

Tanto la tuna como el nopal verdura (nopalito), han sido alimentos tradicionales en la dieta del pueblo mexicano. El aprovechamiento del nopal y de la tuna ha evolucionado desde un sistema simple de recolección en las nopaleras silvestres para consumo directo e inmediato, hasta el establecimiento en huertos próximos a las viviendas, para finalmente ser manejado como un cultivo formal especializado en plantaciones comerciales.

Actualmente, la importancia del nopal es tal que un buen número de investigadores de diversas instituciones de México y de otros países incursionan en el campo de la investigación científica y tecnológica de esta planta en diferentes campos.

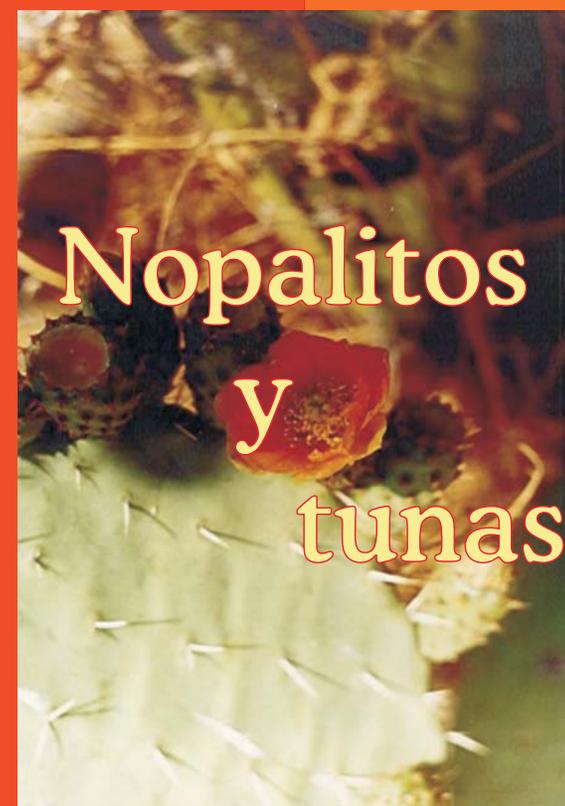
En este libro se describe y discute el panorama de las principales aportaciones científicas y tecnológicas registradas en la producción, poscosecha, comercialización e industrialización tanto del fruto de tuna como del nopalito. Las descripciones y discusiones que se hacen a continuación son el resultado, por un lado, de la experimentación y de la observación directa y, por otro, de una amplia revisión de la bibliografía disponible sobre cada uno de los temas señalados.

Nopalitos y tunas

producción, comercialización,
poscosecha e industrialización

Joel Corrales García
Claudio A. Flores Valdez

Joel Corrales García
Claudio A. Flores Valdez



producción, comercialización,
poscosecha e industrialización

Claudio A. Flores Valdez
(Editor)



Universidad Autónoma Chapingo
CIESTAAM- Programa Nopal



NOPALITOS Y TUNAS

producción, comercialización,
poscosecha e industrialización

NOPALITOS Y TUNAS
producción, comercialización,
poscosecha e industrialización

Joel Corrales García
Claudio A. Flores Valdez

Claudio A. Flores Valdez (editor)

Investigadores del Programa Nopal del Centro de Investigaciones Económicas,
Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial
(CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo,
Tel/Fax: 01(595)952-1613/952-1506.
E-mail: ciestaam@taurus1.chapingo.mx, <http://www.chapingo.mx/ciestaam>

Primera edición en español, 2003

D.R. © Universidad Autónoma Chapingo,
km 38.5 carretera México-Texcoco,
C.P. 56230, Chapingo, estado de México
Tel. 01(595)952-1532
<http://www.chapingo.mx/>

ISBN: 968-02-0010-8

Reservados los derechos. Ninguna parte del material cubierto por este título
de propiedad literaria puede ser reproducida o transmitida por cualquier forma
o medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros medios
sin el previo y expreso permiso del editor.

Impreso y hecho en México

NOPALITOS Y TUNAS

producción, comercialización,
poscosecha e industrialización

Joel Corrales García
Claudio A. Flores Valdez

Claudio A. Flores Valdez
(Editor)



Universidad Autónoma Chapingo
CIESTAAM-Programa Nopal



Información sobre los autores de esta obra

Claudio A. Flores Valdez

Ingeniero Agrónomo, egresado de la especialidad de Zootecnia de la UACH; Coordinador del Programa Nopal del Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM); Profesor-Investigador del Departamento de Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo; Tel/Fax: 01(595)952-1613; e-mail: nopal99@prodigy.net.mx

Joel Corrales García

Doctor en Ciencias, miembro del Programa Nopal del CIESTAAM; Profesor-Investigador del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo; Tel/Fax: 01(595)952-1613; e-mail: joelcorrales@hotmail.com

ÍNDICE

1. IMPORTANCIA DEL NOPAL	1
Claudio A. Flores Valdez	
1.1. Origen del nopal	1
1.2. Taxonomía del nopal	4
1.3. Variedades de nopal verdura cultivadas en México	5
1.4. Variedades de nopal tunero cultivado en México	6
1.5. Pasado y presente de la producción de nopal en México	7
1.6. Sistemas de producción de nopal en México	10
1.6.1. <i>Nopaleras silvestres</i>	11
1.6.2. <i>Nopaleras en huertos familiares</i>	12
1.6.3. <i>Nopaleras en plantaciones</i>	13
1.7. Importancia del nopal en el mundo	14
1.8. Literatura citada	17
2. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE NOPALITOS	19
Claudio A. Flores Valdez	
2.1. Introducción	19
2.2. Producción de nopalitos en México: pasado y presente	19
2.2.1. <i>Nopaleras silvestres</i>	20
2.2.2. <i>Huertos familiares</i>	21
2.2.3. <i>Plantaciones comerciales</i>	21
2.3. Manejo técnico	22
2.3.1. <i>Preparación del terreno</i>	23
2.3.2. <i>Trazado de plantación</i>	23
2.3.3. <i>Variedades</i>	23
2.3.4. <i>Plantación</i>	24
2.3.5. <i>Fertilización y abonado</i>	24
2.3.6. <i>Riego</i>	25
2.3.7. <i>Combate de plagas y enfermedades</i>	25
2.3.8. <i>Prácticas culturales y control de la maleza</i>	25
2.3.9. <i>Prevención de daños por heladas</i>	26
2.3.10. <i>Podas</i>	27
2.3.11. <i>Cosecha</i>	27
2.4. Producción de nopalitos	28
2.4.1. <i>Superficies, rendimientos y producción de nopalito</i>	28
2.4.2. <i>Importancia de los nopalitos</i>	29

2.5. Empaques	29
2.5.1. <i>En pacas</i>	29
2.5.2. <i>En colotes</i>	30
2.5.3. <i>A granel</i>	30
2.5.4. <i>En cajas</i>	30
2.5.5. <i>En arpillas</i>	31
2.6. Desespinado	31
2.6.1. <i>Desespinado manual</i>	31
2.6.2. <i>Desespinado mecánico</i>	32
2.7. La demanda de nopalitos en México.....	32
2.8. La oferta de nopalitos en México.....	32
2.9. Precios del nopalito en México	33
2.10. El mercado internacional de nopalitos	33
2.11. Conclusiones	36
2.12. Literatura citada	37
3. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA	39
Claudio A. Flores Valdez	
3.1. Introducción	39
3.2. Manejo técnico del cultivo	40
3.2.1. <i>Selección del terreno</i>	40
3.2.2. <i>Preparación del terreno</i>	41
3.2.3. <i>Trazado y densidad de la plantación</i>	42
3.2.4. <i>Variedades</i>	42
3.2.5. <i>Plantación</i>	44
3.2.6. <i>Fertilización y abonado</i>	45
3.2.7. <i>Podas</i>	48
3.2.8. <i>Combate de plagas y enfermedades</i>	50
3.2.9. <i>Prácticas culturales y control de malezas</i>	50
3.2.10. <i>Daños por factores ambientales</i>	53
3.2.11. <i>Riegos</i>	55
3.2.12. <i>Aclareo de frutos</i>	56
3.2.13. <i>Forzamiento de la fructificación</i>	57
3.2.14. <i>Obtención de tuna sin semilla</i>	58
3.2.15. <i>Cosecha</i>	61
3.2.16. <i>Rendimientos</i>	65
3.2.17. <i>Producción de tuna en alta densidad de plantación</i>	67
3.3. Desespinado de la tuna.....	69
3.3.1. <i>Desespinado manual</i>	70
3.3.2. <i>Desespinado mecánico</i>	70

3.3.3. Selección	70
3.4. Empaque de la tuna	71
3.5. Oferta de tuna a escala mundial	73
3.5.1. Italia.....	76
3.5.2. Israel	77
3.5.3. Estados Unidos	78
3.5.4. África del Sur	79
3.5.5. Chile.....	79
3.5.6. Argentina.....	81
3.5.7. Colombia.....	81
3.6. El mercado de la tuna en México	82
3.6.1. Zonas de producción.....	82
3.6.2. Oferta	83
3.6.3. Demanda.....	84
3.6.4. Precios	84
3.6.5. Canales de comercialización	88
3.7. Exportación de tuna mexicana	92
3.7.1. Volumen y valor de las exportaciones.....	92
3.7.2. Regulaciones arancelarias para la tuna en el TLCAN.....	93
3.7.3. Nombres de la tuna en diferentes países	95
3.8. Matriz DAFO de la tuna.....	96
3.8.1. Debilidades	97
3.8.2. Amenazas	97
3.8.3. Fortalezas	97
3.8.4. Oportunidades.....	98
3.9. Propuesta de un programa para el desarrollo de la cadena agroalimentaria de la tuna	98
3.9.1. Objetivos y estrategias para incrementar la producción de tuna	99
3.9.2. Objetivos y estrategias para mejorar la eficiencia del proceso de industrialización de la tuna.....	101
3.9.3. Objetivos y estrategias para mejorar la comercialización de la tuna en el mercado nacional e internacional	103
3.9.4. Estrategias para ampliar el mercado nacional e internacional	105
3.10. Conclusiones	108
3.10.1. En cuanto a producción	108
3.10.2. En cuanto al procesamiento e industrialización de la tuna.....	110
3.10.3. En cuanto a la comercialización	110
3.10.4. En cuanto al comercio exterior.....	110
3.11. Literatura citada	111

4. FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA DE LA TUNA Y EL NOPALITO	117
Joel Corrales García	
4.1. Introducción	117
4.2. Fisiología de la tuna	118
4.2.1. Fisiología del desarrollo.....	118
4.2.2. Índices de cosecha.....	122
4.2.3. Principales cambios químicos, físicos y fisiológicos en poscosecha	123
4.2.4. Principales factores de deterioro.....	126
4.3. Tecnología poscosecha de la tuna	127
4.3.1. Cosecha.....	127
4.3.2. Desespinado.....	130
4.3.3. Encerado.....	133
4.3.4. Selección y empaque	135
4.3.5. Almacenamiento y transporte.....	138
4.3.6. Precortado, procesamiento mínimo o fruta cortada fresca.....	143
4.4. Fisiología del nopal verdura (nopalitos)	144
4.4.1. Caracterización del producto.....	144
4.4.2. Comportamiento fisiológico y metabólico.....	146
4.4.3. Principales factores de deterioro.....	148
4.5. Operaciones poscosecha de nopal verdura.....	149
4.5.1. Cosecha.....	149
4.5.2. Acondicionamiento y empaque.....	150
4.5.3. Procesamiento mínimo, precortado o verdura cortada fresca	151
4.6. Literatura citada	152
Anexo de fotografías citadas	161
5. TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS EN EL PROCESAMIENTO DEL NOPAL Y LA TUNA	171
Joel Corrales García y Claudio A. Flores Valdez	
5.1. Introducción	171
5.1.1. Ventajas y racionalidad técnica de la industrialización	171
5.1.2. Descripción general y objetivo del trabajo.....	173
5.2. Productos industriales del nopal y la tuna.....	174
5.2.1. Usos tradicionales no alimentarios del nopal.....	174
5.2.2. Productos de la industria alimentaria tradicional-artesanal de la tuna.....	175

5.2.3. <i>Productos de la industria alimentaria</i>	
<i>tecnificada del nopal y la tuna</i>	178
5.2.4. <i>Bebidas de tuna y nopalito</i>	193
5.2.5. <i>Productos “medicinales” del nopal</i>	199
5.2.6. <i>Productos cosméticos a base de nopal</i>	201
5.2.7. <i>Productos artesanales del nopal</i>	203
5.2.8. <i>Productos de la industria extractiva</i>	
<i>y de la biotecnología de la tuna y el nopal</i>	204
5.2.9. <i>Productos de la industria forrajera del nopal</i>	209
5.3. Conclusiones	211
5.4. Literatura citada	213
Anexo de fotografías citadas	217

1. IMPORTANCIA DEL NOPAL

Claudio A. Flores Valdez

1.1. Origen del nopal

La familia Cactaceae es endémica del continente americano, lo que significa que antes que el hombre distribuyera plantas de esta familia, no existían en Europa, África, Asia ni en Oceanía. Las cactáceas prosperan sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, y las razones por las que el nopal se ha difundido ampliamente en el mundo son las siguientes:

- a) Los desiertos en el mundo ocupan en conjunto una superficie de 54.6 millones de km², equivalente al 28% de la superficie sólida del planeta; cubren superficies en 150 países y en ellos habitan 700 millones de seres humanos, el 14% de la población mundial (Velasco, 1991).
- b) Helia Bravo (1978), respecto a las adaptaciones de las plantas al medio árido, expresa lo siguiente: Entre las características del clima determinantes de la mayor aridez y que influyen sobre las plantas y sus tipos de vegetación, se encuentran el régimen de lluvias, que ocurre en la época más caliente del año, lo que ocasiona que el agua se evapore rápidamente, también el carácter torrencial de las lluvias provoca escurrimientos rápidos sobre la superficie del suelo, penetrando escasamente en el mismo. Después de la evaporación y escurrimientos rápidos, el agua que aprovechan las plantas es escasa; para sobrevivir tienen que absorberla de inmediato, almacenarla e impedir su pérdida (transpiración) excesiva, por medio de adaptaciones anatómicas y fisiológicas que adquirieron a través del tiempo.

Las adaptaciones anatómicas y fisiológicas de los nopales al medio árido (Nobel, 1998) se presentan para cada uno de sus órganos.

- La raíz, órgano por el cual las plantas absorben el agua, en el nopal se caracterizan por ser muy extendidas y someras (primeros 20 cm del suelo), y porque al iniciarse las lluvias desarrollan rápidamente raíces secundarias y pelos absorbentes,

que permiten a la planta absorber el agua con rapidez, en cambio, al iniciarse el periodo de sequía se enjutan (disminuyendo con ello la pérdida del agua por flujo de ésta al suelo) y algunas se desprenden. Las raíces también acumulan agua, en algunos casos de manera importante, como en *Opuntia macrorhiza*.

- El tallo, en el género *Opuntia* toma dos formas básicas: aplastado (como en las plantiopuntias o nopales) y cilíndrico (en las cilindropuntias, como en las choyas o cardenches); en ambos casos es donde se realiza la fotosíntesis y donde se encuentra el tejido parenquimatoso que almacena el agua, por lo que a estos vegetales se les denomina plantas crasicaules o de tallo grueso.
- Los tallos de los nopales han desarrollado excelentes adaptaciones para disminuir la pérdida de agua, algunas de estas adaptaciones son las siguientes: presentan una cutícula gruesa, que en ocasiones está cubierta de cera o de pelos, como en *Opuntia tomentosa*, exhiben un número menor de estomas (órganos por donde las plantas absorben bióxido de carbono, expulsan oxígeno y pierden humedad), que otras especies, además, se encuentran hundidos, por lo que disminuye la pérdida de humedad, y lo más importante, a diferencia de la mayoría de las plantas, presentan metabolismo ácido-crasulaceo (CAM), que se caracteriza porque los estomas abren sólo por la noche (para el intercambio gaseoso que la planta requiere para realizar la fotosíntesis), con lo que disminuye de manera importante la pérdida de humedad.
- Las hojas en los nopales se caracterizan por ser sumamente reducidas y caducas (se desprenden de los tallos tiernos “nopalitos”, sólo duran de tres a cinco semanas), en muchas especies las hojas se han transformado en espinas.
- Las espinas protegen a los nopales del consumo por animales, lo que produciría a las plantas cortes y heridas, y con ello la pérdida de agua, además, al sombrear las pencas y atenuar el

IMPORTANCIA DEL NOPAL

efecto del viento, las espinas contribuyen a disminuir la pérdida de humedad de la planta, lo que es esencialmente importante en especies con muchas espinas, como en *Opuntia microdasys* (nopal cegador).

- La flor, órgano por el que las plantas pueden perder agua de manera importante, en el nopal abren sólo un día y en seguida los pétalos se deshidratan y caen; así los nopales no requieren la participación de insectos o pájaros para la fecundación, pues en la mayoría de los casos, cuando abre la flor, ya ha ocurrido la autofecundación.
 - El fruto (la tuna) es succulento y se comporta como una prolongación del tallo, realiza la fotosíntesis y tiene pocos estomas, que abren por la noche, presenta aguates (espinas pequeñas) que le ayudan a conservar la humedad.
- c) Se ha considerado al nopal como una de las plantas más útiles para frenar la desertificación (Nostas, 1998), porque con ella se pueden formar setos en curvas de nivel que evitan la erosión hídrica y eólica de los suelos, soportando las condiciones del medio árido, caracterizado por lluvias escasas y erráticas y gran variación de las temperaturas diurnas y anuales. Además, con el nopal se logran reforestaciones “seguras”, porque al plantar las pencas, éstas brotarán a pesar de que las lluvias se suspendan hasta tres o cuatro meses, en cambio, con otras especies (guaje, mezquite, etc.), si las lluvias se suspenden por 3 o 4 semanas se puede perder hasta el 90 % de las plántulas.

En México se llama nopal a las plantas de la familia *Cactaceae* de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*. Debido a que presenta gran cantidad de especies, México es considerado como uno de los centros de origen de estas plantas. Helia Bravo (1978), en el primer volumen de su libro “Las Cactáceas de México”, señala para los nopales estos dos géneros.

1.2. Taxonomía del nopal

REINO:	Vegetal
SUBREINO:	Embryophita
DIVISION:	Angiospermae
CLASE:	Dicotiledónea
SUBCLASE:	Dialipétalas
ORDEN:	Opuntiales
FAMILIA:	Cactaceae
SUBFAMILIA:	Opuntioideae
TRIBU:	Opuntiae
GÉNEROS:	Opuntia y Nopalea

El género *Opuntia* en México presenta cinco subgéneros, diecisiete series y 104 especies (Bravo, 1978):

- Subgénero *Cylindropuntia* incluye ocho series y 29 especies, de las cuales sólo tres se utilizan como forraje; *O. fulgida*, *O. cholla* y *O. imbricata*.
- Subgénero *Grusonia*, presenta una sola especie.
- Subgénero *Corynopuntia* reúne ocho especies.
- Subgénero *Opuntia* implica 17 series y 63 especies de las cuales se utiliza para forraje: *O. decumbens*, *O. microdacys*, *O. rastrera*, *O. azurea*, *O. lindheimeri*, *O. cantabrigiensis*, *O. duranguensis*, *O. leucotricha*, *O. robusta*, *O. stenopétala*, *O. rufida*, *O. violacea*, *O. phaecantha*, *O. neochrysacantha* y *O. pailana*. Se utilizan por su fruta cinco especies: *O. hyptiacantha*, *O. streptacantha*, *O. megacantha*, *O. xoconostle* y *O. ficus-índica*. Y como nopal de verdura se utilizan tres especies: *O. ficus-índica*, *O. robusta* y *O. leucotricha*.
- Subgénero *Stenopuntia* con tres especies de las cuales, dos se utilizan para forraje: *O. stenopétala* y *O. grandis*.

El género *Nopalea* en México presenta 10 especies (Bravo, 1978), de las cuales probablemente sólo una, *N. cochenillífera* se utiliza como nopal verdura. En suma, de las 104 especies de *Opun-*

IMPORTANCIA DEL NOPAL

tia y 10 de *Nopalea*, se utilizan para forraje 15 especies, por su fruta cinco y como verdura cuatro (tres de *Opuntia* y una de *Nopalea*).

Se considera que esta clasificación es útil para los nopales silvestres y para las especies utilizadas como forraje; sin embargo, resulta poco útil para las variedades cultivadas para producir verdura (nopalito) o tuna.

1.3. Variedades de nopal verdura cultivadas en México

En el Cuadro 1.1. se presenta una relación de las principales variedades utilizadas en México para la producción de nopalito, de donde se desprende que la mayoría se encuentra identificada únicamente con los nombres regionales.

Cuadro 1.1. Principales variedades cultivadas de nopal verdura

<i>Variedad</i>	<i>Entidad de producción</i>	<i>Especie</i>
Milpa Alta	Distrito Federal, Morelos	<i>O. ficus - indica</i>
Atlixco	Puebla, estado de México	
Copena V1	Baja California, San Luis Potosí, Sonora, Hidalgo, estado de México	
Copena F1	Sonora, Baja California, Edo. de México.	
Moradilla	Estado de México	
Blanco	Michoacán, Guanajuato	
Negro	Michoacán	
Blanco con espinas	Guanajuato	
Polotitlán	Estado de México	
Manso	Sonora	
Oaxaca	Oaxaca	
Oreja de elefante	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas	
Tamazunchale	San Luis Potosí, Tamaulipas	<i>Nopalea cochellinifera</i>
Tapón*	San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato,	<i>O. robusta</i>
Duraznillo*	Durango, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro	<i>O. leucotricha</i>

Fuente: Flores *et al.* (1995).

* Nopal silvestre y plantado como cerco de huertos familiares y parcelas agrícolas, objeto de recolección.

Como se puede notar en el Cuadro 1.1, la mayoría de variedades sólo se identifican por el nombre común, ignorándose la especie, esto se debe a que la mayoría de las variedades son resultados de cruza interespecíficas realizadas de manera natural por insectos y seleccionadas por los productores, o bien realizadas por fitomejora-

dores, como es el caso de las Copenas, desarrolladas por el doctor Facundo Barrientos Pérez en Chapingo.

1.4. Variedades de nopal tunero cultivado en México

En el Cuadro 1.2, donde se presentan las principales variedades de nopal utilizadas en México para la producción de tuna, se observa también que la mayoría se encuentra identificada únicamente con los nombres regionales, lo que, entre otras cuestiones, da lugar a un acentuado problema de sinonimia, puesto que algunas variedades reciben hasta tres o cuatro nombres en una misma región, como es el caso de la variedad “Picochulo”, a la que también se le denomina “Apastillada” y “Naranjona”.

Las variedades de nopal cultivadas para producir tuna, se desarrollaron con la intervención del hombre durante miles de años en los agostaderos y los huertos familiares, por lo que son variedades obtenidas mediante selección.

Variedades como “Cristalina” y “Burrona” probablemente provengan de una sola planta, puesto que presentan mínima variación fenotípica. Existen algunas (Amarilla legítima, Amarilla huesona, Amarilla montesa y Amarilla miquihuana) que algunos técnicos y productores sostienen que son variedades diferentes. En contraposición, otros sostienen que se trata de una sola variedad que presenta una gran elasticidad fenotípica, de manera que según se desarrolle en condiciones más o menos favorables de suelo y humedad, los frutos se parecerán a alguna de las variedades mencionadas.

Para dilucidar esta cuestión deberán hacerse estudios filogenéticos. Probablemente convenga hacer pruebas de ácido desoxiribonucleico (ADN), para definir la secuenciación del genoma de todas las variedades cultivadas y hacer comparaciones entre sí y con *O. hypotiactantha*, *O. streptacantha*, *O. megacantha* y *O. ficus-indica*, con la finalidad de analizar el grado de familiaridad de estas especies silvestres con las variedades cultivadas.

IMPORTANCIA DEL NOPAL

Cuadro 1.2. Principales variedades de nopal tunero cultivadas en México

<i>Variedad</i>	<i>Entidades donde se produce</i>	<i>Especie</i>
Villanueva	Puebla	
Alfajayucan	Estados de México e Hidalgo	<i>O. amyclaea</i> Tenore (según Bravo H. 1978 se trata de <i>O. Megacantha</i>)
Roja Pirámides	Estado de México	.
Burrona	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí	
Cristalina	Zacatecas, Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí	
Reyna	Guanajuato, Zacatecas	<i>O. amyclaea</i>
Gavia	San Luis Potosí	
Esmeralda	Guanajuato, Querétaro	
Rojo pelón	Guanajuato, Zacatecas, Jalisco, S.L.P.	
Rubí reyna	Zacatecas, San Luis Potosí	
Torreaja	Jalisco, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí	
Morada	Aguascalientes	
Amarilla montesa	Zacatecas, Jalisco	
Miquihuana	Tamaulipas, San Luis Potosí	
Amarillo huesona	Zacatecas, Jalisco	
Picochulo	Zacatecas, Jalisco, Aguascalientes	
Cardón	Silvestre y Huertos familiares en San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, etc.	<i>O. streptacantha</i>

Fuente: Flores y Gallegos (1993).

1.5. Pasado y presente de la producción de nopal en México

Los aztecas llamaban *nopalli* a las plantas que hoy conocemos como nopal y los *nopalli* salvaron a este pueblo de morir de hambre y sed en el largo y peligroso camino que habían emprendido con una dirección desconocida, por la inmensa soledad del desierto del norte de México. Fue en el siglo XII que los aztecas salieron de Aztlán en una larga y accidentada peregrinación hacia el sur en busca de un lugar en donde fijar su asiento. Durante casi dos siglos erraron bajo soles inclementes, noches heladas, viento y arena, seguramente hostigados por el hambre y la sed, y esclavizados y perseguidos por

otros pueblos, hasta que, compadecido su Dios Huitzilopochtli, se le presentó a uno de los sacerdotes de la tribu y le ordenó: “Dile a todos esos mexitin, tus compañeros, que en el nopalli, donde habita el águila, han de poblar y hacer la cabeza de su señorío y allí verán ensalzadas sus generaciones”.

Así, en 1325, en una isla cerca del lago Texcoco, los aztecas vieron el águila sobre un nopal devorando una serpiente y allí pusieron fin a su éxodo y fundaron la ciudad de Tenochtitlán, hoy ciudad de México, que quiere decir “sitio del nopal que crece sobre la piedra”.

Muchos pueblos nativos de esta América aprovecharon la bondad de los cactus, pero solamente los aztecas los comieron, los observaron, los celebraron, los incorporaron a sus ritos, a su heráldica y los convirtieron en un símbolo religioso y nacional, es decir, fueron los únicos que articularon alrededor de estas plantas toda una cultura que les dio comida, sabiduría, poder y significado. En el *nopalli* pudieron reconocer, como en un claro espejo, su propia identidad, tal como lo describe Salvador Novo: “Los aztecas llamaban a la planta *nopalli* y a su fruta *noctli* y de acuerdo con el color de las frutas: *yztanochtli* a la fruta blanca, *coznochtli* a la fruta amarilla, *atlatonochtli* a las tunas de color rosado y *tlalpanochtli* a las tunas rojas. *Tzapotnochtli* le decían a unas tunas que por forma se parecían a los zapotes”.

Desde la época de los primeros cronistas se contaba que los mercados mexicanos eran un espectáculo de colorido y un despliegue de sabiduría popular, donde resaltaba la venta de las tunas y pitahayas. En la época de cosecha las mujeres iban al mercado en la mañana con enormes canastas llenas de tunas blancas, coloradas, coloradísimas, carmesí, amarillas, rosadas, anaranjadas, moradas y lilas; las pelaban y se las ofrecían a los compradores ensartadas en espigas de maguey, y esa pulpa húmeda, dulce, brillante y jugosa, decía Fernández de Oviedo: “Torna los labios e las manos e todo lo que alcance el zumo dellas mucho más colorado que la tinta de las moras de Castilla e tarda tanto en se quitar aquella color de donde se ha pegado, e aun mucho más que la tinta de las moras”.

IMPORTANCIA DEL NOPAL

Por la escasez de otros alimentos, los pueblos del desierto inventaron maneras de conservar las frutas y con ellas hacían miel, que puede guardarse indefinidamente sin dañarse, hacían también melcochas, queso de tuna y tunas pasas con unas tunas amarillas que se secaban al sol, en la misma forma que se procesan las uvas, las ciruelas o los higos pasas. En los meses de agosto y septiembre, para celebrar la cosecha se preparaba un vino con pulpa de tunas y pitahayas, fermentado el jugo al sol en ollas de barro. Esta bebida, llamada *colonche*, aseguran que es excelente para curar las tisis y otros problemas pulmonares. Con el jugo de tunas y pitahayas coloreaban otros alimentos y hacían tintas para escribir y pintar. Los aztecas comían tunas y pitahayas cada vez que podían, para prevenir la deshidratación y librarse de muchas enfermedades nacidas del calor.

En 1572 el médico Francisco Hernández escribía sobre los usos medicinales de los nopales en México. “Las frutas del gratísimo mantenimiento dan mucho gusto a los que se sienten calurosos... especialmente aquellos que tienen mucha cólera y padecen alguna destemplanza cálida... El agua mezclada con pitahayas es admirable remedio contra las fiebres coléricas... Dicen que la raíz de aquella tuna es singular remedio para las llagas. Y son todas las tunas frías en segundo grado y húmidas; sacando los granos que son secos y adstringentes, también las hojas son frías y húmedas, y salivosas, por lo cual el zumo sacado por expresión mitiga el calor de las fiebres ardientes, quitan la sed y humedecen los miembros interiores...”.

