de mercancías y servicios que un país compra a otro u otros. La importación se da porque ningún país produce todo lo necesario para satisfacer sus necesidades y tiene que comprar lo que requiere a otros países que lo producen en forma excedente.

Insectos entomófagos. Insectos que se alimentan de insectos, ya sea de la misma especie o de especies diferentes.

Instar ninfal. Nombre con el que se conocen los estados juveniles (antes de la madurez sexual) de los insectos con metamorfosis gradual.

KDa. Unidad 1000 veces equivalente a la masa del átomo de hidrógeno.

Larva. Una de las etapas de los insectos con metamorfosis completa, es el estado en el que emergen cuando eclosionan los huevecillos, generalmente el insecto pasa por cuatro o cinco etapas larvales antes de pasar por pupa y adulto.

Lixiviación. Transmisión o pérdida del agua o la solución del suelo, de las capas de suelo superiores a las inferiores, en ocasiones llegando hasta el manto freático.

Loci. Plural de locus.

Locus. La posición que ocupa un gen en el cromosoma.

Mandíbulas. Una parte del aparato bucal de los insectos.

Margen de comercialización. Es la diferencia del precio existente entre un productor y el agente comercial que sigue en la cadena comercial, y hasta llegar al consumidor final.

Mercado Externo. Es el mercado constituido por los consumidores residentes en países diferentes al propio.

Mercado interno. Es aquel mercado constituido por la población residente en el país.

Metabolismo. Expresión del proceso fisiológico que integra todos los procesos físicos y químicos por los cuales las células son producidas y mantenidas y por los cuales la energía está disponible para el uso del organismo.

Metamorfosis completa. Tipo de metamorfosis de algunas especies de insectos; es decir los que se ubican en los siguientes ordenes: Lepidóptera, Coleóptera, Díptera e Himenóptera. En esta metamorfosis el cambio del insecto desde que emerge del huevecillo hasta el estado adulto es drástico y sumamente notorio, con desarrollo interno de alas. Las especies con este tipo de metamorfosis pasan por un estado en el que cesa la alimentación antes de ser adultos llamada pupa.

Metamorfosis simple o metamorfosis gradual. Metamorfosis en la que el cambio de apariencia entre el insecto que emerge del huevecillo (juvenil) y el adulto es ligero. En este caso, generalmente los juveniles (ninfas) y los adultos se alimentan en el mismo hábitat y el desarrollo de las alas es externo.

Mucílago. Sustancia viscosa de origen vegetal.

Neem. Especie vegetal con reconocidas propiedades insecticidas (*Azadirachta indica*).

Nemátodos. Gusanos in-segmentados en forma de hilo agrupados zoológicamente dentro del Phylum Nematoda, los cuales poseen grandes variaciones ínter específicas con relación a su morfología y tipo de alimentación, los nemátodos que se alimentan de plantas miden en promedio 1 mm de longitud.

Nicho ecológico. La ocupación o profesión o forma de vida únicas de una especie animal o vegetal. Es decir, es lo que hace en la comunidad, recordemos que el sitio o dirección donde vive se conoce como hábitat.

Obovados. Con el ápice más amplio que la base.

Orbiculares. De forma casi redonda.

Orden. Grupo taxonómico que agrupa familias con características similares.

Ovario. Porción del carpelo o pistilo que produce los óvulos.

Oviposición. Acto de depositar los huevecillos en el sustrato.

Parásitos. Organismos que se alimentan de otros generalmente sin llegar a matar a su hospedero.

Parénquima. Tejido de la planta compuesto de células con pared delgada que comúnmente sirven para almacenar sustancias de reserva, agua, oxígeno, etc. y que presenta espacios intercelulares.

Parenquimatoso. De parénquima, tejido simple de poca especialización, formado por células vivas en la madurez, que conservan su capacidad de dividirse. Cumplen diversas funciones, de acuerdo a la posición que ocupan en la planta, presentando formas y contenidos celulares acordes.