Los primeros europeos que desembarcaron en el continente americano comprendieron de inmediato la importancia de las opuntias en el complejo mundo cultural prehispánico, así como su relevancia económica. Cuando en 1519 Hernán Cortés llegó al altiplano mexicano, no pudo dejar de notar la presencia del *nopalli* (nombre náhuatl de la planta) donde quiera que iba, incluso, cuando entró a Tlaxcala le dieron la bienvenida con frutos del nopal (*nochtli*) y él y su gente se atrevieron a comer la fruta. Oviedo y Valdés, el primer autor en describir la tuna, utilizó la palabra caribeña ton (fruta o semilla), y apuntó que sus amigos “conocieron y comieron la fruta

con placer” en la Isla Española (actual Haití) en 1515 (Barbera, 1995).

El mismo autor describió en 1535 la morfología de la planta con bastante grado de exactitud. Conforme a su descripción, la planta se daba en la Española pero también se le podía encontrar en otras islas y en otras áreas de las Indias. Afirmaba que “sus semillas y cáscara son parecidas a las del higo y sabrosas también”. Más tarde otros autores, tal como Álvaro Núñez Cabeza de Vaca, en su reporte del viaje que realizó entre 1527 y 1536 en la región sudoeste de lo que ahora son los Estados Unidos, y Toribio de Motolinia, en 1541, mencionan el éxito de la fruta entre la población local y los propios españoles (Barbera, 1995).

1.6. Sistemas de producción de nopal en México

Según Flores (1992), del uso del nopal en México ha resultado el desarrollo de tres sistemas de producción (Cuadro 1.3), que actualmente se siguen utilizando.

Cuadro 1.3. Tiempo de utilización, productos obtenidos y superficie actual de los sistemas de producción de nopal en México

<i>Sistemas de producción</i>	<i>Tiempo de utilización</i>	<i>Producto obtenido</i>	<i>Superficie actual (ha)</i>
Nopaleras silvestres	25,000 a.C. a época actual	Forraje Fruta Verdura	3,000,000
Huertos familiares	3,000 a.C. a época actual	Fruta Verdura Forraje	Desconocida
Plantaciones	1945-2003	Verdura Fruta Forraje Grana	10,500 72,500 150,000 10

Fuente: Flores (1992).

IMPORTANCIA DEL NOPAL

1.6.1. *Nopaleras silvestres*

Desde que el hombre llegó al norte del actual territorio mexicano, probablemente hace 27,000 años, utilizó el nopal (tunas, nopalitos y pencas) para su alimentación.

La evidencia de la antigüedad del hombre en el continente americano se tiene en el llamado hombre de Tepexpan del que se había reportado una antigüedad de más de 9,000 años, todavía como cazador de mamuts, sin embargo, estudios recientes señalan que los restos encontrados no son de hombre, sino de mujer y que tienen una antigüedad mucho menor. La evidencia del conocimiento y uso del nopal se encuentra en las excavaciones de Tamaulipas y Tehuacán, Puebla, donde se encontraron fosilizadas semillas y cáscaras de tuna, así como fibras de pencas de nopal, con antigüedad de siete mil años.

Actualmente, las nopaleras silvestres están ampliamente distribuidas en las regiones áridas y semiáridas del territorio nacional. De los trece millones de hectáreas de matorral crasicaule que se registran en México (Flores *et al.*, 1971), se considera que existen tres millones de hectáreas de nopaleras, que fundamentalmente se encuentran en el desierto de Sonora, abarcando los estados de Sonora, Baja California, Baja California Sur, y Norte de Sinaloa; además, Arizona y partes de California, EE.UU.) y el desierto Chihuahuense (que cubre total o parcialmente los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, además de Nuevo México y Texas en EE.UU.).

Las nopaleras silvestres de estas regiones se utilizan fundamentalmente como fuente de forraje para el ganado ovino, caprino y bovino de carne. Cortado y acarreado a las ciudades, el nopal es también usado en la alimentación de ganado bovino lechero, otro uso que se le da a estas nopaleras en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, etc., es la recolección de tuna cardona (*Opuntia streptacantha* Lemaire) con fines de ser comercializada en los pueblos y ciudades de esta región, donde

es consumida en fresco o bien como materia prima en la agroindustria artesanal para producir dulce (queso de tuna), mermelada (mel-cocha), o la bebida alcohólica conocida como “colonche” (López, 1977).

Otro uso que se da a las nopaleras silvestres es como fuente de obtención de nopalito (verdura), principalmente en el área que comprende un radio de 120 km alrededor de la ciudad de San Luis Potosí, donde las pencas tiernas de nopal tapón (*Opuntia robusta* Wendl) son recolectadas, desespínadas y transportadas a las fábricas que las preparan como nopalito en salmuera o escabeche en la ciudad de San Luis Potosí (Doña María–Herdez, la Costeña y Coronado), fundamentalmente para el mercado de exportación, y en segundo término para el mercado nacional. De esta manera se estima que se procesan en la temporada de 3 mil a 4 mil toneladas de nopalito (Reyes, 1993).

1.6.2. Nopaleras en huertos familiares

En México, este sistema de producción nace junto con la agricultura, que según Mac Neish *et al.* (1970) se inició hace 4,500 años con la domesticación del maíz, frijol, calabaza, chile, amaranto, etc. De estas plantas el hombre comenzó a seleccionar plantas útiles de su entorno para sembrarlas en la cercanía de su lugar de habitación, de lo que resultó lo que hoy conocemos como huertos familiares.

Actualmente, los huertos familiares existen en el medio rural de todo México, pero los que tienen al nopal como un componente principal se encuentran en la Mesa Central y en la Mesa del Norte. Entre los huertos que presentan una mayor diversidad de variedades son los que se encuentran en los límites entre Mesoamérica y la región chichimeca, o sea entre los límites de los pueblos sedentarios y los nómadas al momento de la conquista. Estos huertos se encuentran en Zacatecas, San Luis Potosí, norte de Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes.

De los huertos familiares se han obtenido tuna y nopalito para autoconsumo, así como para la venta en los mercados de los pue-

IMPORTANCIA DEL NOPAL

blos y ciudades, desde la época prehispánica hasta la actualidad. Durante este gran periodo, en los huertos se produjeron en forma natural cruza entre especies y variedades, con lo cual se diversificaron los tipos, que se fueron seleccionando, de manera que actualmente las variedades de los huertos familiares son muy superiores (en sabor, tamaño, color, etc.) a las tunas de las nopaleras silvestres.

Con el incremento de la demanda de tuna y nopalito debido al crecimiento de la población y a la mayor capacidad de compra de ésta, los huertos familiares resultaron incapaces de satisfacerla, por lo que se desarrolló el sistema de plantación. Sin embargo, al dejar de concurrir compradores a los pueblos para comprar la tuna y el nopalito de los huertos, además de otras causas, como el crecimiento familiar y la necesidad de destinar espacios para la construcción de vivienda, etc., los productores han procedido a eliminar las plantas del nopal de sus huertos, lo que implica la pérdida de una gran riqueza genética que podría servir como fuente para que los fitomejoradores desarrollen las nuevas variedades que está exigiendo el mercado, sobre todo el de exportación, por lo que es urgente la búsqueda, rescate y uso de las variedades sobresalientes de los huertos familiares.

1.6.3. Nopaleras en plantaciones

Debido al crecimiento poblacional, la demanda de tuna y nopalito se incrementó fuertemente alrededor de 1950. En respuesta los productores comenzaron a seleccionar las mejores variedades de los huertos familiares para pasarlas a las parcelas agrícolas, con lo que se inició el sistema de plantación. Las plantaciones de tuna se iniciaron en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes y México. Las plantaciones de nopalito se iniciaron en Milpa Alta, D.F. En esa época las universidades comenzaron a interesarse en el cultivo del nopal y desarrollaron variedades y sistemas de cultivo.

El desarrollo histórico descrito a grandes rasgos implica que en México se dispone de una gran cantidad de variedades de nopal especializadas en fruta (tuna), en verdura (nopalito), o en forraje (pencas) y en producción de colorante (cochinilla para grana); además, existe un gran conocimiento en usos del nopal, en tanto que es limitado en el cultivo de tuna en plantaciones (en México, la experiencia en plantaciones sólo es de 50 años, mientras que en Italia, por ejemplo, se cultiva desde hace más de cien años) por lo que en algunos aspectos (fertilización, riego, podas, aclareo de frutos, forzamiento de la producción, etc.), otros países llevan la delantera, por tener más tiempo manejando el nopal en plantaciones.

1.7. Importancia del nopal en el mundo

El nopal debe considerarse como una dádiva de México para el mundo (García, 1965), si bien el género *Opuntia* presenta dos centros de diversificación, uno al sur y otro al norte del continente, es en este último donde algunas especies y variedades de este género ya estaban domesticadas por los indígenas de los reinos de Mesoamérica a la llegada de los españoles. A partir de la conquista, las mejores variedades fueron llevadas por los conquistadores a Sudamérica y al resto del mundo, habiéndose adaptado muy bien a las condiciones áridas y semiáridas de casi todo el mundo.

Actualmente, el nopal tiene múltiples usos (Cuadro 1.4) entre los que se encuentran los siguientes:

Como frutal. Para producción de tuna, fruto del nopal, esta cactácea se cultiva en diversos países: México (72,500 ha), Italia (2,500 ha), Sudáfrica (4,500 ha), Chile (1,000 ha), Argentina (1,000 ha), Colombia (300 ha), Israel (300 ha), Estados Unidos de América (200 ha), entre otros países.

IMPORTANCIA DEL NOPAL

Cuadro 1.4. Superficies de nopal por país y tipo de uso (ha)

<i>País</i>	<i>Verdura (nopalito)</i>	<i>Fruta (tuna)</i>	<i>Colorante (cochinilla)</i>	<i>Forraje (pencas)</i>	<i>Nopaleras cultivadas</i>	<i>Nopaleras silvestres</i>
México	10,500	72,500	10	150,000	233,010	3,000,000
EE.UU.	200	200	---	10,000	10,400	500,000
Colombia	---	300	---	---	300	---
Brasil	---	---	---	500,000	500,000	---
Perú	---	---	70,000	---	70,000	---
Bolivia	---	---	1,000	---	1,000	---
Chile	---	1,000	500	2,000	3,500	---
Argentina	---	1,000	50	10,000	11,050	---
Italia	---	2,500	---	---	2,500	---
Israel	---	300	---	---	300	---
España	---	---	300	---	300	---
Islas Canarias	---	---	---	---	---	---
Norte de África	---	20,000	---	250,000	270,000	---
Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto	---	---	---	---	---	---
Sudáfrica	---	4,500	100	350,000	354,600	---
Otros países:	---	---	---	100,000	100,000	---
Namibia, Mozambique	---	---	---	---	---	---
SUMAS	10,700	102,300	71,960	1,372,000	1,556,960	3,500,000

Fuente: Flores (1999).

Como hortaliza (nopalito). Con este propósito el nopal se cultiva en México (10,500 ha) y en Estados Unidos (200 hectáreas).

Como planta forrajera. El nopal se cultiva en muchos países para uso forrajero: Brasil (500,000 ha), Sudáfrica (350,000 ha), México (150,000 ha, además 3'000,000 ha de nopaleras silvestres, las cuales se usan para la obtención de forraje), Túnez (75,000 ha), Marruecos (10,500 ha), Argentina (10,000 ha), Estados Unidos de América (10,000 ha), además de 500,000 ha de nopaleras silvestres). De otros países, como Argelia, Libia, Egipto, Jordania, Etiopía, Namibia, Mozambique, etc., no se dispone de información sobre superficies cultivadas de nopal con fines forrajeros.

Como sustrato para la producción de grana de cochinilla. La cochinilla (*Dactylopus coccus* Costa) es un insecto que produce el carmín, un colorante rojo que ha vuelto a tomar importancia, a raíz que se prohibieron, por considerarlos cancerígenos, los colorantes artificiales FD&A N° 2 y N° 4, en 1976. Se cultiva nopal para producir grana en Perú (70,000 ha), Bolivia (1,000 ha), Chile (500 ha), España (300 ha en Islas Canarias), Sudáfrica (100 ha), Argentina (50 ha) y México (10 ha).

Como planta medicinal: Se ha probado que los nopalitos y la cáscara de una tuna ácida (xoconostle) abaten los niveles de azúcar y colesterol en la sangre, por lo que su consumo en fresco, cocinado y procesado industrialmente se ha acrecentado en México.

Como materia prima en la producción de cosméticos. En México y otros países se fabrican, de nopal o de la tuna, cosméticos, como: champúes, acondicionadores, jabones, cremas, lociones, mascarillas, geles, etcétera.

Como materia prima para elaborar bebidas alcohólicas. En México, Estados Unidos, Italia, Perú, Chile, Dinamarca, etc., se utiliza el nopal, y sobre todo la tuna para fabricar “vinos” y licores (aguardientes).

Como cerco. La utilización de las variedades espinosas de nopal para formar cercos en los huertos familiares y en los predios ganaderos es común y muy antigua en México.

IMPORTANCIA DEL NOPAL

Para la conservación del suelo. El nopal se utiliza en muchos países para proteger al suelo de la erosión hídrica y eólica, y evitar la desertificación en zonas áridas y semiáridas, formando “setos” en curvas de nivel, que soportan las condiciones del medio árido, que se caracteriza por presentar una precipitación pobre e irregular y alta oscilación térmica diaria y anual.

Por todo lo anterior, se considera al nopal como uno de los recursos genéticos de gran valor que México ha dado al mundo.

1.8. Literatura citada

- Barbera G., 1995. History, Economic and Agroecological Importance”. En: G. Barbera; P. Inglese, y E. Pimienta-Barrios (eds.) Agroecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. FAO. Plant Production and Protection Paper 132, pp. 1-11.
- Bravo H., H. 1878. Las cactáceas de México. Vol 1, UNAM, México, D.F., 743 p.
- Flores M.G.; J. Jiménez L.; X. Madrigal S.; F. Moncayo K., y F. Takaki T. 1971. Tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 59 p. y mapa.
- Flores V., C.A. 1992. Historia del uso del nopal en México y el mundo. En: De la Fuente J.; R. Ortega, y M. Sámano (Coords.). Agricultura y Agronomía en México. 500 años, UACH, Chapingo, estado de México, pp. 155-160.
- Flores V., C.A. 1999. Aprovechamiento del Nopal Forrajero a Nivel Mundial. En: Memoria del “Curso-Taller sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Asociación de Productores de Nopal de Nuevo León, A.C. y Programa Universitario de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna”. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp. 81-89.

- Flores V., C.A., y C. Gallegos V. 1993. Situación y perspectivas de la producción de tuna en la región centro-norte de México. CIESTAAM-UACH, Chapingo, estado de México, 44 p.
- Flores V., C.A.; J.M. De Luna E., y P.P. Ramírez M. 1995. Mercado Mundial del Nopalito. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, 115 p.
- García, R.H. 1965. Dádivas de México al mundo. Ediciones especiales de Excélsior, México, D.F., 255 p.
- López G., J.J. 1977. Descripción y transformación del ecosistema *Opuntia streptacantha* Lemaire. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Mac Neish, S.R.; F.A. Paterson, y K. V. Flannery. 1970. The prehistory of the Tehuacan Valley. University of Texas Press, Vol. I.
- Nobel, S.P. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas, México, D.F., 211 p.
- Nostas, C. (Ed). 1998. Simposio Internacional "El Nopal (*Opuntia* sp.). Aprovechamiento y Aplicación en la Lucha contra la desertificación", Memoria. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Reyes N., M. 1993. Aprovechamiento y comercialización del nopal tapón (*Opuntia robusta* Wendland) en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, 87 p.
- Velasco, M.H. 1991. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. ITESM, Noriega Ed. y Limusa, México, D.F., 725 p.

2. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE NOPALITOS

Claudio A. Flores Valdez

2.1. Introducción

México es el principal centro de diversidad de los nopales del género *Opuntia* (Bravo, 1978). En este país los usos de las especies y variedades de *Opuntia* son diversos: para la obtención de fruta, hortaliza y forraje; para cercos de casas, jardines y parcelas agrícolas; para protección del suelo; como planta medicinal; como fuente de materia prima para la industria de cosméticos. A nivel experimental, se han obtenido diversos productos, como fructosa, pectina, colorante, etc. También se utiliza para la cría de la cochinilla, insecto que se alimenta de los tallos y es usado como colorante rojizo. El nopalito es una hortaliza que proporciona fibra, energía, minerales (en especial calcio), vitaminas (sobre todo ácido ascórbico) y aminoácidos (Cuadros 2.1 y 2.2). Este trabajo presenta el panorama de la producción, y el mercado del nopal para verdura “nopalito” en México.

2.2. Producción de nopalitos en México: pasado y presente

El uso del nopal en México incluye el desarrollo de tres sistemas de producción: nopaleras silvestres, huertos familiares y plantaciones comerciales (Sodi, 1964; Flores-Valdez, 1992b).

Cuadro 2.1. Valor nutritivo del nopalito (en 100 g de peso neto)

<i>Concepto</i>	<i>Contenido</i>
Porción comestible (%)	78.00
Energía (kcal)	27.00
Proteína (g)	1.70
Grasas (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Rivoflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.30
Ácido ascórbico (mg)	8.00
Retinol (mcg Eq)	41.00

Fuente: Hernández, Chávez y Burgues (1987).

Cuadro 2.2. Contenido de aminoácidos en el nopalito (gramos de aminoácidos en 100g de proteína)

<i>Aminoácidos</i>	<i>Contenido</i>
Lisina	4.00
Isoleucina	4.00
Treonina	4.80
Valina	3.80
Leucina	5.20
Triptofano	0.80
Metionina	0.70
Fenilalanina	5.40

Fuente: Hernández, M. *et al.* (1987).

2.2.1. *Nopaleras silvestres*

La antigüedad del uso de comunidades silvestres de nopal se remonta a 25,000 años, cuando llegó el hombre al territorio que hoy se conoce como México. Estos primeros habitantes eran cazadores y recolectores, y seguramente utilizaban como alimento los frutos del nopal (tunas), así como sus pencas tiernas (nopalitos).

Se estima que 3 millones de los 13 millones de hectáreas de matorral crasicaule en México están ocupadas densamente con comunidades de nopal. Los cladodios jóvenes (nopalitos) de un gran número de especies 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 es, sin embargo, limitado al consumo doméstico, es decir poco se comercializan estos nopalitos. Una excepción se presenta en San Luis Potosí, donde los nopalitos de nopal tapón (*O. robusta* Wendl) se recolectan en poblaciones silvestres dentro de un radio de 120 km, de la ciudad de San Luis Potosí durante la temporada de marzo a junio.

Los nopalitos se recolectan, se limpian (se eliminan las espinas y las gloquídeas), se pesan y empacan en “arpilleras” (sacos de hilo de plástico o ixtle), para ser transportados a mercados donde son vendidos en fresco, o bien (en la mayoría de los casos) a cinco empresas industrializadoras de San Luis Potosí, para ser procesados, empacados (en frasco o lata) y exportados o comercializados en el

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

mercado nacional. El volumen procesado varía de 2 mil a 3 mil toneladas por año (Reyes, 1993).

También los nopalitos del nopal duraznillo (*O. leucotricha*) son cosechados, limpiados y comercializados en los mercados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, etc., donde son muy apreciados.

2.2.2. Huertos familiares

En México, la agricultura comenzó hace 4,500 años con la domesticación del maíz, frijol, calabaza, chile, amaranto, etc. Al mismo tiempo, el hombre empezó a seleccionar plantas silvestres sobresalientes, dentro de las cuales estaba el nopal, para plantarlas cerca de su casa. Fue así como se iniciaron los huertos familiares en México.

Los huertos del centro y norte de México aún producen nopalitos, tanto para autoconsumo como para los mercados de los pueblos y ciudades pequeñas.

En los huertos familiares de las áreas rurales, se cultivan los nopales como cercos o dentro del huerto, para producción de nopalito, tuna y/o forraje.

Los nopalitos se consumen en el periodo de brotación (primavera).

La importancia de este sistema está en la gran diversidad genética que ofrece, ya que estas plantas de nopal se han cruzado y se han seleccionado por un largo periodo.

Las variedades comerciales surgieron de huertos familiares. No se ha estimado el área cubierta de nopal en huertos familiares.

2.2.3. Plantaciones comerciales

A mediados del siglo XX, debido al crecimiento de la población y de su capacidad de compra, la demanda de los nopalitos aumentó considerablemente al grado que la producción de los huertos familiares fue insuficiente para cubrirla. Alrededor de 1950, los productores de Milpa Alta, Distrito Federal, seleccionaron las mejores variedades de sus huertos para plantarlas en sus parcelas agrícolas; así comenzó el sistema de plantaciones comerciales. Actualmente se distinguen dos variantes:

- a) Sistema tradicional. En este sistema se cultiva el nopal en hileras separadas de 1 a 1.50 m; las pencas se siembran a distancias de entre 0.25 a 0.50 m, las plantas se dejan crecer entre 1 y 1.50 m de altura (se forman macizos de nopal a lo largo de la hilera); las densidades por hectárea varían de 15,000 a 40,000 plantas siendo las más comunes de 27,000.
- b) Sistema de microtúnel. Este sistema intensivo se desarrolló en Chapingo, en el estado de México, en los años sesenta y ha tenido un fuerte desarrollo para producir nopalitos en los meses de invierno. Se cultiva en camas de 1.20 a 2.0 m de anchas dejando espacios entre camas de 1 a 1.5 m (calles); el largo de las camas varía de 40 a 47 m. Las pencas se plantan con una separación de 5 cm entre ellas y de 20 a 30 cm entre hileras. Las densidades de siembra varían de 120,000 a 160,000 plantas por hectárea. En este sistema los nopalitos se obtienen de los brotes que emite la penca que se planta, aunque a veces se dejan crecer una o dos pencas sobre ella y sobre estas se producen los brotes. Se coloca plástico sobre la cama durante los meses de invierno, para disminuir el riesgo de daños por helada y se induce la producción mediante abonado, fertilización y riego. Este sistema permite tener alta producción por unidad de superficie y cosechar en periodos de precios altos.

A nivel nacional las plantaciones abarcan 10,500 ha y surten de nopalitos a casi todos los grandes mercados nacionales y extranjeros.

2.3. Manejo técnico

Con base en varios artículos (García, 1972; Grajeda, 1978; Flores Valdez, 1992a; Flores y Olvera, 1994), se describen a continuación los diferentes aspectos del cultivo del nopal para nopalitos, desde la preparación del terreno hasta el empacado y mercadeo.

2.3.1. Preparación del terreno

Después de limpiar el terreno de arbustos, maleza y residuos de cultivos anteriores, en la mayoría de los casos se procede a barbecharlo y luego a mullir el suelo con uno o dos pasos de rastra. Generalmente estas labores se hacen con tractor, aunque en algunos casos se usan implementos con tracción animal. En los casos en que el terreno es irregular, la preparación se hace con azadón. En regiones donde se utiliza el riego, la tierra es nivelada. En todos los casos, el objetivo de la preparación del suelo es aflojarlo, de tal forma que permita un buen desarrollo radicular durante las primeras etapas del cultivo.

2.3.2. Trazado de la plantación

El trazado de las hileras para el cultivo tradicional y las camas en el cultivo intensivo se realiza con una cinta métrica, cordel y estacas; de ser posible la plantación tendrá una orientación de norte-sur (los cladodios con sus caras hacia el este-oeste).

2.3.3. Variedades

La variedad de nopalitos que se producen en nopaleras silvestres y en huertos familiares es notable. A continuación se mencionan algunas de las características de las variedades utilizadas en plantaciones comerciales y los estados en donde son cultivadas.

La variedad Milpa Alta (clasificada como *O. Eicus-indica* L.) es la variedad más importante del país –en términos de área cultivada y volumen de producción– que llega al mercado. Se cultiva en Milpa Alta, Distrito Federal, y en el municipio de Tlalnepantla, Morelos.

La variedad Atlixco, que se cultiva en Puebla y el estado de México, es de pencas y nopalitos grandes.

La “Copena V1”, desarrollada por el Dr. Facundo Barrientos en los años sesenta, se caracteriza por su carencia de espinas, por su succulencia, color verde intenso, buen sabor y baja acidez; se cultiva en los estados de Hidalgo, México, Guanajuato y Baja California.

La “Copena F1”, seleccionada para la producción de forraje, produce una gran cantidad de cladodios de color verde claro, sin espinas y poco mucílago, se cultiva para nopalito en los estados de México, Tlaxcala, Puebla y Baja California.

Las variedades “Negra” y “Blanca” se cultivan en las cercanías de Uruapan, Michoacán; la producción de nopalitos se comercializa en el mercado local y en el de Guadalajara, Jalisco; también pueden ser enviadas a lugares más lejanos, como Tijuana, Baja California.

La “Tamazunchale” se cultiva en regiones tropicales y montañosas en Tamazunchale, San Luis Potosí y sur de Tamaulipas, pertenece al género *Nopalea* y tiene cladodios alargados con una cutícula gruesa y escasas espinas.

Existen otras variedades de importancia regional, como la “Moradilla” en el Valle de Texcoco y la “Polotitlán” en la parte norte del estado de México. Estas variedades aún no se han evaluado.

2.3.4. *Plantación*

En casi todas las regiones productoras de nopalitos se plantan las pencas en los hoyos (una por hoyo) que se hacen para el propósito y se cubren con tierra hasta un tercio o la mitad de los cladodios (10-15 cm). Las caras planas de los cladodios deben tener una orientación este-oeste, para un buen crecimiento radicular y prevenir el quemado por sol.

2.3.5. *Fertilización y abonado*

En la producción de nopalitos se utilizan grandes cantidades de materia orgánica. En plantaciones tradicionales las calles se cubren con una capa de 10 a 15 cm de estiércol (generalmente de bovino) cada dos o tres años; muchos productores también aplican fertilizantes químicos (normalmente urea o sulfato de amonio) de una a tres veces al año. En sistemas intensivos se aplican normalmente de 100 a 200 t/ha de abono orgánico, de fertilizante químico se aplican de 100 a 200 kg/ha de nitrógeno y de 80 a 100 kg/ha de fósforo.

2.3.6. *Riego*

En las regiones con la mayor cantidad de cultivo de nopalito, Milpa Alta, D.F. y Tlalnepantla, Morelos, generalmente no se utiliza el riego, pero en el resto de las áreas casi siempre se aplica riego. En Chapingo, bajo sistema intensivo, y con aplicación de 100 mm de agua por mes durante el periodo de sequía, se ha logrado incrementar un 25% el rendimiento.

2.3.7. *Combate de plagas y enfermedades*

Las plantaciones de nopal para producción de nopalitos pueden ser atacadas por un gran número de plagas y enfermedades (Cuadros 2.3 y 2.4). Sin embargo, en la mayoría de los casos los ataques no son serios. La excepción ocurre en Tlalnepantla, Morelos, donde es notable la presencia de plagas y enfermedades, debido a que la humedad relativa es alta y no hay heladas. Para enfrentar este problema los productores hacen aplicaciones masivas de pesticidas, muchos de los cuales tienen restricciones de uso en México y están prohibidos en los Estados Unidos, lo que dificulta la exportación de nopalitos frescos o procesados. Otro problema es el engrosamiento de los cladodios, causado por un virus o un micoplasma, para lo cual no se ha encontrado control (Pimienta, 1974).

2.3.8. *Prácticas culturales y control de la maleza*

Considerando las densidades a las que se cultiva el nopal en sistemas tradicionales e intensivos, no es posible trabajar con tractor o con implementos de tiro animal. La limpieza de malezas se hace manualmente con azadón en el sistema tradicional y con una pequeña azada en el sistema intensivo. Algunos productores utilizan herbicidas y otros, grandes volúmenes de abono animal, que dificulta la brotación de la maleza. Cuando el problema de malezas es por gramíneas se recomienda aplicar graminicidas, como el Poaxt o el Fusilade.

Cuadro 2.3. Nombre común y científico de las principales plagas del nopal

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Picudo barrenador	<i>Cactophagus spinolae</i> . Gyll.
Picudo de las espinas	<i>Cylindrocopturus biradiatus</i> . Champ.
Gusano blanco del nopal	<i>Lanifera cyclades</i> . Druce.
Gusano cebra	<i>Olycella nephelepsa</i> . Dyar.
Chinche gris	<i>Chelinidae tabulata</i> . Burm.
Chinche roja	<i>Hesperolabops gelastops</i> . Kirk.
Mosca del nopal	<i>Dasiops bennetti</i> . Mc. Alpine.
Barrenador del nopal	<i>Lanifera cyclades</i> . Druce.
Cochinilla	<i>Dactylopius indicus</i> . Green.
Trips del nopal	<i>Sericotrips opuntiae</i> . Hood.
Gusano de alambre	<i>Melanotus</i> sp.
Mayate verde del fruto	<i>Cotinis nitida</i> . Lin.
Gallina ciega	<i>Phyllophaga</i> spp.
Chinche del fruto	<i>Narnia femorata</i> . Stal.
Escama del nopal	<i>Diaspis echinocacti</i> . Bouché.
Perforador del fruto	<i>Asphondylla opuntiae</i> . Felt.
Caracol	<i>Helix aspersa</i> . Müller.
Minador del nopal	<i>O. lepidoptera</i> , F. <i>Gelechiidae</i> .
Escama de cactus	<i>Opuntiaspis philococcus</i> . Cock.
Rata nopalera	<i>Neotoma</i> spp.
Barrenador del tronco	<i>Moneilema variolare</i> .
Tuza	<i>Pappogeomys</i> sp.

Fuente: Hernández (1993); Villanueva (1995), y Gijón (1998).

Cuadro 2.4. Principales enfermedades del nopal: nombre común de la enfermedad y nombre científico del agente causal

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Pudrición blanda de los cladodios	<i>Pythium</i> sp.
Pudrición negra	<i>Macrophomina</i> sp.
Mancha de oro	<i>Alternaria</i> sp. <i>Ascochita</i> sp.
Lesiones causadas por:	<i>Phyllosticia concava</i>
Una enfermedad causada por:	<i>Fusarium solani</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>
Gomosis	<i>Dothiorella ribis</i>
Pudrición bacteriana:	<i>Erwinia</i> sp.
Antracnosis de la penca y del fruto	<i>Colletotrichum gloesporoides</i>
Negrilla o fumagina	<i>Capnodium</i> sp.
Pudrición de la epidermis	<i>Phoma</i> sp.
Mancha o secamiento de la penca	<i>Alternaria</i> sp.
Mancha bacteriana	<i>Bacteriem</i> sp.
Agalla del nopal	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Engrosamiento de cladodios	Virus o micoplasmas

Fuente: Hernández (1993); Villanueva (1995), y Gijón (1998).

2.3.9. Prevención de daños por heladas

En plantaciones tradicionales casi ningún productor utiliza calentones para prevenir daños por heladas. En las camas de los sistemas in-

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

tensivos se utilizan túneles de plástico, contruidos con arcos de hierro 1.7 m de altura, situados a intervalos de 2 m; sobre ellos se coloca el plástico para formar el túnel.

2.3.10. Podas

En los sistemas tradicionales la poda de formación se hace cada año. Además, con esta practica se mantienen limpios los caminos y las plantas a poca altura. En el periodo de mayor producción, los productores cortan los cladodios terminales a la mitad, para detener la producción de nopalitos y permitir que la planta acumule reservas para el otoño e invierno (cuando suben los precios). Muchos productores dejan producir sólo la mitad, un tercio o un cuarto del área de sus plantaciones en los periodos de precios bajos, manteniendo el resto en descanso.

2.3.11. Cosecha

Los cladodios deben de cosecharse entre los 30 y 60 días después de su brotación, cuando pesen entre 80 y 120 g y sean de 15 a 20 cm de largo.

Algunos productores cosechan el nopalito jalando y dando vuelta a las pencas, sin embargo, esto produce daños y pudriciones. La mayoría de los productores usan una navaja para la cosecha (Cantwell, 1992; Corrales, 1992). Considerando que cortando en la base de los nopalitos se causa pudrición y la duración postcosecha del producto es corta, se recomienda cortar en la unión entre el cladodio “soporte” y el nopalito, con lo cual se retrasa su deterioro.

Para exportación se recomienda que el corte se efectúe tomando una parte del cladodio soporte junto con el nopalito, este botón se seca y cae después de algunos días. Esta práctica conserva a los nopalitos por un mayor tiempo, aunque su efecto sobre posteriores cosechas no se ha evaluado.

2.4. Producción de nopalitos

La productividad de los buenos productores de Milpa Alta es de 80 a 90 t/ha al año, con fuertes variaciones entre cortes a través del año (mayor producción en primavera y verano, y menor en otoño e invierno). Esto afecta los precios pagados al productor por el nopalito, a través del año. Al productor de Tlalnepantla le cuesta \$225.00 poner una paca de nopalitos en la Central de Abasto de la ciudad de México (\$100.00 por la cosecha y empaque, \$120.00 por el transporte, y \$5.00 por sacos y cuerdas). Debido a estos costos, de marzo a septiembre sólo aquellos productores que cosechan y empacan utilizando la mano de obra familiar y que transportan en vehículos propios son los que continúan vendiendo en este mercado.

2.4.1. Superficies, rendimientos y producción de nopalito

Las superficies, rendimientos medios y producción de nopalitos por estados aparecen en el Cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Superficie, rendimiento medio y producción de nopalitos por entidad federativa, 2001

<i>Entidad</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Rendimiento (t/ha)</i>	<i>Producción (t)</i>
Distrito Federal	5,440	600	326,400
Morelos	1,000	700	70,000
Jalisco	1,000	600	60,000
Puebla	600	400	24,000
Baja California	450	600	27,000
San Luis Potosí	350	300	10,500
Michoacán	320	350	10,500
Tamaulipas	300	300	9,000
Guanajuato	280	350	9,800
México	200	300	6,000
Nuevo León	120	600	7,200
Oaxaca	100	600	6,000
Aguascalientes	80	300	2,400
Zacatecas	75	300	2,250
Hidalgo	60	400	2,400
Tlaxcala	45	250	1,125
Querétaro	35	200	700
Sonora	20	800	1,600
Durango	15	200	300
Otros	10	100	100
SUMAS	10,500	550	577,075

Fuente: Elaborado por el autor con base en información directa de delegaciones estatales de SAGARPA y productores.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

2.4.2. *Importancia de los nopalitos*

El nopalito, en los cultivos hortícolas de México, ocupa el 14° lugar por superficie y el 7° por producción, después de tomate rojo, papa, chile verde, cebolla, sandía y tomate verde (Cuadro 2.6.)

Cuadro 2.6. Superficie cosechada, rendimiento y producción de las principales hortalizas, en México, 1998

Hortaliza	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Consumo per capita Anual (kg)
1. Chile verde	81,678	1'299,476	12.95
2. Tomate rojo	69,204	1'943,052	19.36
3. Papa	60,433	1'407,345	14.02
4. Tomate verde	46,898	587,712	5.86
5. Cebolla	42,900	1'028,696	10.25
6. Sandía	41,720	930,215	9.27
7. Calabacita	29,302	368,831	3.67
8. Melón	23,655	531,332	5.29
9. Elote	36,818	461,698	4.60
10. Pepino	18,434	460,581	4.59
11. Brócoli	17,719	224,004	2.23
12. Chile jalapeño	14,786	158,883	1.58
13. Zanahoria	14,696	355,903	3.55
14. Nopalito	10,500	577,075	5.75
15. Haba verde	9,669	52,564	0.52

* Población estimada 2001: 100'368,000

Fuente: SIACON (2001).

2.5. Empaques

En México, los nopalitos se manejan en diferentes formas para enviarlos al mercado:

2.5.1. *En pacas*

Esta forma de empaque es utilizada por los productores de Milpa Alta y Tlalnepantla, quienes venden su producto en la Central de Abasto de la ciudad de México. Las pacas se forman al ir acomodando los nopalitos en capas circulares superpuestas formando un cilindro de 0.9 m de diámetro y de 1.70 a 1.90 m de alto, con una cantidad aproximada de 3,000 nopalitos y un peso de 250 a 300 kg. Para formar la paca se utiliza un anillo de lámina de 0.9 m de diámetro y de 0.40 a 0.50 m de alto, de la siguiente manera: Se coloca

el anillo sobre un lienzo cuadrado de plástico extendido sobre el piso (generalmente estos lienzos los obtienen los productores al abrir los costales de sus extremos y un lateral). En la parte media del lienzo se coloca primero el anillo de lámina, dentro del cual se acomoda hierba sobre la cual se ponen las capas de nopalitos, de tal forma que sus orillas toquen la cara interior del anillo y los nopalitos se ponen de tal forma que uno cubra las mitades de los dos de abajo (sobrepuestos). En la medida en que se va llenando el anillo, se va levantando, girándolo un poco y así se continúa hasta que la paca alcanza de 1.70 a 1.90 m de alto; sobre la última capa se pone más hierba fresca y se retira el anillo. Se coloca otro lienzo de costal sobre el cilindro y mediante cuerdas delgadas se unen los dos lienzos por sus esquinas, de tal forma que la paca queda amarrada fuertemente de arriba a abajo con cuatro cuerdas.

2.5.2. En colotes

En este caso los nopalitos se cortan y se llevan a la orilla de las parcelas en “colotes” (canastas de carrizo), que también son utilizados frecuentemente por los productores de Milpa Alta para llevar sus nopalitos al poblado y venderlos en las calles de alrededor del mercado delegacional.

2.5.3. A granel

Algunos productores llevan sus nopalitos desde sus parcelas al mercado de Milpa Alta amontonados en la caja de una camioneta o algunas veces colocados cuidadosamente, uno encima de otro.

2.5.4. En cajas

Gran parte de la producción de nopalitos, principalmente de Milpa Alta, se envía a mercados lejanos del país en ciudades como Monterrey, N.L., Guadalajara, Jal. y Torreón, Coah., etc. Para empacar los nopalitos se procede de la manera siguiente: dentro de una caja de madera (reja) se acomodan los nopalitos en capas sucesivas. Cuando la caja está llena, se coloca otra, sin fondo y sin tapa encima de la primera. Después de que se llena esta segunda se retira y la co-

lumna de nopalitos que queda formada se cubre con papel (de bolsas de alimento para animal); finalmente se ata todo este empaque con una cuerda delgada.

2.5.5. En arpillas

Los recolectores de San Luis Potosí y Zacatecas que surten a las plantas procesadoras de San Luis Potosí, recolectan los nopalitos de las nopaleras silvestres, los desespinan y colocan en “arpillas” (sacos de tejido ralo) hechas de fibra de plástico o “ixtle”. Debido a que este sistema deja el producto contaminado con fibras, las plantas procesadoras están considerando la posibilidad de proveer a los intermediarios de cajas de plástico para el transporte de los nopalitos.

2.6. Desespinado

El desespinado, que incluye el limpiado y el desaguatado de los nopalitos, es el proceso mediante el cual se eliminan las espinas y gloquideas (aguates), y se corta el borde de los nopalitos.

2.6.1. Desespinado manual

La mayoría de las amas de casa de México compran los nopalitos sin espinas y sin gloquideas; por lo tanto, los comerciantes al menudeo en los mercados los limpian manualmente con cuchillo, inmediatamente antes de venderlos en montones (un montón de 12 pencas se vende por un precio de entre \$6.00 y \$10.00, según la temporada). Los nopalitos así vendidos son despachados en bolsas de polietileno. En algunos estados del norte de la República, como Coahuila, los nopalitos son recolectados durante la época de brotación, y vendidos ya limpios y cortados en forma de rombo (1 x 2 cm). En otros lugares como Sonora, los nopalitos se venden limpios, cortados y hervidos.

En algunos supermercados, además de preparados en salmuera o vinagre los nopalitos se venden desespinaados enteros y también desespinaados, cortados y presentados en bolsas de plástico selladas. Todas estas presentaciones se encuentran en aparadores refrigera-

dos. Recientemente los nopalitos también se ofrecen precocidos y congelados en bolsas de polietileno.

2.6.2. Desespinado mecánico

En México existen más de 20 prototipos de máquinas desespadoras de nopalito, ninguna es lo suficientemente eficiente para usarse comercialmente.

2.7. La demanda de nopalitos en México

La demanda de nopalitos en México es alta, se considera que el consumo per cápita anual es superior a los 6 kg; es la sexta hortaliza por consumo en México, después de tomate rojo, papa, chile verde, cebolla, sandía y tomate verde (Cuadro 2.6).

A nivel nacional la demanda se considera homogénea durante el año, sólo con aumentos en la Cuaresma (los viernes) y en Navidad. En cambio, la demanda no es homogénea entre estados, siendo el consumo mucho mayor en los estados del centro, inferior en los del norte y casi nulo en las costas y regiones tropicales.

2.8. La oferta de nopalitos en México

La oferta de nopalitos se concentra en el centro del país, debido a que los estados con mayor superficie son del centro (Distrito Federal, Morelos, Puebla, Guanajuato, Jalisco, etc), como resultado de una mayor demanda en la región.

Debido a que en los estados del centro del país, la producción de nopalitos se realiza en lugares fríos, por la altitud (1,700-2,500 msnm) y a que la producción es de temporal (con lluvias en verano), durante el invierno se suman y magnifican las condiciones de menor humedad y menores temperaturas, afectando la distribución anual de la producción, de manera que se presenta un periodo de alta producción en marzo, septiembre y octubre (3 meses) y un periodo de producción baja, de noviembre a febrero (4 meses), situación que repercute en los precios del nopalito.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

2.9. Precios del nopalito en México

Los precios del nopalito responden a la ley de la oferta y la demanda. En el Cuadro 2.7 se presentan los precios mensuales promedio del nopalito (al medio mayoreo), con espinas, para seis de las principales ciudades de México, notándose las fuertes variaciones estacionales en todos los mercados.

Los precios al productor también son muy variables. Las pacas que contienen de 3,000 a 3,500 nopalitos y pesan de 300 a 350 kg (como comercializan el nopalito los productores de Milpa Alta, Distrito Federal y Tlalnepantla, Morelos, probablemente representen el 70 por ciento del total de la producción de nopalito en México), se vende a un precio de entre \$80.00 y \$100.00 en los meses de mayor producción, pero en invierno se paga de \$800.00 a \$1,200.00 por paca.

Cuadro 2.7. Precios por kilogramo de nopalito con espinas en diferentes centrales de abasto, 2002 (pesos)

Mes	CEDA Iztapalapa, D.F.	Mercado Abasto Guadalajara	CEDA Guadalupe, Nuevo León	CEDA Puebla, Puebla	CEDA Torreón, Coahuila	CEDA León, Gto.	CEDA Tijuana, B.C.
Enero	6.16	4.25	7.86	5.46	3.95	8.64	10.21
Febrero	2.48	1.91	4.79	3.58	4.75	8.29	5.19
Marzo	2.34	1.56	3.59	2.13	5.01	6.81	4.39
Abril	2.03	1.39	3.76	1.81	2.66	5.34	1.85
Mayo	1.93	1.45	3.84	1.46	2.36	5.42	1.71
Junio	2.97	2.05	4.46	1.42	2.41	5.00	1.59
Julio	3.26	1.54	4.86	1.41	2.19	5.02	2.69
Agosto	2.55	2.22	4.02	1.66	2.49	4.86	3.89
Septiembre	2.48	1.66	3.80	1.69	2.61	5.10	5.26
Octubre	3.83	1.87	4.66	4.64	2.72	6.00	6.83
Noviembre	5.85	2.95	4.51	6.53	3.62	8.10	8.19
Diciembre	7.38	3.55	5.69	11.19	4.83	12.00	8.46
Promedio	3.60	2.20	4.65	3.58	3.30	6.71	5.02

Fuente: SNIIM (2002).

2.10. El mercado internacional de nopalitos

La oferta de nopalitos se restringe a dos países México y Estados Unidos (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Principales países productores de nopalito, superficie, rendimiento, producción, exportación e importación

<i>Países productores</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Rendimiento medio (t/ha)</i>	<i>Producción (t)</i>	<i>Exportación (t)</i>	<i>Importación (t)</i>	<i>Consumo aparente (kg/hab)**</i>
México	10,500	54.98	577,275	2,000 (10,000)*	---	5.66
EE.UU.	200	50.00	10,000	---	2,000 (2,000)*	1.40

* Nopalito en salmuera y escabeche.

** Para México se consideran, en números redondos, 100 millones de habitantes y para EE.UU., sólo los 10 millones de consumidores de origen mexicano.

Fuente: Flores *et al.* (1995).

Al calcular el consumo aparente, vemos que México, con 100 millones de habitantes consume 5.66 kg per cápita al año y en Estados Unidos de América los 10 millones de origen mexicano, consumen sólo 1.4 kg/hab., lo que nos da una idea del gran potencial existente en la exportación de nopalito a ese mercado.

Debido al “boom” de la comida mexicana, los nopalitos procesados están siendo cada vez más exportados a Europa, Canadá, Países de la Cuenca del Pacífico, etc. (Cuadro 2.9).

Cuadro 2.9. Exportación de nopalitos procesados

<i>Año</i>	<i>Exportación total</i>	<i>Exportación a EE: UU.</i>	<i>Porcentaje</i>
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

Fuente: BANCOMEXT. Con datos de SECOFI (Fracción 20.05.90).

El comercio del nopalito fue favorecido ampliamente con la firma del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN o NAFTA), como se puede apreciar en el Cuadro 2.10.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

Cuadro 2.10. Aranceles para el nopal verdura en el Tratado de Libre Comercio

Fracción arancelaria	Concepto	Exportaciones		Importaciones	
		A EE.UU.	A Canadá	De EE.UU.	De Canadá
07.09	Otros vegetales frescos o refrigerados (en este rubro se incluyen los nopalitas)	07.09.90.40 Otros (Cactus leaves) 25% A	07.09.90.91 Cactus leaves (nopales) Free 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 a vapor) congeladas	07.10.90.90 Otros 17.5% B	07.10.80.91 (Cactus leaves) Free 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 conservadas en vinagre o ácido acético	20.01.90.60 Otros 17.5% C	20.01.90.90 Otros 6.2% B	20.01.90.99 Los demás 20.0% A	20.01.90.99 Los demás 20.0% A
20.04	Las demás legumbres y hortalizas preparadas o conservadas (excepto en vinagre o ácido acético) congeladas	20.04.90.90 Otros 17.5% C	20.04.90.91 (Cactus leaves) Free D	20.04.90.99 Los demás 17.5% C	20.04.90.99 Los demás 20.0% A
20.05	Frutos y demás partes comestibles de plantas, preparados o conservados de otra forma, incluso con adición de azúcar, de otros edulcorantes o de alcohol, no expresados ni comprendidos en otra forma	20.05.90.87 Nopalitas 17.5% A	20.05.90.91 Cactus leaves Free D	20.05.90.90 Los demás 20.0% B	20.05.90.99 Los demás 20.0% B

Fuente: SECOFI, 1994a, 1994b y 1994c.

Código A: Desgravación inmediata. Los bienes comprendidos en la fracción arancelaria correspondiente quedaron con cero arancel a la firma del Tratado de Libre Comercio, el 1° de Enero de 1994.

Código B: Desgravación en cinco etapas anuales iguales, comenzando el 1° de enero de 1994, de tal manera que el producto en cuestión quede libre de arancel el 1° de enero de 1998.

Código C: Desgravación de diez etapas anuales iguales, comenzando el 1° de enero de 1994, de tal manera que el producto en cuestión quede libre de arancel a partir del 1° de enero de 2003.

Código D: Los productos comprendidos en esta fracción estaban libres de arancel a la firma del Tratado de Libre Comercio y así continuaron.

Durante 1992 y 1993 los nopalitas frescos exportados a los Estados Unidos pagaron un arancel de 25% y con la firma del Tratado pasaron a nivel de arancel cero el 1° de enero de 1994. Los nopalitas procesados en vinagre y ácido acético, los conservados y congelados quedaron para el mercados de Estados Unidos con un arancel de 17.5, a desgravarse en 10 etapas anuales, por lo que en el 2001 tuvieron un arancel de 3.50 % y el 2002 de 1.75% y a partir del 1° de enero del 2003 el arancel es cero.

Para el mercado de Canadá todas las presentaciones de nopalito se encuentran a la fecha con cero arancel (Cuadro 2.10).

2.11. Conclusiones

En México hay una tradición en el cultivo y utilización del nopal. Su forma de aprovechamiento ha evolucionado a través de la historia, desde nopaleras silvestres a la domesticación en huertos familiares y finalmente al manejo de plantaciones comerciales.

La producción de nopalitas se concentra en el centro de México, en donde se ofrecen casi todo el año, aunque en los meses de invierno la oferta es menor debido a que disminuye la producción por la ocurrencia de heladas en los altiplanos centrales, que afectan a las plantaciones a cielo abierto, quedando prácticamente sólo en producción las plantaciones en microtúneles e invernaderos.

La demanda de nopalitas es relativamente homogénea durante todo el año, aunque se incrementa en los periodos de Cuaresma y Navidad. Industrialmente, los nopalitas se procesan como alimento (principalmente en salmuera y en escabeche), cosméticos y como producto medicinal.

La exportación en fresco de nopalitas es problemática por su difícil manejo y uso si se les dejan las espinas, y por su rápida oxidación si éstas se eliminan, a menos que sean empacados en bolsas selladas de polietileno y refrigeradas. Para aumentar la exportación de nopalitas es necesario hacer una campaña publicitaria que enfatice su importancia como alimento sano, que abate azúcar y colesterol en la sangre.

2.12. Literatura citada

- BANCOMEXT. Varios años. Anuario de Comercio Exterior. México, D.F.
- Bravo, H. 1878. Las cactáceas de México. 2ª. edición, Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Cantwell de Trejo, M. 1992. Aspectos de calidad y manejo postcosecha de nopalitos. En: Salazar S. I. y López L., S. (comps.), Memoria de Resúmenes del 5º Congreso Nacional y 3º Congreso Internacional sobre conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, 11-15 de agosto, UACH, Chapingo, México, p. 110.
- Corrales-García. J. 1992, Descripción y análisis de cosecha y manejo en fresco de nopalito y tuna. En: Salazar S. I. y López L., S. (comps.), Memoria de Resúmenes del 5º Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, 11-15 de agosto, UACH, Chapingo, México, p. 109.
- Flores-Valdez, C. A. 1992a. Growing, commercializing, and marketing cactus leaves in Mexico. Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Conference, Texas, pp. 56-65.
- Flores-Valdez, C. A. 1992b. Historia del uso del nopal en México y el mundo. En: Fuente de la J.; R. Ortega P., y M. Sámano R. (eds.), II Simposium de la Agricultura y la Agronomía en México, 18-21 de agosto, UACH, Chapingo, México, pp. 155-160.
- Flores-Valdez, C. A., y Olvera M., 1994. El Sistema Producto Nopal-Verdura en México. CUESTAAM-UACH-SARH, Chapingo, México, 149 p.
- Flores-Valdez C.; J. M. de Luna E. y P. Ramírez M. 1995. Mercado mundial del nopalito. ASERCA-CESTAAM-UACH.
- García, A. 1972. Cultive el nopal de verdura. Brochure. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 10 p.
- Gijón H.A. 1998. Plagas y enfermedades del nopal. Informe de servicio social. Programa de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna, CUESTAAM-UACH Chapingo, México, 41 p.

- Grajeda G., J. E. 1978. Producción intensiva de nopal para verdura en invierno. Genetics Branch, C.P., Chapingo, México.
- Hernández G.L. 1993. Plagas y enfermedades del nopal en México. Reporte de Inv. 11, CIESTAAM-UACH, 52 p.
- Hernández, M., Chávez A. y Burges, H. 1987. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición, México, 34 p.
- Pimienta B., E. 1974. Estudio de las causas que producen el engrosamiento de los cladodios en nopal (*Opuntia* spp.) en la zona de Chapingo. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- 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.
- SECOFI, 1994a. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación, Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Ed. Miguel A. Porrúa, México, 978 p.
- SECOFI 1994b. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación, Estados Unidos, Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Ed. Miguel A. Porrúa, México, 1017 p.
- SECOFI, 1994c. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación, Canadá, Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Ed. Miguel A. Porrúa, México, 684 p.
- SIACON, 2002. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, Centro de Estadística Agropecuaria, SAGARPA.
- SNIIM, 2002. Comportamiento para nopal grande de primera calidad. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados, Secretaría de Economía. México.
- Sodi, P. E. 1964. Las cactáceas en la época precolombina y virreynal. Cac. y Suc., Mex. México XII (1).
- Villanueva, R.H. 1995. Principales plagas y enfermedades del nopal en México. Informe de Servicio Social. Depto. de Parasitología Agrícola, CIESTAAM-UACH, Chapingo, México. 32 p.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACION DE NOPALITOS

3. PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Claudio A. Flores Valdez

3.1. Introducción

El nopal configura una de las imágenes que caracteriza con propiedad a la cultura mexicana. En la actualidad, el nopal ocupa en México un área de más de 3 millones de hectáreas, mayoritariamente silvestre, del cual se extrae un conjunto numeroso de productos con un amplia gama de aplicaciones.

La tuna, fruta del nopal, está cobrando mayor importancia a nivel mundial, con el acceso agresivo de países como Italia, Sudáfrica, Chile e Israel, a los mercados europeos y a los Estados Unidos. Se perfila una enconada lucha competitiva de México con estos países por dominar en los mercados externos. Las ventajas comparativas de México, basadas en la riqueza de su material genético, que implica una gran diversidad de variedades, lo extenso de sus recursos agroclimáticos y la tradición del cultivo y uso de esta planta por los campesinos mexicanos, deben ser el punto de partida para lograr ventajas competitivas para que México domine en los mercados internacionales (Flores, *et al.*, 1995). Aquí radica un potencial que es necesario evaluar y desarrollar con una política decidida de apoyos y de organización para convertir a esta actividad en una fuente importante de empleos, ingresos y divisas para el país. La producción de tuna es una actividad que se practica en Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, México, Estados Unidos, Sudáfrica, Namibia, Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto, Jordania, Pakistán, Israel, Grecia, Italia, España y Portugal. En la mayoría de estos países, la tuna se considera un producto secundario de nopales dedicadas a la producción de forraje o a la conservación de suelos, o constituyen plantaciones especializadas en la producción de tuna en pequeñas superficies y sólo concurren a los mercados nacionales e internacionales con limitada participación.

Sin embargo, siete de dichos países producen tuna y concurren en forma más amplia al mercado internacional: México, Italia, Sudáfrica, Chile, Colombia, Israel y Estados Unidos.

En cuanto a superficie, México es el principal productor, con 72,500 ha; a continuación se ubican Italia, con 2,500 ha; Sudáfrica, 1,500 (en sistema intensivo); Chile, 1,000 Colombia, 300; Israel, 300, y Estados Unidos, con 200 ha. La mayoría de los países basan su producción casi totalmente en una sola variedad; en cambio, México cuenta con una gran riqueza varietal que le permite ofrecer al mercado tunas blancas, amarillas, anaranjadas y rojas, lo que es muestra de la gran ventaja de México para liderar los mercados internacionales de este producto.

En este trabajo se analizan las ventajas y desventajas que presenta la producción tunera en México.

3.2. Manejo técnico del cultivo

En este capítulo se describen las actividades que se realizan en la producción de tuna, recalando en las prácticas más convencionales para lograr una producción eficiente, en el entendido de que el principal problema de la producción de tuna en México es la mala atención a las plantaciones, debido a que casi la totalidad de los productores (chicos, medianos y grandes) cultivan superficies mayores de las que pueden atender adecuadamente.

3.2.1. Selección del terreno

En la selección del terreno donde se realizará la plantación se debe considerar la facilidad de acceso a carretera o brecha revestida en buen estado; además, es fundamental tener en cuenta clima y suelo apropiados.

El clima. El nopal se puede encontrar en todos los estados del territorio nacional, en gran diversidad de climas, desde los tropicales a los áridos, pasando por los templados; sin embargo, las variedades de nopal productoras de tuna no desarrollan bien en todos los climas, si no más bien en los templados subhúmedos (Cw) y los semi-

áridos (BS). Del clima son dos los principales componentes a considerar: precipitación y temperatura.

Precipitación. En México, las plantaciones de nopal tunero se encuentran en lugares con precipitaciones promedio anuales de entre 400 y 500 mm, como en San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes y Guanajuato; de 500 a 600 mm, en Jalisco, Guanajuato, Hidalgo y estado de México, y de 600 a 800 mm, en Puebla. En otros países, como Estados Unidos, Italia, Israel y Sudáfrica, los productores de nopal tunero proporcionan una lámina de agua anual de 800 a 1000 mm, es decir, complementan la precipitación con riego.

Temperatura. Algunos tipos de nopal resisten temperaturas de hasta 50°C en verano y de -15°C en invierno; sin embargo, las variedades tuneras desarrollan mejor con temperaturas máximas menores a 35°C, y temperaturas bajo cero (heladas) sólo por periodos cortos, pues son muy susceptibles a temperaturas bajo cero por periodos prolongados (2 o 3 días seguidos), como sucedió en Zacatecas en diciembre de 1997. Temperaturas bajo cero durante varios días son comunes durante el invierno en algunas regiones de Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, y en estas condiciones las plantas de nopal de las variedades tuneras se congelan completamente.

También algunos investigadores han mencionado (Alfonso Muratalla, comunicación personal) que las variedades de nopal tunero requieren de un diferencial de temperatura entre el día y la noche mayor de 15°C y que en lugares semitropicales como Iguala y Chilpancingo, Guerrero, donde las noches son cálidas, las variedades de nopal tunero no fructifican adecuadamente.

3.2.2. Preparación del terreno

Esta actividad tiene el objetivo de dejar “mullido” el suelo para posibilitar un desarrollo radicular óptimo. Se recomienda pasar el arado y cruzar, pasar rastra y cruzar, para lograr un suelo “mullido”. Si el terreno lo requiere, por presentar una capa endurecida (tepetate, caliche o piso de arado), es conveniente pasar una arado de subsuelo.

3.2.3. Trazado y densidad de la plantación

Traza de la plantación. Para esta labor, generalmente se utilizan cinta métrica, cordel, estacas y una lata con cal. De ser posible conviene trazar los surcos a nivel, es decir, perpendiculares a la pendiente, lo que facilita realizar las labores agrícolas con maquinaria, ayuda a disminuir la erosión y favorece la infiltración del agua de lluvia.