PEP' Casa. Enzima que cataliza la reacción de fijación del CO₂ atmosférico, mediante la carboxilación del fosfoenol piruvato (3 carbonos) para producir oxaloacetato (4 carbonos).

Perennes. Plantas cuyo ciclo de vida se desarrolla en más de un año

Perianto. Envoltura de las partes reproductoras de la flor, puede o no estar dividido en dos verticilos distintos (cáliz y corola).

Período de desgravación: Tiempo que tiene que pasar para disminuir los impuestos para ciertos bienes y/o servicios entre personas, empresas y países.

Phylum. Clasificación taxonómica de gran tamaño, posterior a la división entre reinos, que a su vez se divide en clases.

Plagas exóticas. Todo aquel organismo vivo que sea considerado plaga en forma práctica o potencial y que no ha sido reportado como nativo en una región determinada y de la cual se sospecha o se confirma su presencia mediante diagnósticos científicos. La introducción de estas especies puede tener origen natural, intencional o accidental.

Polimorfismo. Que tiene muchas formas.

Potencial hídrico. Es una medida de la energía disponible para mover el agua a través del continuo suelo-planta-atmósfera.

Preoviposición. Periodo necesario para que una hembra de insecto sea apta para ovipositar después de alcanzar su madurez sexual.

Productividad primaria. Producción de los organismos fotosintéticos.

Proteína. Molécula compuesta por una cadena de aminoácidos.

Proteólisis. Fenómeno que origina la digestión (ruptura) de la proteína en unidades simples (aminoácidos).

Protórax. El primero de los tres segmentos en que se divide el tórax de los insectos, portando el primer par de patas.

Pupa. Etapa en la que los insectos con metamorfosis completa cesan su alimentación y movimiento. Durante este periodo la larva se transforma en estructuras adultas.

Pupación. Periodo de tiempo que dura una pupa.

Quitina. Componente polisacárido (polímero de N-acetil glucosamina) principal del exoesqueleto (esqueleto) de los insectos.

Rusticidad. Término aplicado para las plantas que no han sido sometidas a prácticas de mejoramiento genético.

Sistémico. Característica de ciertos productos químicos o naturales que penetran los tejidos de las plantas a través de las hojas y/o raíces.

Solanáceas. Plantas pertenecientes a la familia Solanácea (tomate, chile, papa, etc.)

Solutos. Es el componente de una disolución que se encuentra en menor cantidad.

Tachinidos. Especies de insectos pertenecientes al orden Díptera, familia Tachinidae los cuales generalmente son parásitos o parasitoides de una gran variedad de insectos.

Testa. Cascarilla, cubierta.

Tolerancia. Capacidad de la planta para modificar su metabolismo y continuar realizando sus funciones vitales en condiciones ambientales desfavorables.

Transpiración. Pérdida de agua en forma de vapor.

Tubérculo. Relieve o protuberancia que puede presentarse sobre un órgano cualquiera; su origen, forma, tamaño y consistencia pueden ser muy variables según la función desarrollada.

UFC. Unidades Formadoras de Colonias

Vacuolas. Sitio de almacenamiento de agua, u otros líquidos, se encuentra dentro de las células vegetales.

Xerófilas. Plantas que se desarrollan y están adaptadas a los ambientes áridos.

Xerófilo. Que habita en terrenos secos.

Zona libre. Estado fitosanitario de una región determinada, otorgado oficialmente por diversos organismos gubernamentales ocupados de la sanidad vegetal (SENASICA en México, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, e tc.). El término también aplica a una área geopolítica libre de restricciones comerciales.

El Libro

El Nopal

***Alternativa para la Agricultura
de Zonas Árida en el Siglo XXI***

Se terminó de imprimir en los talleres gráficos del
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

En el mes de agosto de 2003

Su tiraje fue de 1000 ejemplares



CB

JICA



GOBIERNO DEL ESTADO
DE BAJA CALIFORNIA SUR



SINC



CONACYT

7 C Fotografía: J. Landa II BNCB
E. Corraldo H