Densidad de plantación. En los estados de Puebla y México encontramos plantaciones de nopal tunero con distancias de 4 m entre plantas e hileras, esto es, con densidad de 625 plantas por hectárea, lo que impide la utilización de maquinaria para realizar las labores agrícolas. En la región centro norte son comunes las plantaciones con 5 o 6 m entre hileras y de 4 a 5 m entre plantas (de 500 a 333 plantas por ha). Es recomendable utilizar distancias de 5 a 6 m entre hileras (a mayor fertilidad del suelo, conviene utilizar más bien a 6 m entre hileras, y en terrenos pobres con 5 m es suficiente) y de 2.5 a 3 m entre plantas (de 800 a 555 plantas por hectárea), de manera que se formen “setos” con las plantaciones de nopal, los cuales se “trabajarán” por uno y otro lado (calles).

3.2.4. Variedades

Las principales variedades de nopal tunero y las entidades donde se cultivan aparecen en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Principales variedades de nopal tunero en México y entidades donde se cultivan

<i>Variedad</i>	<i>Entidades en donde se cultivan</i>
Villanueva	Puebla
Alfajayucan	Estado de México, Hidalgo
Roja Pirámides	Estado de México
Reina	Guanajuato
Esmeralda	Guanajuato
Roja liso	Guanajuato, Zacatecas
Burrona	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí
Cristalina	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí, Aguascalientes, Puebla
Picochulo	Zacatecas, Jalisco
Amarillo Montesa	Zacatecas, Aguascalientes
Torreaja	Jalisco, Zacatecas, San Luis Potosí
Fafayuco	Jalisco, Zacatecas
Gavia	San Luis Potosí, Nuevo León
Miquihuana	Tamaulipas, San Luis Potosí

Fuente: Flores *et al.* (1995).

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Las principales variedades de nopal tunero presentan varias desventajas (Cuadro 3.2): una es que dominan las variedades de pulpa y cáscara blanca, siendo que el mercado internacional demanda tunas de color (rojas, moradas, anaranjadas, amarillas, rosas, etc.); otra desventaja es que casi todas las variedades presentan pencas con espinas, lo que impide cosechar la tuna con botón (con una fracción de penca adherida a cada tuna, con lo que se prolonga la vida pos-cosecha del fruto), además de todas las dificultades que conlleva realizar labores (plantación, poda, sacado de poda, combate de plagas y enfermedades, aclareo, forzamiento de la fructificación y cosecha) cuando se tienen variedades de pencas con espinas. Por ello, es urgente desarrollar cultivares de pencas sin espinas y tunas de color, con buena calidad (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.2. Características de las principales variedades de nopal tunero en México

Variedad	Color		Pencas	
	Cáscara	Pulpa	Con espinas	Sin espinas
Villanueva	Blanca	Blanca	X	
Alfajayucan	Blanca	Blanca	X	
Roja Pirámides	Morada	Roja	X	
Burrona	Blanca	Blanca	X	
Cristalina	Blanca	Blanca	X	
Reina	Blanca	Blanca	X	
Esmeralda	Blanca	Blanca	X	
Roja liso	Roja	Roja		X
Torroja	Roja	Roja	X	
Amarillo montesa	Amarilla	Amarilla	X	
Picochulo	Amarilla	Anaranjada	X	
Chapeada	Rosa	Blanca	X	
Fafayuco	Blanca	Blanca	X	
Blanca San José	Blanca	Blanca	X	
Rojo Lirio	Roja	Roja	X	
Gavia	Blanca	Blanca	X	
Miquihuana	Amarilla	Amarilla	X	
Cardón* (<i>Opuntia streptacantha</i> Lemaire)	Roja	Roja	X	

* Nopal silvestre.

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 3.3. Variedades de nopal tunero sin espinas con potencial de producción en México

Variedad	Color		Pencas	
	Cáscara	Pulpa	Con espinas	Sin espinas
Rojo pelón	Roja	Roja		X
Rojo vigor	Roja	Roja		X
Rojo liso	Roja	Roja		X
Copena CEII	Roja	Morada		X
Liso forrajero	Roja	Roja		X
Solferino	Anaranjada	Solferino		X
Amarillo milpa alta	Amarilla	Amarilla		X
Rojo 3589	Roja	Roja		X
Amarillo 2289	Amarilla	Amarilla		X
Copena V1	Blanca	Morada		X
Copena F1	Blanca	Blanca		X
Copena sin espinas	Blanca	Blanca		X
Tovarito	Amarilla	Anaranjada		X
Atlixco	Amarilla	Amarilla		X
Celaya blanca	Blanca	Blanca		X
Celaya roja	Roja	Roja		X

Fuente: Elaborado por el autor.

De las variedades de tuna sólo la Alfajayucan se identifica como *Opuntia amyclaea* Tenore y de las variedades de nopalito sólo se identifican Milpa Alta, *Opuntia ficus-indica* L., y Tamazunchale, *Nopalea cochellinifera* L., todas las demás se manejan como *Opuntia* sp por ser resultado del cruzamiento efectuado por insectos y de la selección que han realizado los productores durante muchos años, de manera que estas variedades (híbridos) tienen poco parecido a las especies silvestres descritas por Helia Bravo (1978) de las cuales se originaron. En este sentido, es urgente describirlas (incluyendo la huella genética) de manera que se evite que sean registradas por particulares en otro país y luego se tengan que pagar regalías, como en el caso del frijol azufrado.

3.2.5. Plantación

Para el establecimiento de la plantación el primer paso es seleccionar el material (las pencas, raquetas o cladodios) a utilizar. Las pencas deben estar “sanas”, sin daños de plagas o enfermedades, ser

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

vigorosas (pencas grandes), según la variedad, y estar bien formadas, de acuerdo con la forma típica de la variedad seleccionada.

La mayoría de los productores utilizan una penca para plantar, algunos prefieren plantar pencas con una o dos “orejas” (pencas), con lo que logran un desarrollo más rápido de la plantación; el principal problema consiste en que se dificulta el manejo de dos o tres pencas unidas, sobre todo si la variedad seleccionada es espinosa. En México se utilizan dos métodos de plantación: en el primero se entierra la penca hasta la mitad o dos tercios de su longitud, de preferencia con las caras orientadas al este y oeste, para lograr un mejor desarrollo radicular y menor daño por quemaduras de sol, que se presentan en algunas variedades cuando se planta con las caras al norte y sur, debido a que al mediodía los rayos solares inciden directamente en una de las caras. En el segundo método se hace el surco a nivel y las pencas se colocan “acostadas” con una cara sobre el surco. Los productores de Zacatecas y Jalisco consideran que de esta forma logran que la planta desarrolle más ramas y sea de menor altura. En ambos métodos es conveniente hacer bordos a nivel y plantar a la mitad o dos tercios de altura del bordo.

En Sicilia, Italia, algunos productores, para formar el seto, plantan el nopal en bandas con calles de 7 m, colocando en las bandas, cada tres metros, tres o cuatro pencas en círculos de 0.70 a 1.00 m de diámetro. En Perú, algunos productores plantan las pencas de nopal inclinándolas a 45° del eje longitudinal con respecto al suelo y enterrando media penca.

En México se ha sugerido enterrar la penca en el surco hasta la mitad o dos tercios, y una vez que haya desarrollado dos o tres pencas aterrarlas formando un bordo, de manera que estas pencas hijas queden aterradas hasta la mitad y también desarrollen raíces, lo que en teoría daría una planta más vigorosa.

3.2.6. Fertilización y abonado

Fertilización. Fernández y Mondragón (1998) señalan que al aplicar fertilizantes se busca tener plantas fuertes y vigorosas, que pro-

duzcan altos rendimientos de tuna de buena calidad, además de una brotación adecuada de pencas, mayor vida productiva del nopal y que se reduzca la alternancia en la producción (un año de buena producción y otro con poca producción).

Para la región centro-norte de México, con base en las recomendaciones de Mondragón y Pimienta-Barrios (1990), se calcularon las dosis de fertilización que se indican en el Cuadro 3.4.

En la región de las pirámides del estado de México, los productores utilizan triple 17 (500 g por planta) y urea (150 g por planta), de lo que resulta la fórmula 95-53-53, calculada considerando 625 plantas por hectárea (4 x 4 m) (Castellanos *et al.*, 1999).

En Puebla, a los productores de San Sebastián Villanueva, municipio de Acatzingo, se les recomienda (Martínez, 1993) aplicar la fórmula 100-50-00 en las huertas de nopal tunero en producción, que implica aplicar 350g de urea por planta y 175 de superfosfato de calcio triple.

Cuadro 3.4. Fertilizantes para nopal tunero en la región centro-norte

Fertilizante	Plantas jóvenes menores de 5 años		Plantas adultas mayores de 5 años	
	g/planta	Kg/ha	g/planta	kg/ha
Nitrogenados (sólo uno de los tres)				
Sulfato de Amonio	180	99.0	360	198.0
Urea	80	44.0	160	88.0
Nitrato de Amonio	110	60.5	220	121.0
Fosforados (sólo uno de los dos)				
Superfosfato de Ca simple	180	99.0	180	99.0
Superfosfato de Ca triple	80	44.0	80	44.0
Potasio				
Cloruro de potasio	60	33.0	60	33.0
Fórmula (con base en 550 plantas/ha: 6 x 3 m)	20-20-17		40-40-17	

Fuente: Calculado por el autor con base en Fernández y Mondragón (1998).

Abonado. El nopal tunero (incluso el de verdura) responde excelentemente al abonado; sin embargo, se debe considerar que usar el abono como fuente de nitrógeno, fósforo y potasio resulta generalmente caro, debido a su pobre contenido de estos elementos y al alto

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

costo que implica comprar, acarrear y aplicarlo, no obstante, se deben considerar las ventajas de abonar, como son: la adición de microelementos al suelo, mejoramiento de la aeración y de la retención de humedad en el suelo, así como la mejora de la microflora y microfauna del suelo, etcétera.

Para la región centro-norte (norte de Guanajuato) se recomienda (Fernández, 1995) aplicar en plantas jóvenes 5.5 kg de gallinaza u 8.25 kg de estiércol de vaca o de borrego, y en plantas adultas 11 kg de gallinaza o 16.5 kg de estiércol de bovino, ovino o caprino, lo que equivale a 3 t/ha de gallinaza y 4.5 de estiércol de bovino en plantaciones jóvenes, o bien a 6 t/ha de gallinaza y 9 de estiércol de bovino en plantaciones adultas de más de 5 años. Para la región de las Pirámides, se recomienda (Anónimo, 1990) los siguientes niveles de abono (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Dosis recomendadas de materia orgánica (abono) en plantaciones de nopal tunero

Año	Vacuno, ovino o caprino		Gallinaza o pollinaza	
	kg/planta	t/ha	kg/planta	t/ha
1°	3	1.87	1	0.62
2°	5	3.12	2	1.25
3°	5	3.12	2	1.25
4°	8	5.00	3	1.87
5°	10	6.25	4	2.50
A partir del 6°	15	9.37	6	3.75

Fuente: Anónimo, 1990.

Para el estado de Puebla (Martínez, 1993) recomienda aplicar cada tercer año 4.8 kg de abono de bovino por planta, que equivalen a 3 t/ha.

Cómo fertilizar y abonar

Para que las plantas de nopal aprovechen el fertilizante y el abono, es muy importante realizar las siguientes actividades (Fernández y Mondragón, 1998):

- Eliminar la maleza de alrededor de la planta de nopal, para que no compita por los nutrimentos.
- Mezclar muy bien los fertilizantes químicos.

- Distribuir la mezcla de los fertilizantes químicos en toda la zona de goteo o aplicar en banda en ambos lados de la planta.
- Aplicar el abono orgánico encima del fertilizante químico.
- Cubrir con tierra los fertilizantes y abonos aplicados.

Una manera eficiente de abonar, desarrollada por el ingeniero Fausto González, productor de San Diego de la Unión, Guanajuato, es aplicar un año en las calles pares y otro año en las nones, utilizando un tractor grande que en la barra de tiro lleve un arado de doble vertedera (mariposa) y también jale un remolque cargado con gallinaza; el remolque con un orificio al que se inserta un tubo que deposita el abono en el surco dejado por el arado y al extremo posterior del remolque adaptar un riel, que vaya tapando con tierra el abono depositado. Así, mecánicamente y con tres trabajadores (un tractorista y dos peones en el remolque) se pueden abonar (y tapar) entre 6 y 8 ha por jornada.

Cuándo fertilizar y abonar

Se debe aplicar el fertilizante y el abono al principio de la temporada de lluvias; aunque en el caso del fertilizante es mejor aplicar la mitad del nitrógeno al inicio, y el resto a mediados de la temporada de lluvias.

3.2.7. Podas

Aunque algunos productores de EE.UU. y de Italia dejan crecer libremente las plantas de nopal, lo que los obliga a cosechar con escaleras, en general se considera que las podas son convenientes para darle un adecuado tamaño y forma a la planta de nopal, así como para facilitar el manejo y la cosecha, reducir el ataque de plagas y enfermedades, y obtener una mayor producción de fruta de buena calidad, al eliminar pencas enfermas o improductivas que sólo están consumiendo nutrientes. Fernández y Mondragón (1998), respecto a la poda del nopal, dan respuesta a las siguientes interrogantes: ¿para qué, cuándo y cómo podar?

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

¿Para qué podar?

- Para obtener altos rendimientos y fruta de buena calidad.
- Recuperar plantas viejas, con el brote de pencas nuevas y sanas.
- Mantener las plantas en producción durante mayor tiempo.
- Facilitar el paso de maquinaria para realizar las labores agrícolas (rastreos, deshierbes, combate de plagas o enfermedades, fertilización, abonado, retiro del material podado, etcétera).
- Facilitar la cosecha.
- Dar mejor forma a las plantas de nopal en cuanto a lo ancho (que no invada las calles) y a lo alto (que facilite la cosecha).
- Eliminar pencas encimadas o rastreras.
- Disminuir la incidencia de plagas y enfermedades, evitando las pencas excesivamente sombreadas, con lo que se reduce el uso de pesticidas.

¿Cuándo podar?

- En invierno (de diciembre a febrero) para encausar el tamaño y forma deseada a la planta.
- Durante todo el año, para eliminar pencas enfermas o con plaga.

¿Cómo podar?

- Los cortes deben realizarse con cuchillo, machete o “gallinita”, siempre bien afilados, en la unión entre pencas, porque facilita la cicatrización y reduce la posibilidad de daños por plagas y enfermedades.
- Es conveniente desinfectar la herramienta de poda utilizada, sumergiéndola en una solución con cloro y agua después de podar cada planta, para evitar la transmisión de enfermedades, como el engrosamiento o achaparramiento.
- El material podado se debe sacar de la plantación para evitar que enraice o que se convierta en un foco de infección de enfermedades y de proliferación de plagas. Algunos productores de Puebla colocan este material en el área de goteo y trozan o

pinchan con pala recta las pencas, cubriéndolas con suelo, para que se pudran; ellos consideran que así aportan humedad a las plantas en plena sequía. En el estado de México, algunos productores muelen mecánicamente las pencas podadas y la masa resultante la incorporan al suelo en el área de goteo, con los mismos fines que los productores de Puebla.

3.2.8. Combate de plagas y enfermedades

México, por ser el centro de origen de las variedades de nopal que se usan en el mundo para producir tuna, nopalito y forraje, presenta la mayor diversidad de plagas y enfermedades, además, casi cada año los productores de diferentes regiones reportan nuevas plagas y enfermedades.

En el Programa Nopal del CIESTAAM-UACH participan tres investigadores sobre plagas y enfermedades del nopal, dos de la Universidad Autónoma Chapingo y uno del Colegio de Postgraduados; de la primera participan el Dr. Víctor Manuel Pinto, que esporádicamente colabora impartiendo conferencias a productores sobre plagas de nopal, y la M.C. Ma. de Lourdes Rodríguez Mejía, que realiza investigación y asesora tesis sobre enfermedades del nopal. Del Colegio de Postgraduados participa el Dr. Leopoldo Fucikovski, que investiga y publica dos o tres trabajos cada año sobre plagas del nopal; sin embargo, los mayores avances en este tema corresponden a alumnos del Departamento de Parasitología de la UACH, que como servicio social han realizado revisiones y actualizaciones sobre las plagas y enfermedades del nopal en México (Hernández, 1993; Villanueva, 1995, y Gijón, 1998). En el Cuadro 3.6 aparece un listado de las principales plagas del nopal en México, y otro de enfermedades en el Cuadro 3.7.

3.2.9. Prácticas culturales y control de malezas

En Italia y EE.UU. el paso de rastra por las calles de los huertos de nopal se realiza de 6 a 8 veces al año, por lo que las huertas se mantienen con el suelo “suelto” y libre de malezas todo el año.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En México se dan dos situaciones: algunos productores nunca pasan la rastra porque tienen las huertas plantadas a 4 x 4 m, como en Puebla y el estado de México, lo que imposibilita pasar un tractor equipado por las calles de la huerta, por lo que cuando combaten la maleza lo hacen con azadón o herbicidas; igualmente, otros productores nunca pasan una rastra, a pesar de tener las hileras separadas a 5 o 6 m, porque creen que no es conveniente, pues consideran que al estar las raíces del nopal muy superficiales las rompe la rastra al pasar.

Cuadro 3.6. Nombre de la plaga y nombre científico del agente causal

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Picudo barrenador	<i>Cactophagus spinolae</i> Gyll
Picudo de las espinas	<i>Cylindrocopturus birradiatus</i> Champ
Barrenador del nopal	<i>Lanifera cyclades</i> Druce
Gusano cebra	<i>Olycella nephelepsa</i> Dyar
Chinche gris	<i>Chelinidae tabulata</i> Burm
Chinche roja	<i>Hesperolabops gelastops</i> Kirk
Mosca del nopal	<i>Dasiops bennetti</i> Mc. Alpine
Barrenador del tronco	<i>Moneilema variolare</i> TOM
Cochinilla o grana	<i>Dactylopius indicus</i> Green
Trips del nopal	<i>Sericotrips opuntiae</i> Hood
Gusano de alambre	<i>Melanotus</i> sp.
Mayate verde del fruto	<i>Cotinis nítida</i> Lin
Gallina ciega	<i>Phyllophaga</i> spp.
Chinche del fruto	<i>Narnia femorata</i> Stal
Escama del nopal	<i>Diaspis echinocacti</i> Bouché
Perforador del fruto	<i>Asphondylla opuntiae</i> Felt
Araña roja	<i>Tetranychus</i> sp.
Caracol	<i>Helix aspersa</i> Müller
Minador del nopal	<i>O. Lepidóptera, F. Gelechiidae</i>
Escama del cactus	<i>Opuntiaspis philococcus</i> Cock
Rata nopalera	<i>Neotoma</i> spp.
Tuza	<i>Pappogeomys</i> sp.
Chapulín	
Mosca cobage	

Fuente: Hernández (1993), Villanueva (1995) y Gijón (1998).

Cuadro 3.7. Nombre de la enfermedad y nombre científico del agente causal

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Pudrición negra	<i>Macrophomina</i> sp.
Mancha de oro	<i>Alternaria</i> sp. <i>Ascochita</i> sp.
Lesiones causadas por:	<i>Phyllosticta cóncava</i>
Una enfermedad causada por:	<i>Fusarium solani</i> y <i>Fosarium oxysporum</i>
Gomosis	<i>Dothiorella ribis</i>
Necrosis bacteriana	<i>Erwinia</i> sp.
Antaracnosis de la penca y del fruto	<i>Colletotrichum gloesporoides</i>
Negrilla o fumagina	<i>Capnodium</i> sp.
Pudrición de la epidermis	<i>Poma</i> sp.
Mancha o secamiento de la penca	<i>Alternaria</i> sp.
Mancha bacteriana	<i>Bacteriem</i> sp.
Agalla del nopal	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Engrosamiento de cladodios	<i>Virus</i> o <i>microplasma</i> s
Pudrición blanda de los cladodios	<i>Pythium</i> sp.
Mancha café	
La carcoma del nopal	
Envejecimiento y daño fisiológico	

Fuente: Hernández (1993), Villanueva (1995) y Gijón (1998).

También existe un grupo de productores que al año pasan una o dos veces la rastra por las calles de sus huertas para abatir la maleza y facilitar la infiltración del agua de lluvia en el suelo. Para combatir la maleza los productores de tuna en México utilizan tres métodos: el mecánico, que consiste en pasar un tractor con rastra por las calles y con azadón eliminar la maleza de las hileras de nopal; el segundo método es el químico, en el cual la maleza se combate mediante la utilización de herbicidas, de los cuales el más usado en las huertas de nopal es el Faena (glifosfato), que es bastante efectivo, de contacto y se inhibe en el suelo (se debe procurar, al aplicarlo, evitar rociarlo directamente sobre las plantas de nopal); cuando el problema es de gramíneas se utiliza un graminicida, como Poaxt o Fusilade; el tercer método consiste en la utilización de ganado, de preferencia ovinos, que al terminar la cosecha de tuna pastoreen la huerta y consuman la maleza, esta práctica se facilita en México, en donde casi todas las huertas de nopal tunero tienen variedades con

espinas, por lo que el daño a las plantas de nopal por pastoreo es mínimo. Combatir la maleza es fundamental para que no compita por agua y nutrientes con el nopal y, además, para evitar que la maleza desarrolle, se seque y se convierta en combustible que posibilite el incendio de la huerta, con resultados desastrosos, como lo veremos en el apartado siguiente.

3.2.10. Daños por factores ambientales

En las plantaciones de nopal tunero son comunes los daños por sequía, heladas, granizadas y fuego.

Daños por sequía

Cuando las lluvias han sido escasas, en el siguiente periodo de secas (noviembre a junio) las pencas jóvenes del nopal se enjutan y doblan y la producción de fruta del siguiente ciclo disminuye, lo cual se evita con el riego. Para el caso de que no se disponga de riego, como sucede en casi la totalidad de las plantaciones de nopal tunero en México, que son de temporal, existen otras maneras de paliar los efectos de la sequía: una son las prácticas mecánicas para conservación de suelo y agua, que van desde terrazas, zanjas-bordo a nivel, microcuencas, etc., todas con objeto de evitar que el agua que precipita en la huerta de nopal salga de la misma; otra práctica es la incorporación de abono de origen animal, compostas y toda la maleza al suelo de las calles de las huertas, para favorecer la infiltración y retención del agua, y otras más es la “cosecha” de agua de lluvia, que consiste en construir zanjas-bordo en las laderas de los cerros para captar el agua de las lluvias que escurre y mediante canales conducirla a los bajíos, donde se encuentran las huertas de nopal tunero, para lo cual se requiere que el productor distribuya el agua al momento que cae la tormenta.

Daños por heladas

En las huertas de nopal del valle de México, del estado de Hidalgo y de la región centro-norte, casi todos los años se presentan heladas tardías (marzo y abril) que “queman” los brotes vegetativos y frutales, y provocan una segunda brotación (en ocasiones una tercera).

Las variedades tuneras soportan las heladas que generalmente se presentan durante los meses de diciembre a febrero (en ocasiones desde octubre) y sólo afectan a las pencas tiernas, sin embargo, estas variedades no soportan temperaturas bajo cero durante varios días, como se presentó en la región centro-norte alrededor del 12 de diciembre de 1998, que “quemó” las pencas macizas o adultas, y en algunas huertas toda la planta.

Este tipo de heladas ocurre todos los años en parte del estado de Nuevo León, casi todo Coahuila y Chihuahua, y buena parte de Sonora; por eso, en estos estados no se desarrolla la producción tunera, en cambio, existen nopales de uso forrajero que resisten estas condiciones, esto es, en lugares donde amanece con temperaturas de entre -10 y -15 °C, y luego, a mediodía, suben a -4 o -5 °C y por la tarde vuelven a disminuir, situación que se presenta en uno o más días seguidos. Una manera de evitar el daño por frío es mediante cubiertas plásticas, muy usadas en México para la producción de nopalito, pero no en el nopal tunero. Una segunda manera es mediante el uso de calentones de petróleo o de gas (o quemando llantas) y ventiladores, que es muy común en las huertas de manzana (en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango) y otros frutales de alto valor, pero que no se han usado en la producción de tuna.

Daños por granizadas

Todos los años ocurren granizadas en diferentes predios de las zonas tuneras de México, que generalmente afectan menos del 5% de la superficie tunera. Las granizadas, que ocurren casi siempre con las primeras tormentas de la temporada de lluvias (abril-junio) afectan a las pencas y sobre todo a la tuna en formación, que al ser golpeada por el granizo sufre daños en la epidermis, lo cual demerita calidad de la fruta, por lo que ésta se comercializa con categoría de tercera (para ser comercializada sin cáscara en bolsas de plástico).

La manera de evitar los daños por granizadas es colocando mallas antigranizo, sin embargo, debido a su alto costo, en México sólo se usan en huertas de manzana. Otra práctica que se usa es el lanzamiento de cohetes en el momento en que las nubes están desarro-

llándose; en muchos pueblos del centro de México ésta es una práctica común, pero presenta resultados dudosos.

Daño por fuego

Cuando los productores no combaten adecuadamente la maleza en las huertas ésta se desarrolla y, al secarse, se puede constituir en un excelente combustible, si por accidente o mala intención la maleza se incendia, de lo cual pueden resultar severamente dañadas las plantas de nopal y, en consecuencia, disminuir la producción de tuna por dos o tres años, aunque en ocasiones la pérdida de la huerta puede ser total. La manera de evitar los incendios es impidiendo que la maleza se desarrolle en las huertas de nopal, además de mantener brechas cortafuegos alrededor de la huerta y, si ésta es grande, en medio de la misma.

3.2.11. Riegos

En EE.UU., Italia, Israel, Sudáfrica, y parcialmente en Chile y Perú las plantaciones intensivas de nopal tunero cuentan con riego. Los métodos de riego utilizados son los de goteo y aspersión.

En Sicilia, Italia, se aplican de uno a cuatro riegos por ciclo, dependiendo de la disponibilidad de agua, de las características del suelo y del clima de la región. El primer riego se aplica inmediatamente después de la práctica de forzamiento de la fructificación (scozzolatura) para favorecer la floración que se deriva de esta práctica. Los riegos posteriores se aplican a intervalos de 30 días. Los resultados en el tamaño de las tunas son notables: con un riego, el tamaño se incrementa alrededor del 50% y con dos, duplican su tamaño, respecto al testigo, sin riego (Barbera, 1984). Con sistemas de goteo o microaspersión se considera que en Sicilia se aplican al año de 600 a 1,000 m³ por hectárea, es decir, láminas de riego anual de 60 a 100 mm; el riego lo aplican en bandas de 40 a 50 cm de ancho, lo que puede presentar el problema de reducir demasiado el sistema radical de las plantas y provocar problemas de anclaje de las mismas (Barbera e Inglese, 1993).

En Chile se aplican de tres a cinco riegos por ciclo en las nopaleras tecnificadas (Acevedo *et al.*, 1983). En Sudáfrica, para obtener de 7 a 15 t/ha de tuna comercial, aplican de uno a tres riegos en zonas con menos de 450 mm de precipitación (Potgieter, 1996), y en lugares con 600 mm o más no se aplica riego (Brutsh, 1992).

En Salinas, California, EE.UU., en las nopaleras, excelentemente manejadas, de la empresa D'Arrigo se utilizan sistemas de riego por goteo y aspersión y se aplica una lámina anual de 500 mm, que sumados a los 600 mm de precipitación nos dan 1,100 mm de lámina total anual, lo que, aunado a una fertilización adecuada, permite obtener de 20 a 25 toneladas de tuna por hectárea por año.

En Perú, para los huertos de nopal tunero se recomienda (CONAFRUT-INIA, 1998) aplicar de 2 a 3 riegos en el verano, cada uno de 60 a 100 mm de lámina en lugares con 300 mm de lluvia en el verano, pues se considera que en sitios con 500 - 600 mm, o más, el nopal tunero produce adecuadamente sin necesidad de riego.

En México, casi el 100% de las huertas de nopal tunero son de temporal, a diferencia de las de producción de nopalito, que en muchas de ellas se aplica riego.

3.2.12. *Aclareo de frutos*

El aclareo o eliminación parcial de frutos es una práctica que se realiza en las plantaciones de tuna de Italia, Israel, África del Sur, Chile, Argentina y EE.UU., con la finalidad de obtener fruta de mayor tamaño y con mayor porcentaje de pulpa en relación con la semilla.

El aclareo de frutos se realiza manualmente, utilizando guantes o un pequeño bastón, y cuidando de no dañar las pencas. Conviene realizar esta práctica en las primeras fases de desarrollo del fruto, a los 15 o 20 días de la brotación, dejando de 5 a 8 frutos por penca (Barbera e Inglese, 1993).

En México son muy pocos los productores que realizan esta práctica, por lo que en muchas ocasiones las pencas producen un excesivo número de tunas, pero con escaso desarrollo, por lo que su peso es inferior a 100 g.

3.2.13. Forzamiento de la fructificación

Esta práctica consiste en la eliminación total de la brotación floral y vegetativa primaveral, con la finalidad de lograr una segunda floración que resulte en una maduración tardía, lo que permite obtener mejores precios de la tuna.

En el nopal tunero esta práctica se inició en Sicilia, Italia (Barbera, 1991, 1997), y es comúnmente efectuada en Israel (Nerd *et al.*, 1991) y EE.UU.; se han realizado pruebas de forzamiento en Chile, Argentina (Ochoa, 1995a) y África del Sur (Brutsh, 1992) pero en estos países la tuna madura en el verano austral (diciembre a marzo), por lo que están en posibilidades de exportar tuna a los países del hemisferio norte, con mínima competencia.

Como en el caso del aclareo, la eliminación de los brotes se realiza manualmente, utilizando guantes o un palo de un metro de largo, con o sin cuchilla, cuidando de no dañar la penca para no perjudicar la nueva brotación; esta práctica también conviene realizarla temprano por la mañana, cuando la humedad limita el desprendimiento de los aguates, además, conviene realizarla utilizando guantes, lentes y camisa o chamarra gruesa (Barbera e Inglese, 1993).

El resultado del forzamiento de la producción, además de atrasar la maduración es que se obtiene menor cantidad de frutos, pero de mayor tamaño y con una mejor relación pulpa-semilla.

En México son contados los productores que realizan esta práctica, a pesar de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas sobre esta temática, que la favorecen (Fernández, 1997; Ibarra, 1998 y Ávila, 2001).

Para obtener buenos resultados en el forzamiento de la fructificación se debe tener en cuenta particularmente lo siguiente:

- Las huertas deben estar bien manejadas (podadas, deshierbadas, abonadas, fertilizadas, libres de plagas y enfermedades, etc.) lo cual favorece una buena segunda brotación.

- No todas las variedades responden a esta práctica, como lo hacen las variedades de *Opuntia ficus-indica* utilizadas para producir tuna en Italia, Israel, África del Sur, Chile y EE.UU.
- En México son casi inexistentes las huertas con riego, lo cual es desfavorable para extender la aplicación de esta práctica, por ser el riego uno de los principales factores que garantizan una buena segunda brotación al hacer el forzamiento.

3.2.14. Obtención de tuna sin semilla

La tuna es una fruta que presenta tres desventajas para su comercialización:

- Presencia de aguates. Los aguates “glóquidas”, son bastante molestos si se incrustan en la piel de las manos, en la boca y sobre todo en los ojos, por lo que se requiere que el desespinado de la tuna sea lo más perfecto posible y así se eviten casos extremos, como han sido las demandas de consumidores europeos o norteamericanos por haberseles incrustado aguates en la lengua o el paladar.
- Cáscara no comestible. La tuna presenta un alto porcentaje de cáscara y esto dificulta su aceptación en países europeos, donde la recolección de basura se realiza una vez por semana, pues prefieren frutas con menor porcentaje de desechos o que éstos sean más estables, como los huesos de durazno, ciruela y cereza.
- Presencia de semillas. La tuna presenta semilla dentro de la porción comestible (la pulpa) y este es el principal limitante para la expansión del mercado internacional, pues los nuevos consumidores, al comer la tuna intentan con la lengua separar las semillas de la pulpa, lo que es imposible, y dado a que no están acostumbrados a consumir fruta con la cantidad y el tamaño de las semillas que tiene la tuna, la rechazan; como en los casos de la sandía, la uva, la naranja y el limón, en la tuna se ha buscado la obtención de la fruta sin semilla.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Para obtener tuna sin semilla existen tres métodos:

- Se parte de variedades sin semilla, que generalmente no son tuneras, y mediante mejoramiento genético, por cruzamientos con variedades tuneras, se busca obtener la tuna sin semilla. El Dr. Jorge Rodríguez Alcázar, en el Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, estado de México, trabaja en el cruzamiento de materiales que casi no presentan semillas con las variedades comerciales de tuna, proceso que lleva años y en el que no se puede garantizar el éxito, pero que de lograrse sería la mejor opción, pues se tendrían variedades estables.
- Tuna transgénica. Se ha localizado un gen denominado Killer seed (asesino de semillas) que si se implantara en las variedades de tuna comerciales se produciría tuna sin semilla.
- Producción de tuna sin semilla mediante la aplicación de hormonas. Este método es el que presenta los mayores avances en México. En los años setenta, el Dr. Facundo Barrientos Pérez realizó, en Chapingo, los primeros trabajos, que continuó el Dr. Jorge Rodríguez Alcázar y posteriormente el Dr. Manuel Livera Muñoz y el M.C. Noé Muratalla Lúa, y en la UNAM, Campus Cuautitlán, la M.C. Hilda Carina Gómez Villar y el M.C. José Arnulfo Flores Valdez. Durante estos treinta años se han cometido muchos errores, que se han venido corrigiendo, algunos de ellos son los siguientes:
 - a. Aplicar las hormonas por la noche, considerando que entonces los estomas están abiertos y habría mejor absorción de las hormonas. La práctica ha demostrado que las hormonas también se pueden aplicar durante el día con iguales resultados.
 - b. Aplicar las hormonas después de que la tuna se ha polinizado. Desde los años setenta los fitomejoradores descubrieron que cuando abre la flor, la tuna ya se ha autopolinizado, por lo que, para realizar cruzamientos se debe cortar la corola antes de la apertura de la flor, eliminar los estambres (emasculación) y espolvorear el polen, obtenido de la variedad

deseada, sobre el estigma, cuidando de que al cortar la corola la flor se encuentre libre de insectos que hayan perforado la corola y contaminado con polen de otra flor de una variedad no deseada; posteriormente se debe cubrir la tuna para evitar que llegue polen extraño con el viento o los insectos. A su tiempo, se obtienen las semillas, se hacen germinar y se desarrollan las plantas, y si al producir frutos resultan sobresalientes, se seleccionan, obteniéndose nuevos híbridos; este proceso tiene una duración de siete o más años.

- c. Eliminar los estambres (emasculación) en lugar de eliminar el estigma, lo primero resulta más difícil y lleva mucho tiempo.
- d. Utilizar hormonas de laboratorio (químicamente más puras) en lugar de hormonas de productos comerciales, que resultan mucho más baratas.
- e. Aplicar hormonas sólo una vez, pensando que no se degradan con el paso del tiempo.
- f. Aplicar en demasiadas ocasiones las hormonas. Mediante experimentos se ha determinado que con tres aplicaciones es suficiente.
- g. Aplicar dosis pequeñas o muy grandes de hormonas. En el primer caso no hay respuesta y en el segundo pueden llegar a producirse falsas semillas (son aquellas en que se desarrolla y endurece el tegumento, la cáscara de la semilla, pero se encuentran vacías o huecas).
- h. A veces, cuando se pincha para eliminar el estigma, se extrae el ovario, por lo cual, después de varias semanas la tuna se desprende de la penca. Además, es conveniente aplicar una solución de alcohol para “quemar” el pistilo y evitar que polen extraño llegue al ovario y produzca semillas.
- i. Cuando en una planta se tratan varias tunas y se dejan algunas sin tratar, las hormonas producidas por las semillas

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

de las tunas sin tratar afectan a las tratadas, haciéndolas producir parcialmente semillas.

- j. Creer que con la aplicación de hormonas las tunas van a crecer más. Esta es una técnica cara y relativamente sofisticada, que sólo vale la pena aplicarla en huertas bien manejadas (bien fertilizadas, abonadas, podadas, libres de plagas y enfermedades, etc.) que estén produciendo entre 70 y 80% de tunas de primera, y no se debe cometer el error de aplicar esta técnica en huertas que producen 70% de tunas de tercera clase (canicas).

Para finalizar este apartado, es conveniente insistir en que ésta es una técnica complicada y cara, con la cual es posible obtener tunas sin semillas, del mismo tamaño e igual grosor de cáscara que las naturales, pero con menor vida poscosecha (la tasa de respiración de las tunas sin semillas es ligeramente superior a la de tunas con semilla) que aquellas, por lo que se debe evaluar cuidadosamente si el sobreprecio que en el mercado se pueda pagar por las tunas sin semillas cubre los costos de aplicar esta técnica.

3.2.15. Cosecha

Esta actividad es sumamente importante, porque es donde se materializan los beneficios de todos los esfuerzos aplicados a la producción; sin embargo, es en esta fase cuando muchos productores en México “tiran por la borda” el trabajo realizado, como lo veremos a continuación.

Métodos de cosecha. Para cosechar se usan tres métodos:

- a. El primero consiste en tomar la tuna con la mano, generalmente enguantada y girarla para desprenderla de la penca. Con este método la tuna se maguya y se desgarran del pedúnculo, por lo que la vida poscosecha disminuye drásticamente y las frutas cosechadas de esta manera se deben comercializar en el mercado nacional en el transcurso de pocos días. De esta manera se cosecha casi toda la tuna en los estados de Puebla, México e Hidalgo.

- b. El segundo método consiste en tomar la tuna con una mano, de preferencia enguantada, y con la otra, utilizando un cuchillo, cortar en la base de la misma para desprenderla. Si este procedimiento se realiza bien, sin cortar parte de la tuna, la vida poscosecha de la tuna es mayor. De esta forma se cosecha casi toda la tuna de la región centro-norte (Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas y San Luis Potosí).
- c. El tercer método consiste en cosechar cada tuna cortándola con un pequeño pedazo de penca, el cual se desprende a los 10 o 15 días dejando bien cicatrizado la base de la tuna, por lo que la vida poscosecha es muy superior. Este método se aplica en variedades sin espinas (pues si se utilizara en variedades espinosas, las fracciones de penca unidos a la base de las tunas llevarán un buen número de espinas que causaría múltiples heridas a los frutos en el recipiente en que se trasladan al desespinado), y como en México casi toda la producción se basa en variedades con espinas, este método se usa muy poco; en cambio, en Italia, Israel, Sudáfrica, EE.UU., etc., es el método que se utiliza. Ésta es una de las razones por las que estos países, con menor superficie de plantaciones exportan más y a un mayor número de países que México.

Época de cosecha

Para el mercado, la época de cosecha es fundamental, pues aún si se produce fruta de calidad media, pero en una época en que la producción es mínima, se pueden obtener excelentes precios, en cambio, la que se cosecha en la época de mayor producción, aunque sea de excelente calidad, generalmente sólo alcanza precios regulares.

a) Épocas de cosecha de tuna de los países del Hemisferio Norte

En Sicilia, Italia, la cosecha de la tuna es en agosto y septiembre, pero como en la mayoría de las plantaciones se realiza el forzamiento de la fructificación (scozzolatura), para tener menor competencia con otras frutas, casi toda la tuna se cosecha en octubre y noviembre (Barbera e Inglese, 1993).

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En Israel manejan el cultivo de nopal tunero en tres ambientes diferentes; así, con la aplicación de diversas técnicas han logrado ampliar la época de cosecha a 10 meses: en valles cálidos, como el de Arava, producen en junio y julio; en las montañas, en agosto, y septiembre, y en la costa, en un área de lomeríos (oeste del Negev), en julio y agosto, y forzando la fructificación producen en septiembre y octubre; además, aplicando nitrógeno con el riego han logrado un segundo flujo de fructificación para cosechar de noviembre a marzo (Nerd y Mizrahi, 1993a).

b) Épocas de cosecha en los países del Hemisferio Sur

La cosecha de tunas en el Hemisferio Sur ocurre en el verano austral, cuando en el Hemisferio Norte se está en pleno invierno, lo que ha permitido un “boom” frutícola en Chile, Argentina y África del Sur, que venden fruta en invierno a los países del Hemisferio Norte (Europa, EE.UU., Canadá, Japón, etcétera).

En Chile la cosecha de verano se da de enero a abril, con la distribución siguiente: en enero, 1%; febrero, 35%; marzo, 51%, y abril, 13%. Fertilizando con nitrógeno y regando obtienen una segunda cosecha, equivalente a sólo el 5% de la cosecha de verano, que se presenta de mayo a julio (López, 1996).

En Argentina la cosecha de tuna, tanto de la amarilla local como de la variedad roja, importada de Italia, se presenta de diciembre a abril (Ochoa, 1995b).

En África del Sur la cosecha se inicia en noviembre en Pretoria, en diciembre en Bloemfontein y en enero en Capetown, en las tres regiones termina en abril (Potgieter, 1996).

c) Épocas de cosecha de tuna en México

En México se cosechan tunas desde marzo hasta noviembre, sin embargo, los porcentajes de tuna cosechados en los primeros meses (marzo y abril) y en el último (noviembre) es mínimo. En el Cuadro 3.8 se presenta la producción de tuna por región para las principales variedades.

Cuadro 3.8. Porcentajes de cosecha mensual de las principales variedades de tuna en las regiones productoras de México

<i>Variedad</i>	<i>Región</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>
Villanueva	Sur	0.27	0.65	6.77	18.50	33.24	30.24	7.28	2.88	0.16
Alfajayucan	Centro Edo. de México				10.00	40.00	45.00	5.00		
Alfajayucan	Centro Edo. de Hidalgo			10.00	10.00	65.00	10.00	5.00		
Alfajayucan	Centro-Norte					50.00	50.00			
Amarilla	Centro-Norte					20.00	50.00	30.00		
Rojo liso	Centro-Norte					10.00	75.00	15.00		
Pico chulo	Centro-Norte						40.00	60.00		
Cristalina	Centro-Norte						15.00	65.00	20.00	
Burrona	Centro-Norte						15.00	55.00	30.00	
Fafayuco	Centro-Norte							15.00	60.00	25.00

Fuente: Elaborado por el autor.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

La cosecha de tuna se puede adelantar o atrasar hasta por dos semanas, dependiendo de la presencia de heladas, de las temperaturas y de las precipitaciones que ocurran en la temporada de brotación y desarrollo de la fruta.

En México, a escala experimental se está trabajando en valles libres de heladas, con noches frescas, que cuentan con riego (costa de Ensenada, Baja California; Cañón de Juchipila en Zacatecas y suroeste del estado de México) para producir tuna de noviembre a marzo.

En el Cuadro 3.9 se presenta un concentrado de la producción mensual de tuna por país y región.

3.2.16. Rendimientos

En Sicilia, Italia, bajo excelentes condiciones ambientales y culturales se han obtenido rendimientos de hasta 35 t/ha, pero la producción media difícilmente supera las 20 toneladas por hectárea. En la región de San Cono el rendimiento medio es de entre 14 y 16 t/ha, dándose casos de huertas que producen entre 20 y 22 t/ha (Barbera e Inglese, 1993). En la región de Santa Margarita, Belice, los rendimientos oscilan entre 15 y 16 t/ha (Basile, 1990).

En África del Sur se han reportado (Potgieter, 1996) rendimientos de 7 a 15 toneladas por hectárea, dependiendo de la edad y la densidad de la plantación, el clima del área (en la provincia del noreste la altitud varía desde 450 m a 1 740 msnm, las temperaturas medias anuales varían de 15 a 22°C y la precipitación media anual de 400 a 850 mm), los tipos de suelo y las prácticas culturales.

En Israel, los rendimientos fluctúan entre 20 y 25 toneladas por hectárea. También se han reportado (Nerd y Mizrahi, 1993) huertas con fertirrigación, que al tercer año de plantadas registran rendimientos de 18 t/ha, de las cuales 15 son en la cosecha de verano y 3 en la de invierno.

Para Chile se han reportado rendimientos medios de 7 t/ha, aunque existen huertas muy bien manejadas que en algunos años han tenido rendimientos de alrededor de 40 t/ha.

Cuadro 3.9. Épocas de cosecha de tuna en diferentes países

<i>País</i>	<i>Región</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
Italia	Sicilia:												
	Agostino								X	X			
	por scozzolatura										X	X	
EE.UU.	California	X	X	X					X	X	X	X	X
Israel	Valles cálidos						X	X					
	Montañas								X	X			
	Costa												
	Normal							X	X				
	Scozzolatura									X	X		
	Aplicando nitrógeno	X	X	X								X	X
Chile		(X)	X	X	X	(X)	(X)	(X)					
Argentina		X	X	X	X								
África del Sur	Pretoria	X	X	X	X							X	X
	Bloenfontein	X	X	X	X								X
	Capetown	X	X	X	X								
México	Sur			(X)	(X)	(X)	X	X	X	X	(X)	(X)	
	Centro					(X)	X	X	X	(X)			
	Centro-Norte							X	X	X	X	(X)	

X: = Producción normal; (X): poca producción.

Fuente: Elaborado por el autor.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En Perú se reportan (Conafrut-INIA, 1998) rendimientos promedio anuales de 6.3 a 7.5 t/ha, aunque en algunos departamentos los rendimientos obtenidos pueden ser mucho mayores en algunos años (Ica, 10 t/ha; Moquegua, 13.4 t/ha; Lima, 14.9 t/ha; Tacna, 15 t/ha, y Junin, 20 t/ha), siendo los departamentos de Huancavelica y Ayacucho donde, por su mayor superficie cultivada de nopal tunero, los volúmenes de producción son mayores.

En Salinas, California, Estados Unidos, el rendimiento promedio es de 12 t/ha, con variaciones anuales de 7 a 25 t/ha, dependiendo de las superficies en desarrollo o en inicio de producción (Bunch, 1996).

En México, el rendimiento promedio se considera de 6.75 t/ha, pero los rendimientos medios por estado son muy variables: de 20 t/ha en Puebla, de 10 en el estado de México, de 7.5 en Hidalgo y de 5.13 en la región centro-norte (Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes). En todas las regiones existen productores que anualmente obtienen entre 25 y 28 t/ha.

3.2.17. Producción de tuna en alta densidad de plantación

El achaparramiento (enanización) y la utilización de alta densidad de las plantaciones frutícolas (manzano, nogal, durazno, pera, plátano, cítricos, etc.) y aun de los cereales (maíz, trigo, cebada, etc.) es una técnica que se desarrolló a partir de los años sesenta, como una forma de incrementar los rendimientos y la productividad.

En el caso del nopal verdura esto se logró plantando en camas con alta densidad (25, 40 o más pencas por metro cuadrado) aprovechando la producción de nopalitos de la penca madre o cuando mucho dejando el siguiente piso con una a tres pencas como base de producción, lo que permite instalar un micro túnel y producir bajo plástico en los meses de invierno, que es cuando el nopalito logra mejores precios.

En cuanto al nopal tunero, la máxima densidad funcional había sido de 4x4 (4 m entre líneas y entre plantas) con una altura de planta de 1.6 a 1.8 m. Con esta densidad, en los estados de Puebla, México e Hidalgo se obtienen altos rendimientos, aunque con elevados costos

de producción, porque no se pueden mecanizar las plantaciones y todas las labores (limpias, cultivos, sacado de poda, combate de plagas y enfermedades y traslado de cosecha) deben realizarse a mano.

En San Sebastián Villanueva, municipio de Acatzingo, Puebla, el productor José Pascual Lira Flores usó durante 12 años densidades cada vez mayores en plantaciones de nopal tunero, hasta llegar a 2 m entre líneas y 1.5 m entre plantas con la variedad cristalina, para lo cual desarrolla varios troncos, de preferencia horizontales al suelo, y sólo mantiene dos tipos de pencas, las que producirán el presente año y las que producirán en el siguiente, con una altura de plantas de 1.2 a 1.4 m. Así obtiene rendimientos de 25 a 28 t/ha de tuna comercial.

Para el efecto, el productor realiza un buen manejo de la plantación, que consiste en lo siguiente:

1. *Limpias*. Realiza dos al año (mayo y agosto), con pala o azadón, utilizando 18 jornales por hectárea en cada una.
2. *Abonado*. Abona al plantar y después cada tercer año. Aplica el volumen de un camión (rabón) de 22 m³ de pollinaza, para aplicar en mayo, aproximadamente 13 t/ha, 4 kg por planta; para ello, ocupa cuatro jornales.
3. *Fertilización*. Aplica cada año 6 bultos de urea por hectárea, que equivalen a 135 kg de nitrógeno por hectárea, utilizando para ello dos jornales.
4. *Podas*. Por ser esta práctica la base para mantener baja la planta, el productor realiza 3 podas al año, para lo cual requiere tres jornales en cada una y tres más para sacar el material podado.
5. *Combate de maleza*. El productor aplica herbicida una vez al año en proporción de tres litros por hectárea, para ello requiere de dos jornales por aplicación.
6. *Combate de plagas y enfermedades*. Generalmente el productor realiza dos aplicaciones “completas”, cada una de las cuales incluye, por hectárea: tres litros de Paration, 2 kg de sulfato de cobre, 2 kg de terramicina y 3 lt de adherente y 10 jornales.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Además, efectúa dos aplicaciones “ligeras”, con la mitad del producto y 6 jornales. Las aplicaciones las realiza de mayo a agosto, cada 30 o 40 días, dependiendo de la incidencia de plagas.

7. *Riego*. Aunque no dispone de una fuente de agua fija, el productor bordea la plantación para captar el agua de lluvia, además la de los arroyos y caminos que llevan a la plantación.
8. *Aclareo del fruto*. Lo realiza en junio, ocupando para este trabajo 3 jornales por hectárea.
9. *Cosecha*. El productor la realiza (en la variedad cristalina) de septiembre a noviembre. Al cortador le paga 100 pesos al día y la comida; éste corta a cuchillo y colecta la tuna en un bote, la vacía en cajas, y carga y descarga del camión. En promedio un cortador cosecha de 12 a 15 cajas de 27 kg al día. Para la cosecha el productor requiere de 65 a 70 jornales.
10. *El productor produce fruta de muy buena calidad*, por lo que tiene compradores que cada año se surten con él; parte de la cosecha la vende a cadenas de supermercados del norte del país, parte la vende en su bodega con desespina y parte la comercializa en el mercado de Huizcolotla, Puebla.

En la Nopalera Experimental “Dr. Facundo Barrientos Pérez”, del Programa Nopal inició este año el establecimiento de una parcela con 15 variedades de tuna de diferentes colores y pencas sin espinas, con distancias de 2 m entre calles y 1.5 m entre plantas, de lo que resulta una densidad de 5,000 plantas por hectárea.

La producción de tuna en alta densidad es una técnica para la cual todavía no se tienen recomendaciones, pero aparentemente este sistema tiene buen potencial para productores con poco terreno, con disponibilidad de mano de obra y dispuestos a utilizar la tecnología de manera intensiva.

3.3. Desespinado de la tuna

Desespinado se denomina a la práctica de eliminar los aguates de las tunas, para lo cual se utilizan dos métodos: el manual y el mecánico.

3.3.1. Desespinado manual

El desespinado manual generalmente es el que se hace en el campo. Consiste en colocar las tunas cosechadas ya secas (libres de rocío) sobre pasto o paja y “barrerlas” con escobas (de panojas desnudas de sorgo o de filamentos de plástico) o cepillos (en ocasiones cubiertas con una arpillera de plástico) para eliminar los aguates. Esta forma de desaguatar sigue siendo muy utilizada en los estados de Puebla, México e Hidalgo.

3.3.2. Desespinado mecánico

El desespinado mecánico consiste en la utilización de máquinas equipadas con “cepillos” (rodillos cubiertos con cerdas o con tela de alfombra), sobre los que se hacen pasar las tunas para eliminar los aguates.

Las desespadoras mecánicas se han desarrollado empíricamente, y existen más de 150 en el país (30 en Puebla, 25 en el estado de México, 10 en Hidalgo (aproximadamente 100 en la región centro-norte); sin embargo, muchas presentan deficiencias, como dejar aguates en las tunas y maltratarlas demasiado, etcétera.

En Italia, Israel, Sudáfrica y Estados Unidos, entre otros países, la tuna se desespina mecánicamente.

3.3.3. Selección

En las máquinas desespadoras, después de la sección de “barrido”, las tunas pasan a una sección de selección, que en México en la mayoría de los casos consiste en una banda de selección, donde manualmente las tunas son seleccionadas por tamaño y se eliminan las que presentan algún daño que desfavorezca su comercialización.

También existen máquinas en que la selección es por medio de tubos colocados con diferentes separaciones entre ellos, por las cuales pasan las tunas y caen por gravedad, según su tamaño, en las mesas de empacado.

En Italia, Israel, Estados Unidos, etc., existen máquinas desespadoras que, según su peso las tunas, son conducidas a diferentes mesas de empaque.

3.4. Empaque de la tuna

El empaque consiste en acomodar las tunas desespadas y seleccionadas en las cajas de cartón o rejas de madera en que serán trasladadas al mercado. Para el mercado nacional casi toda la tuna se empaqueta en rejas de madera (de reuso) con capacidad de 18 a 28 kg, en las cuales generalmente la fruta se deteriora por aplastamiento, pues se colocan de 4 a 6 capas, y por las rasgaduras de la cáscara que sufren las tunas que quedan en contacto con los filos de las tablas de la reja. Sin embargo, algunos compradores de Estados Unidos piden la tuna empaqueta en rejas nuevas con capacidad de 18 kg, aunque generalmente para el mercado de exportación y para algunas cadenas comerciales de México la tuna se empaqueta en cajas de cartón de 11 libras de capacidad (5.5 kg), acomodando las tunas en dos capas.

En ocasiones, parte o todas las tunas se envuelven en papel, el cual a veces lleva impresas las instrucciones de cómo eliminar la cáscara y consumir la pulpa de la tuna.

En otros países, como Italia, Israel y Estados Unidos, las tunas se empaquetan en cajas de madera, cartón o plástico, en una sola capa y acomodadas en una charola (base de plástico con huecos que siguen el contorno de la tuna), de manera que las tunas se transportan protegidas de daños por golpes o aplastamientos.

Los errores más comunes en México, en que se ha caído en el diseño y fabricación de las cajas para empaquetar tunas se mencionan a continuación:

- Las cajas no tienen la resistencia suficiente y al acomodarlas en el “pallet” (estiba) las inferiores ceden en sus paredes, se doblan y se dañan las tunas por aplastamiento.

- Las cajas no tienen las dimensiones adecuadas para acomodarlas en la tarima del pallet (1.20 x 1.00 m), por lo que al estibar, parte de las cajas quedan “fuera de línea”, lo que dificulta el acomodo en la caja del trailer, o bien quedan por dentro y se desperdicia espacio; en ambos casos se dificulta colocar adecuadamente los esquineros del pallet.
- Los agujeros de las cajas no se ubican adecuadamente, por lo que en la estiba son tapados por las otras cajas, impidiendo la buena circulación del aire hacia las cajas del centro del pallet.
- Las cajas se elaboran sin cejas y huecos que permitan que las inferiores de la estiba se traben con las superiores, con lo que se logra una mayor estabilidad del pallet.
- Las cajas no llevan impresa la información sobre la variedad, color, número, calibre (tamaño) y peso de las tunas que contiene.
- Las cajas no presentan la información nutrimental de las tunas, requisito que imponen los mercados de Estados Unidos y otros países.
- Las cajas no contienen información suficiente para que clientes potenciales contacten a los productores, como: nombre de la empresa, ubicación, teléfono, correo electrónico, etcétera.
- Las cajas se elaboran para colocar dos capas de tuna (una sobre otra), en lugar de una sola capa, como en algunos países.
- Las tunas se colocan en las cajas sin charola, lo que propicia que las tunas se dañen al golpearse unas con otras.
- Las tunas no se envuelven en papel (de china) y cuando se hace, éste no tiene impresa información suficiente sobre cómo eliminar la cáscara, formas de consumir la tuna e información sobre los productores.
- Casi nunca se adiciona a las cajas información en hojas, folletos o trípticos sobre las bondades que conlleva el consumo de la tuna, así como sobre los productores, lo cual sí realizan los productores de algunos otros países.

3.5. Oferta de tuna a escala mundial

La producción de tuna se realiza en alrededor de treinta países (FAO, 1995), entre los cuales figuran Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia, México, Estados Unidos, Sudáfrica, Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto, Jordania, Pakistán, Israel, Grecia, Italia, España y Portugal, aunque en la mayoría de ellos la tuna es un producto secundario de nopaleras dedicadas a la producción de forraje o a la conservación de suelos, siendo pocas las plantaciones especializadas en la producción de tuna, de manera que la mayoría de países sólo concurren a los mercados nacionales y no participan en el mercado internacional.

Una estimación de las superficies, rendimientos y producción de tuna de los países donde se explota el nopal se muestra en el Cuadro 3.10.

En este cuadro se puede observar que el nopal se encuentra ampliamente distribuido en la cuenca del mediterráneo, incluyendo los países del cercano oriente (Turquía, Siria, Líbano, Israel y Jordania). En el continente africano se incluyen los países de la cuenca del mediterráneo (Marruecos, Argelia, Túnez, Libia y Egipto), los países del “cuerno” de África (Eritrea, Etiopía, Somalia y Sudán) y países del sur del continente (África del Sur, Namibia, Mozambique y Madagascar). En América el nopal se encuentra tanto en el sur del continente (Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Brasil y Colombia), como en el norte (Estados Unidos y México).

También se puede observar que en la mayor parte de la superficie (92.08%) se produce bajo el sistema extensivo. En el citado cuadro también se observa que no aparecen las superficies cultivadas con fines forrajeros de África del Sur (350,000 ha), Brasil (500,000), ni las superficies dedicadas a la producción de grana de cochinilla de Perú (70,000 ha), ni las nopaleras silvestres de EE.UU. (500,000 ha) y México (3,000,000 ha).

Sólo siete de los países que producen tuna concurren al mercado internacional: México, Italia, África del Sur, Chile, Israel, Colombia y EE.UU. (Cuadro 3.11.).

Cuadro 3.10. Producción de tuna por país. 2000

<i>País</i>	<i>Sistema de producción</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Rendimiento (t/ha)</i>	<i>Producción (t)</i>
Portugal	Extensivo	100	1.00	100
España	Extensivo	300	1.00	300
Italia	Intensivo	2,500	16.00	40,000
	Extensivo	25,000	1.00	25,000
Grecia	Extensivo	100	1.00	100
Turquía	Extensivo	100	1.00	100
Líbano	Extensivo	300	1.00	300
Israel	Intensivo	300	20.00	6,000
Siría	Extensivo	200	1.00	200
Jordania	Extensivo	1,000	1.00	1,000
Egipto	Extensivo	5,000	1.00	5,000
Libia	Extensivo	2,000	3.00	6,000
Túnez	Intensivo	1,000	5.00	5,000
	Extensivo	120,000	1.00	120,000
Argelia	Extensivo	7,000	3.00	21,000
Marruecos	Extensivo	50,000	1.00	50,000
Eritrea, Etiopía, Somalia y Sudán	Extensivo	500,000	.10	50,000
África del Sur	Intensivo	1,500	10.00	15,000
	Extensivo	3,000	5.00	15,000
Madagascar, Mozambique y Namibia	Extensivo	300,000	.10	30,000
Argentina	Intensivo	1,000	15.00	15,000
	Extensivo	10,000	6.00	60,000
Chile	Plantaciones	1,000	8.00	8,000
Bolivia	Extensivo	1,000	2.00	2,000
Perú	Intensivo	8,000	7.00	56,000
Ecuador	Extensivo	600	2.00	1,200
Colombia	Intensivo	200	10.00	2,000
Brasil	Extensivo	100	1.00	100
EE.UU.	Intensivo	200	20.00	4,000
México	Plantaciones	72,500	6.00	435,000
TOTALES		1,114,000	0.87	973,400

Fuente: Elaborado con base en consultas bibliográficas y directas a investigadores de diferentes países.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Cuadro 3.11. Superficie, rendimiento medio, producción, exportación e importación de tuna por país

<i>País</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Rendimiento (t/ha)</i>	<i>Producción (t)</i>	<i>Exportación (t)</i>	<i>Importación (t)</i>
México	72,500	6.75	489,500	7,500	0
Italia	2,500	20.00	50,000	15,000	100
Sudáfrica	1,500	10.00	15,000	250	0
Chile	1,000	7.00	7,000	40	0
Israel	300	25.00	7,500	60	0
Colombia	200	10.00	2,000	100	0
EE.UU.	200	20.00	4,000	100	8,000
TOTALES	78,200	7.35	575,000	23,050	8,100

Fuente: Elaborado con base en consultas bibliográficas y directas a investigadores de otros países.

En este cuadro se puede notar que la superficie de producción de tuna de México (72,500 ha) es muy superior a las de Italia, Sudáfrica, Chile, Israel, Colombia y EE.UU. Si a lo anterior se agrega que los otros países basan su producción casi totalmente en una sola variedad, mientras que en México existe una gran riqueza varietal que permite ofrecer al mercado tunas blancas, amarillas, anaranjadas y rojas, queda en evidencia el gran potencial que tiene el país para liderar los mercados internacionales de este producto. Respecto a rendimientos medios, México presenta los más bajos (6.75 t/ha), debido a que casi la totalidad de las plantaciones se localizan en áreas sin riego, con mal temporal y suelos pobres, además de que gran número de productores, por falta de recursos, no atienden adecuadamente sus huertas. En los casos de productores que realizan en forma adecuada las labores de poda, abonado, fertilización, combate de plagas, etc., éstos obtienen, en condiciones de temporal, entre 25 y 30 t/ha.

Los países del hemisferio norte, con excepción de México, muestran rendimientos altos, debido a que los productores realizan las prácticas adecuadas de abonamiento, fertilización, riego, podas, combate de plagas y enfermedades, y forzamiento de la fructificación.

Los países del hemisferio sur presentan rendimientos variables, altos en plantaciones bien atendidas, y con apoyo de riego, y bajos en las plantaciones de temporal. En cuanto a producción, a pesar de los bajos rendimientos, dada su gran superficie, México presenta un volumen muy superior al de otros países. Sin embargo, en cuanto a exportación, otros países con menor superficie, menor producción y menor riqueza varietal exportan mayor volumen y a un mayor número de países. A continuación se presenta un breve análisis de la producción en cada país.

3.5.1. Italia

Italia produce con base en una sola especie (*O. ficus-indica*. L.) con tres variedades sin espinas, de las cuales la Amarilla ocupa el 90% del total (2,500 ha), la roja 8% y la blanca 2%, que en conjunto producen 50,000 t. De este volumen el 30% se consume en Sicilia, 40% en el resto de Italia y el 30% (15,000 t) se exporta.

En ese país la superficie de producción de tuna se concentra en la Isla de Sicilia (92.2%) y el resto (7.8%) en la Isla de Cerdeña y las provincias del sur de la Península. Italia posee una gran experiencia en el cultivo y exportación de tuna que data de inicios del siglo veinte. En ese país el nopal se cultiva en setos con distancias de 6 a 7 m entre hileras y de 2 a 3 m entre matas, formadas mediante la “siembra” de 3 a 4 pencas en círculo.

Se aplican de 3 a 4 riegos por temporada en láminas de 10 a 15 cm de agua, utilizando sistemas de riego por aspersión o por goteo. Se fertiliza con dosis de 150 a 180 kg de nitrógeno, de 100 a 120 kg de fósforo y de 60 a 80 kg de potasio. Se cultivan adecuadamente las plantaciones con medios mecánicos, manteniéndolas libres de maleza; se aclarea, dejando de 5 a 7 frutos por penca, se fuerza la fructificación (scozzolattura), que consiste en eliminar los frutos durante mayo y junio para provocar una segunda fructificación en una temporada más tardía y aprovechar la menor competencia con otros frutos tradicionales. Al realizar esta práctica se obtiene una

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

producción menor, pero frutos de mayor tamaño y de mejor calidad en una época en que se pagan mejores precios.

La cosecha se realiza con cuchillo, cortando un pequeño pedazo de penca (botón) adherido a la tuna, el cual se desprende entre los 7 y 10 días, dejando el fruto perfectamente cicatrizado.

El desespinado se realiza mecánicamente y la selección se lleva a cabo con seleccionadoras mecánicas que separan por peso.

Actualmente, Italia exporta tuna a Alemania, Francia, Bélgica y otros países europeos, a Estados Unidos y Canadá, a países del norte de África y del Cercano Oriente, y de manera importante a Arabia Saudita (Barbera e Inglesse, 1993).

En el verano de 1993 una sola empresa (León Fruta 88) de Catania, Sicilia, a media temporada había exportado 4,500 t a 10 países (Francia, Canadá, Bélgica, Arabia Saudita, Polonia, Checoslovaquia, Hungría, Alemania, Suiza y Holanda) y en toda la temporada más de lo que exporta México.

3.5.2. Israel

Israel, como Italia, produce con base en una sola variedad de *O. ficus-indica* L., de tuna color amarillo, denominada *Ofer*, que es una selección obtenida en Israel a partir de muchos otros cultivares introducidos. Cuenta con alrededor de 300 ha de cultivo comercial y una producción de 6,000 t, resultado del alto nivel tecnológico que se aplica, tanto en riego y fertilización como en forzamiento de la fructificación y de otras prácticas de cultivos. Los israelitas, aprovechando diferencias regionales, manipulan sus cultivares para obtener tuna durante casi todo el año, de la siguiente manera:

1. En los valles cálidos, donde la brotación se presenta en febrero y marzo, obtienen tuna en junio y julio.
2. En las colinas costeras realizan 4 tratamientos:
 - a. Para las brotación de marzo-abril aplican GA3 (ácido giberélico) con objeto de adelantar el periodo de maduración a principios de julio-principios de agosto.

- b. La brotación de marzo-abril sin tratamiento madura a finales de julio-finales de agosto.
 - c. La brotación de mayo a junio se fuerza para obtener maduración en septiembre y octubre.
 - d. Mediante fertirrigación, aplicando nitrógeno, fósforo y potasio, se induce una brotación en agosto-septiembre, que madura de noviembre a marzo.
3. En las Montañas, la brotación se da en abril y la tuna madura en septiembre, sin tratamiento alguno.

En Israel se produce comercialmente tuna desde hace 15 años, que se consume casi totalmente en los mercados locales. En los primeros años de los 90, Israel exportó a países europeos con base en su alto nivel tecnológico, que le permite producir tuna en invierno, cuando la oferta en el mercado de exportación es mínima y los precios son atractivos. En 1992 exportó 75 t y 60 en 1993 (Nerd, Aronson y Mizrahi, 1994). Los israelitas, aprovechando la tecnología desarrollada en otros países y generando tecnología propia, sobre todo en fertirrigación, han logrado extender su producción de tuna a 10 meses del año.

3.5.3. *Estados Unidos*

En Estados Unidos se produce tuna también con base en una sola variedad de *Opuntia ficus-indica* L., de pulpa roja, traída de Sicilia. En ese país se registran alrededor de 200 ha cultivadas en el valle de Salinas, en California, y se producen 4,000 t con alta tecnología de riego, fertilización, forzamiento y aclareo de la fructificación, de manera que su época de cosecha se extiende de octubre a marzo. Sus mercados se ubican en el noreste (Nueva York y Massachusetts), donde consume la tuna la población de origen italiano y de ahí exporta a Canadá, y en ocasiones esporádicas a Japón (Curtis, 1977; Russel y Felker, 1987). Además, Estados Unidos es un fuerte importador de tuna, recibe fruta de México, Chile, Italia y probablemente de Colombia, sin embargo, su consumo actual per cápita es mínimo, lo que es indicativo de que su mercado no está saturado. A la única empresa

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

productora de Estados Unidos (D'Arrigo Bros.) no le interesa concurrir al mercado cuando produce México, debido a que los precios son bajos. El manejo de sus huertos es sumamente sofisticado, de manera que ellos programan la maduración de la tuna por parcela.

3.5.4. *África del Sur*

El nopal fue introducido a este país en el siglo XVII, pero la industria de la producción de tuna comenzó en 1914 con la introducción de 21 variedades de nopal sin espinas del vivero Burbank de California, EE.UU. Actualmente cuenta con 1,500 ha de *O. ficus-indica* L. en cultivo intensivo y una producción estimada de 15,000 t, que en su mayor parte se consume en los mercados del país, en donde los precios de la tuna son semejantes a los de la manzana y del durazno, y superiores a los de la naranja. África del Sur ha exportado cantidades no especificadas a Inglaterra y Francia, aprovechando que su producción ocurre en el verano austral, de diciembre a marzo (Brutsch y Zimmermann, 1993), periodo que corresponde al invierno del hemisferio norte, por lo que la tuna llega al mercado en los meses en que la oferta local es mínima y las posibilidades de lograr precios atractivos son mayores.

3.5.5. *Chile*

En este país, la tuna que se cultiva es de la especie *Opuntia ficus-indica* L., que fue introducida desde los tiempos de la Colonia. Esta especie incluye tres variedades: a) blanca o plateada, de sabor dulce, cristalina, y es la que tiene mayor aceptación; b) amarilla, muy dulce y con gran cantidad de semillas, la planta de esta variedad se considera apropiada para producir cochinilla, y c) tuna roja, de mayor tamaño que las otras, delicada, más seca y arenosa, tiene aceptación en el mercado de exportación. Chile cuenta con una superficie ocupada con nopal de alrededor de 1,000 ha que producen anualmente sólo 8,000 t de tuna, pues se estima que únicamente 600 ha pueden considerarse bien atendidas, con apoyo de riego, fertilización, podas, raleo de frutos (dejan 8 a 10 frutos por penca). El rendimiento pro-

medio es de 8 t/ha, aunque Chile dispone de plantaciones con rendimientos de 15 a 20 t/ha (Sudzuki, 1993).

La cosecha se presenta en dos épocas: la de otoño, que es la más importante en volumen, se presenta en los meses de marzo y abril, y la otra, de menor volumen, denominada "inverniza", que se presenta en octubre (*Ibidem*).

Las exportaciones de tuna chilena se iniciaron en 1982 con el envío de 200 cajas (740 kg), y llegaron a un máximo en 1983, 336,950 kg. En el ciclo 1989-1990 Chile exportó 1,432 cajas (7,160 kg), y en el ciclo 1990-1991 exportó 4,521 cajas (22,605 kg). Los destinos de sus exportaciones han sido EE.UU., Suiza, Canadá, Bélgica, Holanda, Inglaterra, Italia, Kuwait, Austria, Alemania y México (vía EE.UU).

Recientemente se ha informado de un incremento en su demanda interna, con mejores precios que en el mercado de exportación, lo que ha provocado que disminuyan sus exportaciones y, a la vez, que algunas empresas y consorcios se hayan interesado en cultivar nopal tunero tanto para el mercado interno como el de exportación (SARH, 1991). Chile exportaba 30% de su producción, mientras que el 65% lo consumía en fresco y el 5% lo destinaba a la industria de jugos, que son ofrecidos como jugos de temporada en hoteles y restaurantes.

Los investigadores chilenos han desarrollado una línea de investigación sobre perspectivas agroindustriales de productos y subproductos de tuna que incluyen jugos, pulpas, néctares, mermeladas, tunas deshidratadas y confitadas, galletas, aceites, gomas y mieles.

Por su parte, los productores chilenos de tuna han aprovechado dos cosas:

1. Producen tuna en su verano austral, es decir, en los meses de invierno del hemisferio norte, por lo que concurren al mercado externo casi sin competencia.
2. El "boom" frutícola chileno, con el que han desarrollado tecnología de producción, transporte, red de frío y comercialización,

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

de manera que han ingresado con sus frutas a los mercados de países del norte durante los meses de invierno de este hemisferio.

3.5.6. Argentina

En ese país el nopal se cultiva para forraje desde principios de siglo y la tuna producida en estas plantaciones (10,000 ha) es utilizada por la población local como fruta de temporada y para la elaboración de mermeladas (arope). La zona de producción se encuentra en el noroeste de Argentina, en las provincias de Córdoba, La Rioja, Santiago del Estero y San Juan. Actualmente existen en Argentina 500 ha de plantaciones especializadas en producción de tuna, donde domina una variedad sin espinas de color amarillo, en un 90%; también existen otros tipos de color rojo anaranjado o rosado, que son menos aceptados porque tienen espinas y su sabor es poco apetecible.

La producción se realiza bajo riego, con fertilización y podas. Se cosechan 2,000 t durante el verano austral, de diciembre a abril, que se comercializan en los mercados locales y en el mercado central de Buenos Aires, en cajas de madera o cartón con capacidad de 6 kg. Los precios por caja varían de 10 a 12 dólares durante febrero y decrecen hasta 8 dólares de marzo a abril, en tanto que los precios al público varían de un máximo de 4 dólares a un mínimo de 2.5 por kilogramo.

Se considera que el mercado interno está insatisfecho, a pesar de que en parte es abastecido por los productores chilenos, y que el potencial de plantación de nopal tunero es de 10,000 ha (Ochoa, 1995b). Argentina tiene potencial como exportador, debido a que produce en el verano austral y puede concurrir a los mercados del hemisferio norte.

3.5.7. Colombia

En el departamento de Antioquia en el valle de Cauca existen 150 hectáreas de nopal tunero, con cuya producción concurre a los mercados de Alemania, Inglaterra y Japón.

3.6. El mercado de la tuna en México

3.6.1. Zonas de producción

En México existen tres zonas productoras de tuna: La sur, integrada por el estado de Puebla; la centro, conformada por los estados de México e Hidalgo, y la centro-norte, con los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí y Zacatecas. Existen pequeñas superficies dispersas en otros estados que también producen tuna, pero en baja escala.

Las características de las tres principales zonas de producción se presentan en el Cuadro 3.12.

Cuadro 3.12. Características de producción de tuna de las tres zonas principales de México

Características	ZONA		
	Puebla	México-Hidalgo	Centro-Norte
Sistemas	Semi-intensivo	Intensivo	Extensivo
Suelos:	Cambisoles	Feozem	Xerosol, Feozem y Plañoslo
Tipo	Regosoles	Vertisol	
Textura	Arenosa a Franco	Media con duripán	Media a ligeramente arcillosa
Profundidad	>50 cm	20 a 100 cm	20 a 80 cm
pH	Acido	Acido a ligeramente alcalino	Acido a ligeramente alcalino
Precipitación media anual (mm)	600 a 750	400 a 700	350 a 500
Temperatura media anual (°C)	13 a 15	14 a 18	16 a 18
Periodo de heladas	No hay	Noviembre a enero	Octubre a marzo
Fisiografía	Ladera y plano	Plano y ladera	Plano y ladera
Variedad de tuna	Villanueva	Alfajayucan	Burrona, Montesa, Cristalina, Picochulo, Roja pelona y Pepina.
Época de cosecha	Abril a agosto	Julio a septiembre	Agosto a octubre
Rendimientos (t/ha)	15 a 25	10 a 15	3 a 15
Nivel de manejo			
a) del suelo	Alto	Medio	Bajo
b) de la planta	Medio	Alto	Bajo
c) densidad de la plantación	Alto	Alto	Bajo
Nivel de uso:			
a) de insumos	Medio	Alto	Bajo
b) de materia orgánica	Medio	Alto	Bajo
c) de maquinaria	Bajo	Bajo	Alto
Otros:			
Tamaño de huerto (ha)	>2	< 5	3 a 200
Tipo de tenencia	Ejidal y pequeña propiedad	Pequeña propiedad y ejido	Pequeña propiedad y ejido

Fuente: Mondragón (1992), con modificaciones del autor.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En el citado cuadro se observa que existe una mayor precipitación pluvial en Puebla, intermedia en los estados de México e Hidalgo y menor en la región centro-norte, y que las temperaturas medias anuales son menores en Puebla, intermedias en los estados de México e Hidalgo y superiores en la región centro-norte. Asimismo, que los rendimientos son superiores en Puebla, intermedios en los estados de México e Hidalgo e inferiores en la región centro-norte.

3.6.2. Oferta

Volumen de producción

Las superficies, rendimientos medios y producción de tuna por región y estado, se muestran en el Cuadro 3.13.

Cuadro 3.13. Superficie, rendimientos medios y producción de tuna por estado, en las principales zonas productoras de México, 2002

Zona y estado	Superficie (ha)	Rendimiento (t/ha)	Producción toneladas (t)
Sur: Puebla	3,500	20.00	70,000
Centro:			
México	15,000	10.00	150,000
Hidalgo	10,000	7.50	75,000
Centro-Norte:			
Zacatecas	16,000	6.00	96,000
San Luis Potosí	12,000	5.00	60,000
Guanajuato	3,000	3.00	9,000
Jalisco	2,000	4.00	8,000
Aguascalientes	1,000	1.50	1,500
Suma	34,000	5.13	174,500
Estados dispersos			
Nuevo León	2,000	3.00	6,000
Durango	2,000	2.00	4,000
Querétaro	2,000	2.00	4,000
Tamaulipas	1,000	2.00	2,000
Coahuila	1,000	1.00	1,000
Oaxaca	700	5.00	3,500
Guerrero	300	1.00	300
Sinaloa	270	1.00	270
Tlaxcala	200	5.00	1,000
Veracruz	80	1.00	80
Baja California	60	1.00	60
Otros	390	1.00	390
Suma	10,000	2.00	20,000
TOTALES	72,500	6.75	489,500

Fuente: Elaborada por el autor con base en información de los DDR y productores.

Época de producción

En México se presentan dos problemas relacionados con la época de producción de tuna, el primero es que a pesar de que se cosecha desde marzo hasta noviembre, la mayor parte, casi el 90%, se cosecha en tres meses: julio, agosto y septiembre.

El segundo problema reside en que la tuna debe competir con las otras frutas (uva, manzana, durazno, mango, guayaba) que se cosechan en México en la misma época, lo que provoca que a finales de junio bajen los precios de la tuna.

3.6.3. Demanda

La demanda de tuna en México es diferente por región: es alta en los estados del centro, menor en los estados del norte y en los estados del sur y sureste, casi nula.

En cuanto a la oferta, se considera que debido a la apertura comercial casi todas las frutas se encuentran en el mercado nacional los doce meses del año, pues cuando en el país no hay producción de alguna fruta ésta se importa de EE.UU., Chile, Nueva Zelanda o de Europa. De esta manera los consumidores disponen todo el año de casi todas las frutas, pero no es el caso de la tuna, por lo que es importante que se pudiera producir todo el año en México.

3.6.4. Precios

En este apartado se analizan los precios nominales y reales de la tuna en los tres principales mercados del país: Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey. De la serie de Cuadros 3.14–3.19, donde se muestran estos precios para los tres mercados, se destacan tres aspectos:

- 1) El corto tiempo de la oferta de tuna. En México se cosechan tunas desde marzo hasta diciembre (10 meses), los mayores volúmenes de cosecha se concentran en pocos meses. En el Distrito Federal, en la mayoría de los años, la oferta de tuna es de julio a octubre; en Guadalajara, de junio a octubre, y en Monterrey de julio a noviembre. El Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados de la Secretaría de Eco-

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

nomía no reporta volúmenes comercializados, pero en los primeros y los últimos meses del periodo de oferta los volúmenes son mucho menores que en el periodo intermedio.

Cuadro 3.14. Precios nominales mensuales de tuna en la Central de Abasto del Distrito Federal, 1989-2002 (\$/kg)

<i>Año</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Promedio</i>
1989	---	---	1.10	0.90	1.43	1.14
1990	---	1.09	0.75	0.96	1.38	1.05
1991	---	1.44	1.00	1.74	---	1.39
1992	---	1.79	1.00	1.19	2.31	1.57
1993	2.34	1.88	0.94	1.46	2.00	1.72
1994	1.88	0.93	0.73	1.25	---	1.20
1995	---	1.57	1.14	1.91	---	1.54
1996	---	1.55	1.61	1.61	2.08	1.71
1997	---	1.59	1.29	1.83	2.33	1.76
1998	---	1.93	2.05	3.13	---	2.37
1999	---	3.03	1.72	2.29	3.55	2.65
2000	---	2.33	2.08	3.76	5.44	3.40
2001	---	3.19	2.37	3.54	---	3.03
2002	4.80	4.02	2.72	3.00	---	3.64

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

Cuadro 3.15. Precios reales mensuales de tuna en la Central de Abasto del Distrito Federal, 1989-2002 (\$/kg; base 2002=100)

<i>Año</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Promedio</i>
1989	---	---	8.25	6.69	10.47	8.67
1990	---	6.49	4.39	5.54	7.85	6.30
1991	---	7.03	4.85	8.35	---	6.80
1992	---	7.56	4.20	4.95	9.55	6.65
1993	9.06	7.24	3.60	5.55	7.58	6.64
1994	6.81	3.35	2.62	4.45	---	4.33
1995	---	4.05	2.89	4.74	---	4.12
1996	---	3.05	3.13	3.08	3.93	3.40
1997	---	2.61	2.10	2.94	3.72	2.90
1998	---	2.75	2.89	4.34	---	3.37
1999	---	3.69	2.08	2.74	4.23	3.23
2000	---	2.60	2.31	4.14	5.95	3.79
2001	---	3.36	2.48	3.67	---	3.18
2002	4.80	4.01	2.70	---	---	3.64

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

Cuadro 3.16. Precios nominales mensuales de tuna en la Central de Abasto de Guadalajara, Jalisco, 1989-2002 (\$/kg)

Año	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio
1989	---	---	---	1.20	1.00	1.25	1.15
1990	---	1.03	1.03	1.14	1.05	0.75	1.00
1991	1.77	1.57	1.00	1.24	0.78	---	1.27
1992	---	1.76	0.97	0.96	1.02	1.20	1.18
1993	---	1.52	1.07	1.03	0.80	---	1.11
1994	1.44	1.07	0.69	0.89	0.88	---	0.99
1995	---	1.57	1.25	1.22	---	---	1.35
1996	2.38	1.69	1.57	1.47	1.31	---	1.68
1997	---	2.40	1.43	1.60	2.15	---	1.90
1998	2.89	2.07	1.83	3.47	---	---	2.57
1999	6.10	3.85	3.15	1.89	4.33	---	5.92
2000	4.80	3.09	2.11	3.16	4.32	---	3.50
2001	3.43	2.63	1.79	2.20	---	---	2.51
2002	3.60	3.10	2.55	2.70*	---	---	2.24

* Sólo dos semanas de septiembre de 2002.

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

Cuadro 3.17. Precios reales mensuales de tuna en la Central de Abasto de Guadalajara, Jalisco, 1989-2002 (\$/kg; base 2002=100)

Año	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio
1989	---	---	---	8.91	7.32	9.02	8.74
1990	---	6.13	6.03	6.58	5.98	4.16	6.00
1991	8.72	7.67	4.85	5.95	3.70	---	6.22
1992	---	7.44	4.07	4.00	4.22	4.92	5.00
1993	---	5.85	4.10	3.92	3.03	---	4.29
1994	5.22	3.86	2.48	3.17	3.12	---	3.57
1995	---	4.05	3.17	3.03	---	---	3.61
1996	4.75	3.32	3.05	2.81	2.47	---	3.34
1997	---	3.94	2.33	2.57	3.43	---	3.13
1998	4.15	2.95	2.58	4.82	---	---	3.66
1999	7.47	4.68	3.81	2.26	5.16	---	7.23
2000	5.37	3.45	2.34	3.48	4.72	---	3.90
2001	3.60	2.77	1.87	2.28	---	---	2.63
2002	3.60	3.09	2.54	2.68*	---	---	2.22

* Sólo dos semanas de septiembre de 2002.

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Cuadro 3.18. Precios nominales mensuales de tuna en la Central de Abasto de San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 1989-2002 (\$/kg)

<i>Año</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>	<i>Promedio</i>
1989	---	2.40	1.21	0.84	1.01	1.24	---	1.34
1990	2.16	1.77	1.27	1.39	1.61	---	---	1.64
1991	---	1.89	1.50	1.71	1.53	---	---	1.66
1992	---	2.39	1.51	1.39	1.36	1.60	1.40	1.61
1993	---	2.09	1.46	1.41	1.25	1.24	1.67	1.52
1994	2.98	1.86	1.36	1.33	1.80	---	---	1.87
1995	---	1.96	1.49	1.28	1.42	1.71	1.80	1.61
1996	---	2.26	1.86	1.96	2.50	3.20	---	2.36
1997	4.13	2.27	1.67	1.72	1.76	1.90	---	2.24
1998	3.80	2.24	2.29	3.03	3.25	---	---	2.92
1999	---	4.64	1.96	2.34	3.08	---	---	3.01
2000	5.30	3.13	2.29	3.20	4.80	---	---	3.74
2001	---	5.53	4.93	4.19	---	---	---	4.88
2002	---	3.79	2.79	2.15	---	---	---	2.91

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

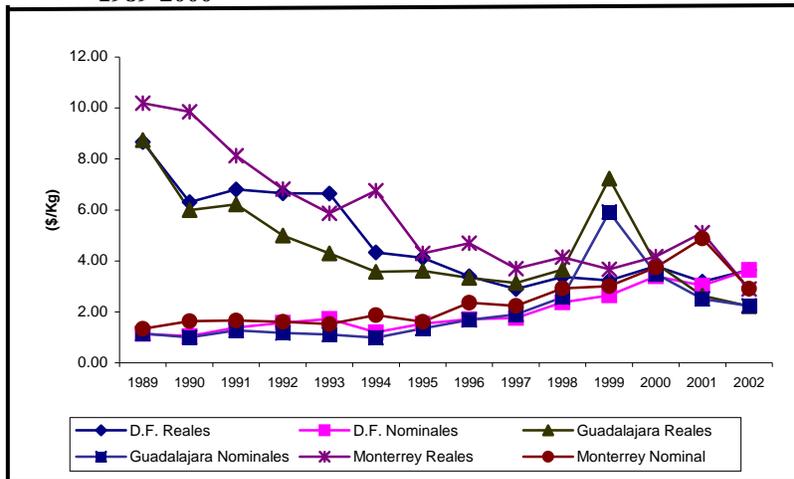
Cuadro 3.19. Precios reales mensuales de tuna en la Central de Abastos de San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 1989-2002 (\$/kg; base 2002=100)

<i>Año</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>	<i>Promedio</i>
1989	---	18.17	9.08	6.24	7.39	8.95	---	10.19
1990	13.10	10.54	7.44	8.03	9.16	---	---	9.80
1991	---	9.23	7.27	8.21	7.26	---	---	8.10
1992	---	10.10	6.34	5.79	5.62	6.56	5.66	6.80
1993	---	8.05	5.59	5.36	4.73	4.68	6.25	5.80
1994	10.79	6.71	4.88	4.74	6.38	---	---	6.70
1995	---	5.05	3.78	3.18	3.46	4.06	4.14	4.30
1996	---	4.45	3.61	3.75	4.72	5.95	---	4.70
1997	6.85	3.73	2.72	2.77	2.81	3.00	---	3.70
1998	5.46	3.19	3.23	4.21	4.45	---	---	4.10
1999	---	5.65	2.37	2.80	3.67	---	---	3.60
2000	5.93	3.49	2.54	3.52	5.25	---	---	4.10
2001	---	5.82	5.16	4.35	---	---	---	5.10
2002	---	3.78	2.77	2.15	---	---	---	2.90

Fuente: Secretaría de Economía, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIM).

- 2) La curva de columpio que presentan los precios de la tuna. En todos los mercados, los precios al inicio y final de la temporada son más altos, y en plena temporada bajan drásticamente.
- 3) Los precios nominales promedio para la tuna se han incrementado de 1989 a 2002 en todos los mercados, sin embargo, en términos de precios reales se observa que cada vez los productores reciben menos por kilogramo de tuna (Figura 3.1).

Figura 3.1. Precios nominales y reales, promedios anuales, de tuna por kilogramo en tres centrales de abasto del país, 1989-2000



Fuente: Elaborado por el autor.

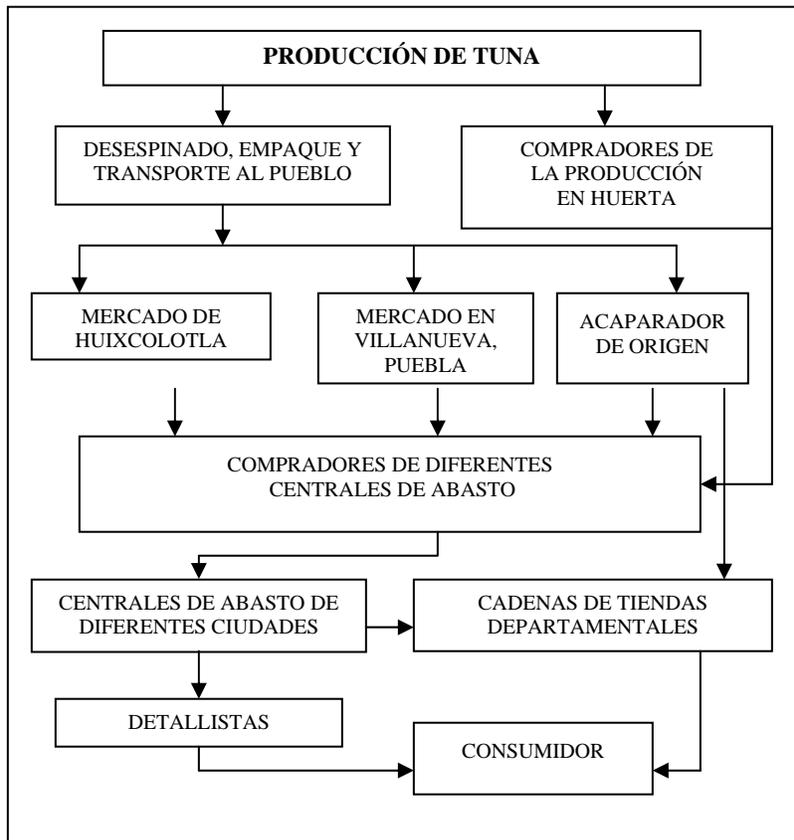
3.6.5. Canales de comercialización

La comercialización de tuna, al igual que otras frutas en México, tiene una cadena de comercialización que incluye demasiados intermediarios, lo que resulta en precios bajos al productor y precios altos al consumidor. Son mínimos los productores individuales u organizados que participan activamente en la comercialización de su producción de tuna, la mayoría la vende en la huerta o en el merca-

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

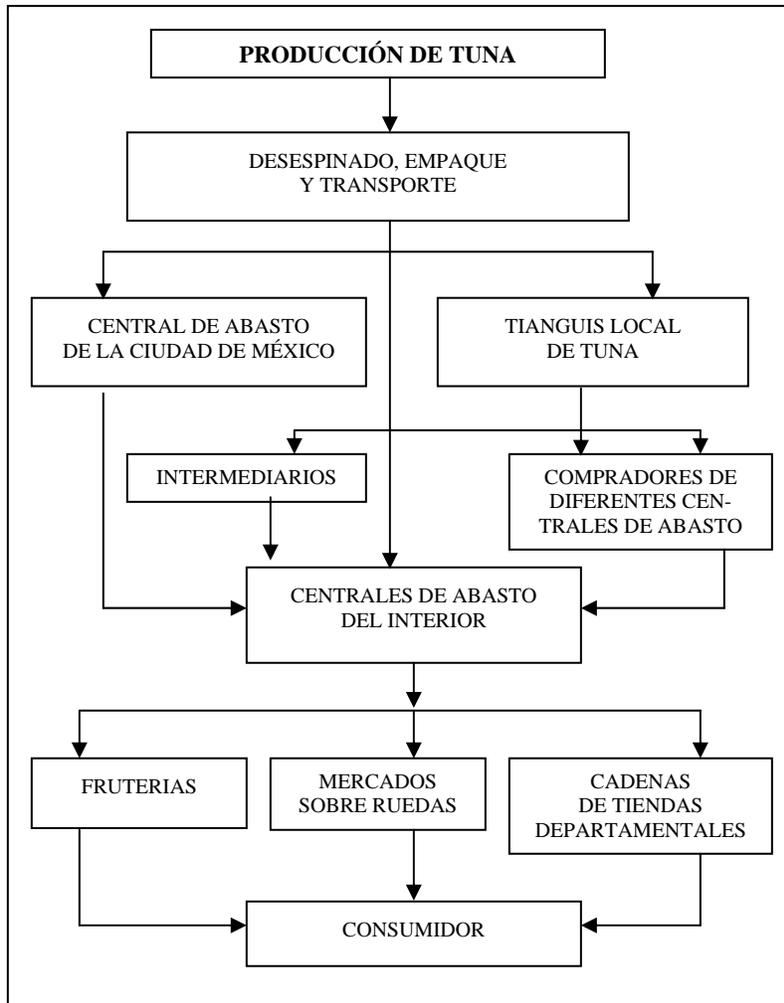
do local. En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los canales de comercialización de la tuna en las tres principales regiones productoras.

Figura 3.2. Canales de comercialización de la producción de tuna de Villanueva, Puebla



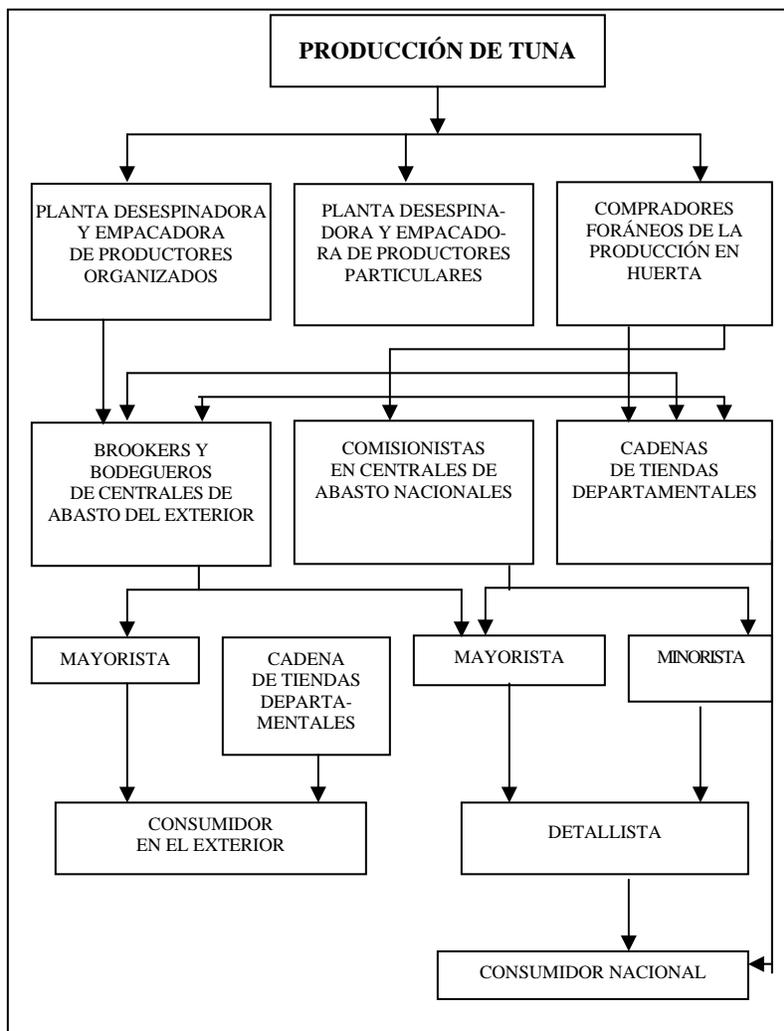
Fuente: Elaborado por el autor con base en investigación de campo.

Figura 3.3. Canales de comercialización de la producción de tuna en la región de las pirámides, estado de México



Fuente: Elaborado por el autor con base en investigación de campo.

Figura 3.4. Canales de comercialización de la tuna en la región centro-norte de México



Fuente: Elaborado por el autor con base en investigación de campo.

3.7. Exportación de tuna mexicana

3.7.1. Volumen y valor de las exportaciones

En el Cuadro 3.20 se presentan los volúmenes de las exportaciones mexicanas de tuna por país de destino para el periodo 1991-1997.

Cuadro 3.20. Volumen de las exportaciones mexicanas de tuna por país de destino (t)

<i>País de destino</i>	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Alemania, Rep. Fed de	0	0.012	0	0.010	0	0	0
Belice	0	0	0.040	0	0	0	0
Brasil	0.020	0	0	0	0	0	0
Canadá	65.723	189.260	30.557	33.6	30.3	103.4	141.4
España	0	0	0	0	0	8.0	9.5
Estados Unidos	867.515	1,396.515	1,837.923	2,062.010	3,562.2	4,343.3	6,271.1
Francia	0	0.941	0.830	0.685	1.2	25.0	8.4
Japón	1.863	0.305	0.974	1.352	0.7	51.9	65.6
Reino Unido (nc.-Canal.Islas)	0	0	0	0.010	0	1.1	2.6
Otros	0	0	0	0	0	0.2	4.5
Total	935.121	1,587.033	1,870.324	2,097.7	3,594.4	4 532.9	6,503.1

Fuente: BANCOMEXT (varios años).

Cuadro 3.21. Valor de las exportaciones de tuna mexicana por país de destino, 1992-1995 (US/kg)

<i>País de destino</i>	1991	1992	1993	1994	1995
Alemania, Rep. Federal de	0	0.007	0	0.016	0
Belice	0	0	0.080	0	0
Brasil	0.2	0	0	0	0
Canadá	44.9	157.9	39.7	37.0	21.9
Estados Unidos	462.3	700.8	870.7	999.6	391.6
Francia	0	1.7	1.7	1.7	1.5
Japón	16.7	1.2	3.1	5.9	0.894
Reino Unido (nc.-Canal.Islas)	0	0	0	0.016	0
Suiza	0	0	0	0	0.011
Total	523.129	861.446	915.286	1 044.193	415.931

Nota: Las exportaciones de 1995 son sólo hasta septiembre de 1995.

Fuente: BANCOMEXT (varios años).

En el cuadro anterior se puede ver que el valor de las exportaciones de tuna de México a Estados Unidos para el año de 1995 representó 94.16% de total y para Canadá 5.27%.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En el Cuadro 3.22 se presenta el valor promedio de las exportaciones de tuna por país de destino para el periodo 1991-1995.

Cuadro 3.22. Valor promedio de las exportaciones de tuna mexicana por país de destino (US\$/kg)

<i>País de destino</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania, Rep. Fed de	0.00	0.58	0.00	1.60	0.00
Belice	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
Brasil	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Canadá	0.68	0.83	1.30	1.10	1.44
Estados Unidos	0.53	0.50	0.47	0.48	0.52
Francia	0.00	1.75	2.06	2.50	2.01
Japón	8.41	3.79	3.18	4.39	3.48
Reino Unido (nc.-Canal Islas)	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00
Suiza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
Total	0.56	0.54	0.49	0.50	0.55

Nota: Las exportaciones de 1995 son sólo hasta septiembre de 1995.

Fuente: BANCOMEXT (varios años).

En el citado cuadro puede notarse que el país al que México exportó la mayor cantidad de tuna (96%), es al que paga más barato (0.52 dólares por kilogramo) mientras que al que paga más caro, que es Japón (3.48 dólares por kilogramo), prácticamente no exportó en el periodo considerado.

3.7.2. Regulaciones arancelarias para la tuna en el TLCAN

Con la aprobación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, México resultó beneficiado con respecto a la tuna, como se puede constatar en el Cuadro 3.23.

Las diferentes fracciones arancelarias con que se puede comercializar la tuna (fresca, en conserva o procesada), aparecen en cada celda del cuadro: la clave de la fracción, el nombre, el impuesto que tenía (abajo a la izquierda) y la situación arancelaria en que quedó después de aprobar el Tratado (abajo a la derecha).

Cuadro 3.23. La tuna en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte

Fracción Arancelaria	Concepto	Exportaciones		Importaciones	
		a EE.UU.	a Canadá	de EE.UU.	de Canadá
08.10	Los demás frutos frescos	08.10.90.40 Otros 3.4% B	08.10.90.90 Otros Free D	08.10.90.99 Los demás 20.0% A	08.10.90.99 Los demás 20.0% A
08.11	Frutos sin cocer o cocinados con agua o vapor, con o sin adición de azúcar u otros edulcorantes.	08.11.90.80 Otros 17% B	08.11.90.90 Otros 5% B	08.11.90.90 Los demás 20.0% A	08.11.90.99 Los demás 20.0% A
08.12	Frutos y nueces provisionalmente preservados pero no aptos para su consumo inmediato	08.12.90.90 Otros US\$0.2 kg A	08.12.90.10 Prickly pears Free D	08.02.90.99 Los demás 20.0% A	08.12.90.99 Los demás 20.0% A
20.06	Frutos, nueces, cortezas de frutos y otras partes de plantas preservadas con azúcar (almibares, glaseadas y cristalizadas)	20.06.00.90 Otros 20% A	20.06.00.90 Otros Free D	20.04.90.99 Los demás 17.5% C	20.06.00.01 Los demás 20.0% B
20.07	Confituras, jaleas, mermeladas, purés y pastas de frutos obtenidos con adición de azúcar u otros edulcorantes.	20.07.99.75 Otros 7% A	20.07.99.90 Otros 5% B	20.07.10.01 Los demás 20.0 20.07.99.01 .02 .03(para diabéticos) 20.0% A	20.07.10.01 Los demás 20.0 20.07.99.01 .02 .03 (para diabéticos) 20.0% A
20.08	Frutos, nueces y otras partes de plantas preparados o conservados de otra forma, incluso con adición de azúcar, de otros edulcorantes o de alcohol, no expresados ni comprendidos en otra parte.	20.08.99.90 Otros 7% A	20.08.92.10 Prickly pear Free D	20.08.99.99 Los demás 20.0% B	20.08.99.99 Los demás 20.0% B
20.09	Jugos de frutas o vegetales no fortificados con vitaminas o minerales, no fermentados y sin alcohol, con o sin adición de azúcar u otro edulcorante, no expresado ni comprendido en otra parte	20.09.80.60 Otros 0.8 cent/kg A	20.09.08.01 Otros 5% B	20.09.08.01 Los demás 20.0% B	20.09.08.01 Los demás 20.0% B

Fuente: SECOFI (1994a, b y c).

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

En México, las exportaciones de tuna más importantes son a Estados Unidos como fruta fresca (fracción 08.10.90.40), la cual tenía un impuesto de 3.4% *ad valorem* y pasó, con la firma del Tratado, a un código de desgravación B, que implica que a partir del 1° de enero de 1998 tiene tasa cero de arancel. El calendario de desgravación fue el siguiente:

Año	Arancel
1994	2.72
1995	2.04
1996	1.36
1997	0.68
1998	0.00

Para Canadá, las exportaciones de tuna estaban libres de impuesto y así continuaron con el TLCAN.

Las categorías de desgravación se expresan mediante los siguientes códigos:

CODIGO A:	Desgravación inmediata. Los bienes comprendidos en la fracción arancelaria correspondiente quedarán libres de arancel a partir de la fecha de inicio de la vigencia del TLCAN (1° de enero de 1994).
CODIGO B:	Desgravación en cinco etapas anuales iguales, comenzando el 1° de enero de 1994, de tal manera que el producto en cuestión quede libre de arancel el 1° de enero de 1998.
CODIGO C:	Desgravación en diez etapas anuales iguales, comenzando el 1° de enero de 1994, de tal manera que el producto en cuestión quede libre de arancel a partir del 1° de enero de 2003.
CODIGO D:	Este Código indica que el producto se encontraba libre de arancel cuando se llevó a cabo la negociación, situación que se consolidará para todos los bienes originarios a partir de la entrada en vigor del Tratado, prevista para el 1° de enero de 1994.

3.7.3. Nombres de la tuna en diferentes países

En el Cuadro 3.24. aparecen los nombres que recibe la tuna en diferentes países.

Cuadro 3.24. Nombres de la tuna en diferentes países

<i>País</i>	<i>Nombre de la tuna</i>
EE.UU.	Prickly pear Cactus pear Cactus fruit (Economic Research Service USDA)
ITALIA Sicilia Cerdeña	Fico d'India Figo morisca
FRANCIA	Fig della barbarie
ESPAÑA	Higo Chumbo
CHILE	Tuna
ÁFRICA DEL SUR	Cactus pear Turksupurug
ISRAEL	Tzabar
ALEMANIA	Kaktusfeigen

Fuente: Flores *et al.* (1997).

Como se observa en el Cuadro 3.24, muchos de los nombres que recibe la tuna en diversos países son despectivos, por ejemplo, traducidos al español: en Estados Unidos, se llama “pera espinosa”; en Italia, “higo de india” o “higo de los moros”; en Francia, “higo de los bárbaros”, y en casi todos los demás “pera de cactus” o “fruto de cactus”. De cualquier manera, en el extranjero no se debe usar el término “tuna”, sobre todo en países de habla inglesa, para evitar confusión con la voz “tuny”, que significa atún.

3.8. Matriz DAFO de la tuna

La Matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) es una técnica que permite analizar de manera sucinta la situación de un sistema-producto a escala nacional e internacional y en consecuencia enumerar sus ventajas y desventajas.

Matriz DAFO

	<i>Ámbito</i>	
	<i>Nacional</i>	<i>Internacional</i>
Desventajas	Debilidades	Amenazas
Ventajas	Fortalezas	Oportunidades

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

A continuación se precisan las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la producción de tuna en México, que se definieron en el momento en que se desarrolló la Matriz (2000).

3.8.1. *Debilidades*

- Variedades con cáscara y pulpa blanca.
- Variedades espinosas.
- En el sur y centro del país, densidades de plantación inadecuadas (4 x 4m) para la mecanización del cultivo.
- Cultivo de temporal en zonas con heladas tardías y tempranas.
- Concentración de la producción en pocos meses.
- Desatención de las huertas (cultivos, podas, abonado, fertilización, combate de plagas y enfermedades, aclareo, forzamiento de la fructificación, etcétera).
- Desespinado manual y mecánico con diferentes calidades.
- Empaque poco estandarizado.
- Comercialización deficiente.

3.8.2. *Amenazas*

- Producción con mayor tecnificación en otros países (Italia, Sudáfrica, Israel, Chile, Argentina, EE.UU.).
- Desarrollo de la producción de tuna en otros países (Colombia, Perú, Bolivia, España, Marruecos, Túnez, Argelia, Libia, Siria, Jordania, Egipto, etc.).

3.8.3. *Fortalezas*

- Gran riqueza de variedades, que implican tunas de colores diversos (blancas, rojas, amarillas, anaranjadas, etc.) y ausencia de espinas.
- Conocimiento de la producción de parte de los productores y los técnicos.
- Posibilidades de producir doce meses al año.

- Organización de los productores (Consejo Mexicano del Nopal y la Tuna).
- Menores costos de producción que en otros países.
- Posibilidad de producir tuna sin semilla.

3.8.4. Oportunidades

- Un mercado en expansión para frutales novedosos.

3.9. Propuesta de un programa para el desarrollo de la cadena agroalimentaria de la tuna

El objetivo debe ser que México se convierta en líder del mercado internacional de la tuna.

Para lograr este objetivo son necesarias 3 condiciones (Flores, 1999):

1. Se requiere implementar un programa de desarrollo a largo plazo. Los países que son líderes mundiales en un producto (Colombia, en café; Brasil, en cítricos; Nueva Zelanda, en kiwi; Holanda, en ornamentales, etc.), les ha llevado varias décadas lograrlo.
2. El programa de desarrollo deberá contemplar y fortalecer todas las fases del sistema producto: producción, cosecha, desespinado, empaque, comercialización, mercadotecnia, industrialización y organización. Si alguna de las fases no fuera atendida se constituiría en un eslabón débil de la cadena que podría hacer fracasar al programa.
3. El programa de desarrollo requiere de la participación decidida, continua y comprometida de productores, comercializadores, investigadores y funcionarios de gobierno.

Para que los productores mexicanos se conviertan en líderes del mercado mundial de la tuna se requiere: a) producir lo que el comprador demanda; b) producir fruta de calidad; por último, c) producir con costos competitivos.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Los objetivos y estrategias para cada fase de la cadena agroalimentaria se presentan a continuación, tal y como fueron desarrollados por Flores *et al.* (1997).

3.9.1. Objetivos y estrategias para incrementar la producción de tuna

Objetivos

Se parte del objetivo general de incrementar los ingresos de productores y sus familias en el medio rural, así como generar empleos y divisas para el país. Los objetivos específicos serían los siguientes:

- Incrementar los rendimientos en 60% en cinco años, para aumentar el promedio nacional a 10 t/ha.
- Disminuir el uso de abonos, complementándolos adecuadamente con fertilizantes químicos.
- Uso de pesticidas con menor efecto residual y de menor costo.
- Manipular la época de cosecha, adelantándola y retrasándola para producir fuera de temporada.
- Desarrollo de maquinaria y equipo adecuados para la producción y manejo de la tuna.
- Desarrollar métodos de evaluación económica para determinar el impacto de las innovaciones tecnológicas en los costos y la rentabilidad del cultivo, a escala regional, nacional e internacional.
- Realizar estudios para desarrollar mercados. Estos estudios serán los que retroalimenten las actividades en los otros aspectos de la investigación.

Estrategias

- Transferencia tecnológica. Hay que ampliar y fortalecer los servicios de asistencia técnica que permitan establecer el puente entre las universidades y los institutos de investigación y los productores. Estas tareas no las pueden desempeñar los productores ni los que se dedican a investigar.

- Aplicación de paquetes tecnológicos. Existen paquetes tecnológicos desarrollados por las universidades e institutos de investigación que no han sido adoptados por la gran mayoría de los productores. Para la introducción de nuevas prácticas en mayor cantidad y en el tiempo adecuado (por ejemplo, realizar el abonado y la fertilización, la poda, el combate de plagas y enfermedades y la cosecha adecuadamente), se propone intensificar las actividades de promoción en la región centro-norte, donde se supone habrá mayor receptividad por parte de los productores y sus organizaciones.
- Rehabilitación de plantaciones. Dadas las condiciones actuales de producción y mercado, la estrategia más aconsejable es la rehabilitación de las plantaciones existentes en vez de establecer plantaciones nuevas. Esto es válido en la totalidad de las zonas productoras, aunque con mayor significado en la región centro-norte. Se propone rehabilitar 45,000 ha en todo el país. La estrategia sería iniciar con 3,000 ha el primer año y el incremento anual lo irá fijando el crecimiento futuro de la demanda del producto.
- Financiamiento. Se requiere establecer líneas de crédito para rehabilitar y establecer plantaciones, y para el avío de la producción anual. La aplicación de estos recursos debe hacerse en función de la rentabilidad esperada de los proyectos e induciendo paralelamente la introducción de nuevas tecnologías.
- Organización de productores. Se requiere promover y consolidar organizaciones eficientes y eficaces, que sean honestas y que promuevan el desarrollo tecnológico, los mercados y la exportación. Las organizaciones deben consolidarse a través de estructuras de operación adecuadas, contando con el personal profesional que se requiera para el cumplimiento cabal de las funciones de las organizaciones.
- Información. Es necesario desarrollar todo un sistema de información sobre superficies de producción, de productores e infraestructura, de tecnologías disponibles, mercados, precios

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

en México y en el mundo, y ponerlo a disposición de productores, comercializadores, investigadores y funcionarios públicos.

3.9.2. Objetivos y estrategias para mejorar la eficiencia del proceso de industrialización de la tuna

Objetivos

- Mejorar los procesos de desespinado y empaque del producto.
- Ampliar y estandarizar los procesos de industrialización de la tuna.
- Desarrollar técnicas de conservación en fresco, para ampliar la temporada de oferta.
- Mejorar la presentación del producto procesado.

Estrategias

- Para el mejoramiento de los procesos de desespinado y empaque de la tuna se propone promover la eliminación parcial o total de los aguates, preferentemente desde poco antes de la cosecha (por métodos químicos), con lo cual, de lograrse, se tendrían enormes ventajas, tanto de manejo del producto en poscosecha como de su calidad final. También sería recomendable mejorar el proceso de desespinado en poscosecha. Esto primeramente se lograría promoviendo el desespinado mecánico a nivel general y paralelamente recomendar que se hagan los cambios y ajustes necesarios a las máquinas que ya existen y, con base en las experiencias anteriores, promover el desarrollo de nuevas máquinas con un mejor diseño (preferentemente ingenieril). Por otro lado, se propone combinar la acción de desespinado con una de preenfriamiento (aire frío forzado) técnica muy efectiva y ampliamente usada en otras frutas, que se aplica después de la cosecha para la eliminación inmediata del calor de campo en el producto, con lo cual se logra abatir considerablemente su perecibilidad. La acción del aire frío tendría además el efecto mecánico necesario para remover parcial o totalmente los aguates.

- Ampliar los procesos de industrialización de la tuna. Como alternativas para el procesamiento industrial de la tuna, entre otras cosas se propone desarrollar las nuevas tecnologías existentes, como precortado y procesamiento mínimo, que ya han probado su éxito, además de su amplia aplicación en otros productos hortofrutícolas (col, zanahoria, lechuga, etc.) en países como Estados Unidos. La extracción de jugo de tuna es una gran opción que se puede desarrollar, porque el jugo presenta ventajas para el consumidor, ya que evita el riesgo de los aguates y la incomodidad que representan la cáscara y las semillas del fruto fresco en el consumo de éste. Los problemas de clarificación y estabilidad del jugo pueden resolverse. Al mismo tiempo es factible desarrollar el producto (jugo) con una nueva presentación: concentrado y congelado.
- Desarrollar técnicas de conservación de la tuna para ampliar la temporada de oferta. Se propone aplicar y mejorar las técnicas de frigoconservación y del almacenamiento refrigerado en atmósferas controladas o modificadas, con lo cual se tienen mayores ventajas y posibilidades de éxito en la comercialización, al ofrecer la tuna en los meses en que no hay oferta, además de que se obtiene un producto de mejor calidad. El fruto de la tuna es susceptible a daños por frío, lo que implica buscar, mediante investigación, las temperaturas y periodos de frigoconservación idóneas para cada variedad. De cualquier manera, no se pueden almacenar las tunas a menos de 8°C por periodos prolongados (Andrade y Bernabé, 1995).
- Mejorar la presentación del producto procesado. Una opción moderna es la utilización de charolas de empaque en cajas adecuadas. Se deben usar envolturas individuales para cada fruta con instrucciones impresas de cómo remover la cáscara y consumir la tuna. Adicionalmente se sugiere que cada fruta lleve adherido el logotipo que debe desarrollar cada empresa. En cuanto a los productos industrializados, se ha notado que la presentación de los productos de tuna mexicanos dejan

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

mucho que desear al utilizar frascos de segunda, sin etiquetas adecuadas, etc., en cambio, los productos elaborados en otros países, como Italia, Argentina y EE.UU., están mucho mejor presentados.

3.9.3. Objetivos y estrategias para mejorar la comercialización de la tuna en el mercado nacional e internacional

Objetivos

- Ampliar el mercado doméstico.
- Mejorar el porcentaje que recibe el productor del precio final.
- Alcanzar un mejor posicionamiento de México en el mercado mundial de la tuna.

Estrategias

- Hacer eficiente el proceso de comercialización de un producto perecedero debe tener como objetivo final beneficiar a los productores, por un lado, y a los consumidores, por el otro. Para los productores esto significa obtener mejores precios para sus productos, ampliar sus mercados y tener mayor seguridad en los procesos de venta. Para el consumidor implica disponer de un producto de mejor calidad, en cualquier lugar y en todo tiempo, y finalmente que los precios del producto sean accesibles y competitivos.

Se han detectado numerosos problemas en la comercialización, que fueron detallados en los apartados anteriores de este capítulo. Muchos de estos problemas son susceptibles de solución, pero ello requerirá de prolongados esfuerzos y de la acción concertada de productores, organizaciones, comerciantes, transportistas, etc., así como de la voluntad política de los gobiernos estatales y federales, además, de la participación del sector académico y científico.

- Desarrollo de empresas comercializadoras. El concepto de estas empresas ya se conoce en México y se está desarrollando en algunas regiones del país. Se trata de que los productores y

demás agentes del proceso de comercialización participen directamente en la comercialización de la tuna y su mercadotecnia. De esta manera se confiere eficiencia al proceso, se reduce el número de intermediarios, a la vez que se aseguran la calidad del producto y el ingreso de los agentes que participan.

- Desarrollo del mercado interno para la tuna. Para muchos, antes que la exportación de la fruta debe fomentarse el consumo de la tuna en el mercado doméstico. En efecto, en México, el consumo de tuna per cápita es todavía bajo (3.62 kg/año). Existen aún numerosos grupos de población en determinadas regiones y en ciertos estratos de ingresos que casi no la consumen. Se pueden citar, por ejemplo, las ciudades del interior de la república, los centros turísticos en las costas y los grupos de ingresos medio-alto y alto de las áreas urbanas.
- Ampliar la infraestructura de frío especializado. Esta infraestructura es esencial para mantener la calidad del producto y sobre todo para ampliar la época de oferta de la tuna. Se requiere ofrecer tuna los 12 meses del año, como en muchas de otras frutas. La opción más viable es la frigoconservación.
- Con este mismo fin se debe mover la época de producción en tierras con riego y en zonas libres de heladas, como es el caso del Cañón de Juchipila, en Zacatecas, el sureste del estado de México y los valles de la Costa de Ensenada, en Baja California. De esta manera se podría tener oferta de noviembre a marzo. En cuanto a infraestructura, también es recomendable acondicionar los lugares en donde se realizan los tianguis tuneros en los estados de México y Puebla. Deben acondicionarse con pavimento, drenaje, luz, agua, baños y, lo más importante, con techos que proporcionen sombra, para que el producto no se caliente con el sol.
- Ampliación de las exportaciones de tuna. México puede ampliar significativamente sus exportaciones a los países que integran el TLCAN. En primera instancia, ampliar la oferta a

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

los consumidores de origen mexicano que residen en esos países y, en una segunda, a los segmentos de consumidores de otros orígenes.

En el mercado europeo se pueden abrir ciertas ventanas que no están siendo cubiertas, como las correspondientes a la tuna de primavera.

Existen mercados emergentes, como los de países de la Cuenca del Pacífico, de altos ingresos, que están aceptando productos nuevos y frutas exóticas, en los que se debe implementar una política agresiva de promoción.

3.9.4. Estrategias para ampliar el mercado nacional e internacional de la tuna mexicana

Estrategia para la introducción y posicionamiento del producto en los diferentes mercados de consumo

La estrategia general de comercialización es expandir la demanda de tuna en determinados mercados meta.

En el diseño de las estrategias particulares se ha considerado conveniente separar los mercados nacionales de los del exterior. Para cada uno de éstos se proponen cuatro mercados meta específicos, los cuales se han determinado en función del menor tiempo en que se obtendrían resultados.

Para cada mercado meta se definieron: las plazas, los mercados corporativos y el sector de consumidores finales. Con esa base se definió toda la estrategia de comercialización para cada mercado meta.

Se consideró la estrategia que requiere la tuna como producto nacional y no la de comercialización a escala de empresa comercializadora.

Mercados meta nacionales:

- Ciudades del norte del país
- Restaurantes de nivel alto en centros turísticos
- Segmentos poblacionales de ingresos medios altos y altos en metrópolis.

- Líneas nacionales de transporte aéreo de pasajeros.

Mercados meta del exterior:

- Consumidores de origen mexicano en países socios del TLCAN
- Consumidores de otros orígenes en países socios del TLCAN
- Consumidores de frutas exóticas en países asiáticos
- Consumidores de frutas exóticas en países europeos.

A continuación se presentan los perfiles de estas estrategias para cada uno de los mercados meta definidos.

Estrategias de penetración y posicionamiento en los mercados meta nacionales

- Ciudades del norte del país. Para el segmento de consumidores de ingresos medios y altos de las ciudades del norte del país se propone una estrategia que incluya garantizar la producción de tuna de calidad, su buena presentación en los centros comerciales y mercados de estas ciudades, y el apoyo del consumo mediante publicidad por radio y televisión haciendo hincapié en que es una fruta sabrosa, barata y saludable. Además, es importante que las empresas de productores y las comercializadoras participen en ferias y exposiciones, y a la vez realicen demostraciones en los centros comerciales sobre las diferentes formas de consumir el producto como fruta fresca y en la elaboración de bebidas y postres, entre otras.
- Restaurantes de nivel alto en centros turísticos. Para posicionarse en el segmento de turistas extranjeros y nacionales en los centros turísticos nacionales, se propone una estrategia que garantice que las despensas de los restaurantes de los hoteles de gran turismo cuenten con un abastecimiento eficiente de tuna de calidad excelente. Se deberán hacer demostraciones y degustaciones de la tuna, como fruta fresca, de bebidas (jugos, tequila-tuna, vodka-tuna y “mixed” de frutas tropicales) y de postres, insistiendo en las ventajas que sobre la salud conlleva el consumo de tuna.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

- Segmentos poblacionales de ingresos medios altos y altos en metrópolis. Para el segmento de consumidores con ingresos de nivel medio y alto en las metrópolis se propone una estrategia que garantice la existencia de tuna de excelente calidad y empacada en envases de exportación, en los centros comerciales que surten a estos núcleos de población (super e hipermercados). Será necesario hacer demostraciones y degustaciones gratis con edecanes que promocionen el producto como fruta fresca, jugos y postres. Adicionalmente se requerirá distribuir folletos explicativos sobre la tuna, su origen, variedades y diferentes formas de consumirla. Se deben elaborar videos explicativos sobre la tuna mexicana, que muestren las plantaciones, la forma de cosecharla, de desespinarla, de empacarla y de distribuirla. Estos videos se exhibirían por circuito cerrado en todas las terminales aéreas, mercados, supermercados y en la propia televisión nacional.
- Líneas nacionales de transporte aéreo de pasajeros. Se propone una estrategia para que las cocinas que surten los alimentos a las compañías de aviación nacionales incluyan la tuna dentro de sus postres como fruta fresca, haciendo una publicidad donde se señale su origen mexicano y los beneficios que tiene para la salud el consumo de esta fruta.

Estrategias de penetración y posicionamiento en los mercados meta del exterior

- Consumidores de origen mexicano en países socios del TLCAN. Se propone una estrategia basada en la publicidad por radio, considerando que los trabajadores de origen mexicano en el campo, la construcción y aun en las fábricas son afectos a escuchar las estaciones de radio locales que transmiten en español. Se sugiere que artistas del tipo de Antonio Aguilar (por Zacatecas) y Vicente Fernández (por Jalisco) graben un mensaje que diga, por ejemplo, *paisano, apoya a tu gente, consume tuna mexicana*, y se difunda.

- Consumidores de otros orígenes en países socios del TLCAN. La estrategia para este sector de consumidores es también la publicidad, la cual deberá estar basada en los beneficios que para la salud conlleva el consumo de tuna y realizarse por medio de la televisión y de revistas especializadas en alimentos sanos, y a la vez organizar exposiciones gastronómicas en ferias.
- Consumidores de frutas exóticas en países asiáticos. En este mercado, más que en cualquier otro, el diseño y la implementación de la publicidad deberá estar a cargo de empresas de mercadotecnia locales, donde se resalta que se trata de una fruta exótica que es benéfica para la salud. Un campo que se deberá investigar es la posibilidad de ligar la tuna con el valor de los boxeadores mexicanos considerando la alegría y entusiasmo con que éstos se enfrentan en el ring a los boxeadores nipones. Para este mercado se deberá poner especial atención en el tamaño (grande), homogeneidad del producto y presentación de la tuna.
- Consumidores de frutas exóticas en países europeos. En este caso se deberán aprovechar los mercados que han abierto los italianos, mediante una campaña de publicidad agresiva, llamando la atención en los colores de la tuna, tamaño y contenido de azúcar, entre otras características. Además, ofrecerla a menor precio y durante un mayor periodo en el año.

3.10. Conclusiones

Las conclusiones a las que se llegó para cada una de las fases de la cadena agroalimentaria de la tuna se resumen a continuación.

3.10.1. En cuanto a producción

- En México existe un enorme potencial para el desarrollo de plantaciones de nopal tunero, por lo extenso y rico de sus condiciones agroclimáticas. Actualmente existen 72,500 ha, casi todas en condiciones de temporal, distribuidas en tres regiones principales: centro-norte, centro y sur.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

- Las plantaciones de tuna se encuentran en un estado de deterioro, debido principalmente a problemas de rentabilidad del cultivo y a los escasos apoyos que recibe la producción de parte de las instituciones de gobierno. Los rendimientos promedio no alcanzan las 7 t/ha, valor que está por debajo de la productividad alcanzada por los países competidores. La principal limitante es lo escaso de los recursos crediticios que se destinan a esta actividad.
- Existe tecnología apropiada, aunque no totalmente validada, para inducir un cambio tecnológico significativo, a través de programas regionales de rehabilitación de plantaciones, que en 10 años podrían incluir al 95% de las actuales plantaciones.
- Los costos de producción se han incrementado notoriamente, lo que ha provocado el abandono de las labores culturales clave para el mantenimiento óptimo de las plantaciones, situación que varía de región a región y de productor a productor.
- Más de 20,000 productores se dedican a esta actividad en México, de los cuales el 85% ostenta el régimen de propiedad ejidal. El ingreso que la producción de tuna les proporciona es sólo un componente del ingreso total familiar y, veces, la menos importante.
- Los principales problemas para el desarrollo de la tunicultura en México son:
 - Mercado interno limitado.
 - Procesos de comercialización tradicionales e ineficientes.
 - Escaso o nulo desarrollo de la industrialización del producto.
 - Escasa o nula transferencia tecnológica.
 - Falta de apoyo crediticio.
 - Pérdida de rentabilidad por estancamiento de precios del producto, en tanto que los precios de insumos y servicios, se han incrementado continuamente.

3.10.2. En cuanto al procesamiento e industrialización de la tuna

- El desespinado de la tuna después de la cosecha es una de las prácticas clave para el éxito de una explotación tunera. En general, el desespinado se realiza manualmente, lo cual causa daños irreversibles en la fruta, que afectan su presentación y calidad. En las regiones sur y centro, en un porcentaje pequeño de la producción el desespinado es mecánico.
- El empaque de la fruta también puede mejorarse utilizando materiales más resistentes y baratos.
- La industrialización de la tuna es insignificante. Las empresas existentes son de tipo familiar, con técnicas artesanales y mercados locales y regionales para el queso de tuna, melcocha, colonche y mermeladas. La industria del jugo no puede desarrollarse mientras no se resuelvan los problemas de sedimentación y estabilización del producto.

3.10.3. En cuanto a la comercialización

- No existe infraestructura para la comercialización.
- Los canales de comercialización son tradicionales, con la intervención de numerosos intermediarios y agentes económicos.
- No se ha fomentado el consumo de este producto a nivel nacional. El consumo per cápita es relativamente bajo (3.69 kg/año) y quedan por desarrollar mercados importantes en las costas, en la frontera y en las principales ciudades del sureste de la república.
- La tuna no recibe un manejo adecuado en poscosecha, lo que deteriora la calidad de la fruta y reduce su vida de anaquel.
- No se están aplicando normas de calidad.

3.10.4. En cuanto al comercio exterior:

- El mercado mundial de la tuna alcanza alrededor de 20,000 t, con un valor aproximado de 50 millones de dólares. Los principales países o regiones importadores son Europa Occidental,

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

Estados Unidos, Canadá, Europa Oriental y algunos países emergentes de la Cuenca del Pacífico, en donde destaca Japón.

- Los países mediterráneos, entre los que sobresalen Italia (líder de comercio mundial de la tuna) e Israel, dominan principalmente el mercado europeo, aunque Italia ha exportado tradicionalmente importantes cantidades de tuna a la costa oriental de Estados Unidos. Recientemente se perfilan nuevos países exportadores, como Colombia, Chile y África del Sur, que están enviando tuna a Europa y Estados Unidos, aprovechando que sus cosechas coinciden con el invierno del hemisferio norte, donde en esta estación no se produce la tuna.
- México puede ampliar en forma significativa sus exportaciones a los países integrantes del TLCAN, aprovechando su cercanía relativa a estos mercados y la población de cerca de 20 millones de hispanos y latinos y 13 millones de origen mexicano, que residen en Estados Unidos.

3.11. Literatura citada

- Acevedo E.; I. Badilla, y P. Nobel S. 1983. Water relations, diurnal acidity changes and productivity of a cultivated cactus. *Plant Physiology* 72: 775-780.
- Andrade R., J. y E. Bernabé C. 1995. Frigconservación de 6 variedades de tuna, *Opuntia* spp. (Amarilla Monteza, Burróna, Copena, Cristalina, Picochulo y Torreoja). Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Tesis, 77 p.
- Anónimo. 1990. Cultivo del nopal, Paquete tecnológico. Dirección de Agricultura. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México, Metepec, Edo. de México, 18 p.
- Ávila O., R. 2001. Forzamiento de producción en dos variedades de nopal tunero (*Opuntia* spp.) en San Diego de la Unión, Guanajuato”, Tesis profesional, Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, 50 p.

- Barbera, G. 1997. Effect of cladode shading on growth and ripening of fruits of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller). *Jor. of Hort. Sci.* 72 (2): 299-304.
- Barbera, G. y P. Inglese. 1993. La Coltura del Ficodindia, Frutticoltura Moderna. Edagricole, Edizioni Agricole, Bologna, Italia.
- Barbera G. 1991. The reflowering of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L). Miller): Influence of removal time and cladode load on yield and fruit ripening. *Adv. Hort. Sci.* 5: 77-80.
- Barbera, G. 1984. Recherche sull'irrigazione del ficodindia, *Frutticoltura* 8: 49-55.
- Basile, F. 1990. Indagine economico-agraria sulla produzione del ficodindia in Italia. Facolta di Agraria dell'Universita, Istituto di Economia e Política Agraria, Catania, Italia.
- Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México, Vol 1, UNAM, México, D.F. 743 p.
- Brutsh, M.O. y H.G. Zimmermann. 1993. The Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* [Cactaceae]) in South África: Utilization of the Naturalized Weed, and the Cultivated Plants. *Economy Botany* 47(2): 134-162.
- Brutsh, M.O. 1992. Crop manipulation in Spineless Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) in South África. *Memorias: Second International Conference on Prickly Pear and Cochinilla.* Santiago de Chile, Chile, pp. 40-47.
- Bunch, R. 1996. Cactus pear products at D'arrigo Bros. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*; Vol. 1, San Antonio, Texas, USA, pp. 100-102.
- Castellanos C., P.; I.E. López Ch.; J.M. De Luna E., y C.A. Flores V. 1999. Costos de producción y comercialización de tuna (*Opuntia* spp.) en la región de San Martín de las Pirámides. *Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, 6-10 de septiembre, pp. 54-55.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

- CONAFRUT-INIA. 1998. El cultivo de la tuna. Boletín técnico No. 14, CONAFRUT-INIA, Lima, Perú, 44 p.
- Corrales G., J. 1992. Descripción y análisis de la cosecha y del manejo en fresco de nopalito y tuna. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, 10 p.
- Curtis, J., R. 1977. Prickly Pear Farming in the Santa Clara Valley. California. *Economic Botany* 31: 175-179.
- FAO. 1995. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection Paper 132, Rome, Italy.
- Fernández, M.R. y C. Mondragón J. 1998. La Fertilización del Nopal Tunero. Campo Agrícola Experimental Norte de Guanajuato, INIFAP, SAGAR, Desplegable para productores N° 2.
- Fernández, M.R. 1997. Atraso de la época de cosecha de nopal tunero en el norte de Guanajuato. Congreso sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, VII Nacional y V Internacional, Nuevo León, México, pp. 146-147.
- Fernández, M.R. 1995. Rehabilitación de Huertos. En: El cultivo del nopal tunero. Curso de actualización y recorrido de campo. Campo Agrícola Experimental Norte de Guanajuato, INIFAP, SAGAR, pp. 1-4.
- Flores V., C.A. 1999. Programa de Desarrollo para que México logre el liderazgo del Mercado Mundial de la Tuna. Memoria: Curso-Taller sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Asociación de Productores de Nopal de Nuevo León A.C., y Programa Universitario de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna, CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, pp. 74-80.
- Flores V., C.A.; P.P. Ramírez M.; J.M. De Luna E., y P. Ponce J. 1997. Diagnóstico y Programa de Desarrollo del Sistema Producto Tuna. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, 84 p.

- Flores V., C.A.; J.M. De Luna E.; P.P. Ramírez M.; J. Corrales G., y P. Ponce J. 1995. Mercado Mundial de la Tuna. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo estado de México, 166 p.
- Gijón H., A. 1998. Plagas y enfermedades del nopal. Programa de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna, CIESTAAM, UACH, Chapingo, estado de México, 39 p.
- Hernández G., L. 1993. Plagas y enfermedades del nopal en México. Reporte de Investigación 11, CIESTAAM, UACH, Chapingo, estado de México, 52 p.
- Ibarra, M.F. de J. 1998. Forzamiento de producción en dos cultivos de nopal tunero (*Opuntia* spp) en el municipio de Pinos, Zacatecas. Tesis de Licenciatura, Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México.
- López, F.C. 1996. El cultivo de la tuna. Revista El Campesino, pp. 14-23 y 48-54.
- Martínez G., J.C. 1993. Parcelas de validación de nopal tunero, comunidad Santa Úrsula, municipio de Felipe Ángeles, Puebla. Campo Experimental Tecamachalco, INIFAP, SARH, 25 p.
- Mondragón, J.C. 1992. El cultivo del nopal tunero en la región central de México. Avances y perspectivas de la investigación en fruticultura para el centro del país. CENGUA, INIFAP-SARH, pp. 9-18.
- Mondragón, J.C. y E. Pimienta-Barrios. 1990. Fertilización del nopal tunero. Folleto técnico No. 1, Campo Experimental Norte de Guanajuato, INIFAP, SARH, 16 p.
- Nerd A.; J.A. Aronson, y Y. Mizrahi, 1994. Introduction and domestication of rare and wild fruit and nut trees for desert areas. Timber Press Portland. Oregon, EE.UU., pp. 355-363.
- Nerd A. y Y. Mizrahi. 1993. Modern cultivation of prickly pear in Israel: Fertigation. Acta Horticulturae 349: 235-237.

PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA TUNA

- Nerd A. y Y. Mizrahi. 1993a. Cultural Practices for cactus pear in Israel for year round production. Proceedings 4° Annual Texas Prickly Pear Council, Kingsville, Texas, pp. 77-80.
- Nerd A.; A. Karady, y 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.
- Ochoa de Cornelli, M.J. 1995a. Ensayo de raleo de frutos y renuevos en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller). Congreso sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, 6° Nacional y 4° Internacional, Guadalajara, Jalisco, México, p. 222.
- Ochoa de C., J. 1995b. Development of the cactus pear industry in Argentina, an possibilities for export to the United States. Proceedings First Annual Conference, Profesional Association for Cactus Development, San Antonio Botanical Gardens, San Antonio, Texas, EE.UU., pp. 23-26.
- Pimienta-Barrios, E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México.
- Potgieter, J.P. 1996. The cactus pear (*Opuntia* spp.) in South Africa: Cultivation and research in the Northern Province. Department of Agriculture, Pietersburg, South Africa, 11 p.
- Russell, E.C. y P. Felker. 1987. The Prickly Pear (*Opuntia* spp, Cactaceae): A Source of Human and Animal Food in Semiarid Regions. Economic Botany 41 (3): 433-445.
- SARH. 1991. Informe de la Misión Mexicana a Chile para establecer las bases de la cooperación bilateral sobre nopal, tuna y otros productos hortofrutícolas. Delegación Jalisco, Guadalajara, Jalisco, 66 p.
- SECOFI. 1994a. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación-México. Tratado de Libre Comercio de América del Norte. 1ª. Edición, Miguel Ángel Porrúa Ed., México.

- SECOFI. 1994b. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación- Estados Unidos. Tratado de Libre Comercio de América del Norte. 1ª Edición, Miguel Ángel Porrúa Ed., México.
- SECOFI. 1994c. Fracciones arancelarias y plazos de desgravación- Canadá. Tratado de Libre Comercio de América del Norte, 1ª Edición, Miguel Ángel Porrúa Ed., México.
- Secretaría de Economía. Varios años, Servicio Nacional de Información de Mercados, Precios mensuales de tuna en diversas centrales, www.economia-sniim.gob.mx .
- Sudzuki, H.F. 1993. Cultivo y Aprovechamiento del nopal en Chile. Abstract and final report of the Establishment of the International Technical Cooperation Network on Cactus Pear. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 16 p.
- Villanueva, R.H. 1995. Principales plagas y enfermedades del nopal en México. Coordinación de Servicio Social, CIESTAAM, UACH. Chapingo, estado de México, 32 p.

4. FISIOLÓGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA DE LA TUNA Y EL NOPALITO

Joel Corrales-García

4.1. Introducción

El fruto de tuna, así como el nopal verdura (nopalito), han sido alimentos tradicionales en la dieta del pueblo mexicano desde la antigüedad, su consumo data desde la época prehispánica, cuando el nopalito se cocinaba asado en comal o en guisado con carne de animales silvestres; posteriormente fue adoptado como alimento por los conquistadores españoles, colonos y por la población mestiza y la criolla, quienes incluyeron al nopalito como ingrediente de guisados, ensaladas y productos industrializados (Sodi, 1964).

El aprovechamiento del nopal y de la tuna ha evolucionado desde un sistema simple de recolección en las nopaleras silvestres para consumo directo e inmediato, hasta el establecimiento en huertos próximos a las viviendas, para finalmente ser manejado como un cultivo formal especializado en plantaciones comerciales. Esta evolución ha sido influenciada particularmente por la preferencia (demanda) que ha ejercido y continúa ejerciendo la población del centro de México por estos productos, además, por la constante exigencia de nuevas y más eficientes formas de cultivo y de comercialización, que en los años recientes se ha presentado.

El manejo poscosecha que se le da a estos productos es y ha sido desde el principio muy sencillo y poco tecnificado, sin embargo, el esquema productivo ha crecido y los sistemas de distribución y de comercialización se han complicado; solamente algunas explotaciones comerciales de México (especialmente aquellas que comercializan sus productos en el mercado de exportación) y las de otros países productores, como Italia, Estados Unidos, y Chile, entre los más sobresalientes, han desarrollado tecnológicamente este manejo.

Actualmente, la importancia del nopal ha sido tal que un buen número de investigadores de diversas instituciones de México y de otros países han incursionado en el campo de la investigación científica y tecnológica de esta planta en diferentes campos. La investi-

gación formal en fisiología y tecnología poscosecha del nopalito y del fruto de tuna no tiene mucho que se inició (hace aproximadamente 20 años), sin embargo, ésta no ha sido muy abundante.

En la poscosecha de tunas y nopalitos se incluyen dos grandes aspectos que siempre van relacionados: la fisiología y la tecnología. La primera aborda aspectos del funcionamiento biológico de los productos en poscosecha (cambios morfológicos, bioquímicos y metabólicos); la segunda tiene que ver con el manejo tecnificado de los productos, considerando su fisiología, su naturaleza perecedera y, además, las exigencias comerciales para mantener al máximo posible sus atributos de calidad al mínimo costo. En este trabajo se describe y discute el panorama de las principales aportaciones científicas y tecnológicas que se han registrado en la poscosecha tanto del fruto de tuna como del nopalito.

Las descripciones y discusiones que se hacen a continuación son el resultado, por un lado, de la experimentación y de la observación directa y, por otro, de una amplia revisión de la bibliografía disponible sobre cada uno de los temas señalados. Por ser estos productos (tuna y nopalitos) de naturaleza diferente, se trata cada uno por separado, iniciando con los aspectos fisiológicos y luego con lo relativo a su tecnología poscosecha.

4.2. Fisiología de la tuna

4.2.1. Fisiología del desarrollo

La fisiología poscosecha de la tuna es un proceso que da continuidad a los procesos fisiológicos de precosecha, es decir, a la fisiología del desarrollo del fruto, por lo cual este trabajo inicia con la descripción de los procesos fisiológicos más importantes del origen y de la fisiología del desarrollo de este fruto. De acuerdo con Bravo (1978), el fruto de tuna deriva de un ovario ínfero, unilocular, con placentación parietal, cuyo patrón de crecimiento ha sido estudiado por diversos autores y desde diferentes puntos de vista, algunos de estos estudios se mencionan a continuación.

Alvarado (1978) estableció que la tuna muestra un patrón de crecimiento atípico, o sigmoide si se considera el crecimiento de la yema floral, desde su emergencia hasta el completo desarrollo del fruto. Otros autores (Kuti, 1992; Pimienta, 1990; Wessels, 1988 y 1990, citado por Nerd y Mizrahi, 1995) coinciden en que la tuna sigue un patrón de crecimiento sigmoidal.

Sin embargo, Barbera *et al.* (1992) y Weiss *et al.* (1993), citado por Nerd y Mizrahi (1995), mencionan que el patrón de crecimiento del fruto de tuna es de tipo doble sigmoide, con tres diferentes fases consecutivas: la primera está caracterizada por un crecimiento acelerado, que se inicia inmediatamente después de la antesis; la segunda, por una detención del crecimiento, y la tercera, por una repentina reanudación del mismo. En la primera fase se presenta una marcada ganancia en los pesos fresco y seco de la cáscara, luego se registra un desarrollo importante de la semilla en la parte inicial de la segunda fase, y de la pulpa en la parte final de ésta y durante la tercera fase. Sudzuki (1995), en coincidencia con lo anterior, señala que el crecimiento de la cáscara es mayor durante las primeras semanas después de la floración, mientras que la porción comestible crece durante las últimas cinco o seis semanas, justo antes del proceso de maduración.

El periodo completo de crecimiento puede tomar de 80 a 90 días, dependiendo de las condiciones ambientales. El crecimiento es más acelerado en climas calurosos que en climas fríos (Nerd *et al.*, 1991; Wessels, 1990, citados por Nerd y Mizrahi, 1995). Sin embargo, en este mismo sentido, Lakshminarayana *et al.* (1979) establecieron que la tuna (*O. amyclaea* Tenore) es un fruto de ciclo corto, es decir, que toma alrededor de 120 días en alcanzar su madurez de cosecha.

Durante el desarrollo del fruto pueden existir ligeras interrupciones del crecimiento por efecto de los periodos de sequía presentes en este proceso (Cruz, 1983). Además, al acentuarse este fenómeno se pueden manifestar rasgaduras en el pericarpio del fruto o la abscisión del mismo (Hernández, 1978). Las frutas que desarrollan su

completa maduración bajo condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa son altamente susceptibles a daños por frío, pero menos sensibles a la pudrición microbiana, mientras que las frutas que desarrollan su madurez completa al final de la temporada lluviosa bajo condiciones de menor temperatura son sensibles a las pudriciones pero menos susceptibles al daño por frío (Schirra *et al.*, 1999b). Se sabe que el tamaño final del fruto también depende, entre otros factores, del número de semillas fecundadas y abortadas (Archibald, 1935; Pimienta, 1990; Barbera *et al.*, 1994).

Ortiz (1988) hizo notar que son muchos los factores internos y externos que regulan el desarrollo del fruto, particularmente señaló que todas las categorías de las hormonas vegetales influyen sobre este proceso y que las aplicaciones de giberelinas y/o auxinas pueden promover el amarre de frutos partenocárpicos, aparentemente reemplazando el efecto de la polinización y/o fecundación en el desarrollo del óvulo. La misma autora indicó que las aspersiones de giberelinas en plena floración pueden reducir el número de semillas.

Mejía (1986), citado por Ortiz (1988), encontró que los tratamientos de ácido giberélico (AG_3) sobre flores emasculadas de *Opuntia amyclaea* Tenore produjeron desarrollo del fruto, pero sin superar al testigo; con aplicaciones de 500 ppm de AG_3 antes y después de la antesis (a intervalos de 21 días) obtuvo frutos de tamaño similar a los del testigo sin que sufrieran alteraciones de firmeza y composición química, además, tanto los frutos partenocárpicos como los no partenocárpicos presentaron la misma curva de crecimiento.

Ortiz (1988) concluyó que las aplicaciones de AG_3 y/o de auxinas 15 días antes de antesis, más otra aplicación durante la antesis, incrementaron: los sólidos solubles totales o grados Brix y el peso del fruto, de la pulpa y de la semilla. En las flores intactas hubo mayores respuestas que en las emasculadas. Además, las aspersiones de AG_3 15 días antes de la antesis y durante la antesis sobre flores emasculadas provocan el crecimiento de frutos partenocárpicos de mayor tamaño que los normales; sobre flores intactas, incrementaron el contenido de semillas abortivas de tamaño reducido.

De acuerdo con Pimienta y Engleman (1985), la parte comestible (pulpa) está formada por células parenquimatosas provenientes de las células epidérmicas dorsales de las envolturas funiculares (90%) y funículos (10%) que se encuentran en la semilla. Estos autores también mencionan que es impreciso utilizar la palabra "semilla" en el caso de la tuna, porque ésta incluye tejidos duros (lignificados) pertenecientes al funículo, presentan características morfológicas semejantes a las del "hueso" de las drupáceas, por lo que se deberían considerar como tales, es decir como "huesos".

Por otra parte, Sudzuki (1995) indicó que el fruto de tuna es una baya simple y carnosa, que por estar formada a partir de un ovario ínfero sumido en los tejidos del pedúnculo y del receptáculo, debería ser considerado como una baya falsa. Esta autora también hizo notar que la cáscara se origina en el receptáculo y tiene una morfología igual a la del cladodio.

La cáscara presenta los mismos tejidos que el cladodio, aunque en éste los conductos de mucílago están más desarrollados y la disposición de las células de la corteza desde la epidermis hasta el tejido vascular se encuentran en hileras, mientras que en la cáscara presentan una disposición irregular, y el pericarpelo presenta areolas que llevan gloquídeas y espinas (Pimienta y Engleman, 1985). En el ápice del fruto se presenta una concavidad receptacular u "ombligo", cuyo llenado sirve en algunos casos como un índice de cosecha (Alvarado, 1978).

Con respecto a los cambios químicos de la tuna durante su desarrollo, Lakshminarayana *et al.* (1979) establecieron, entre otras características, que el comportamiento de la acidez titulable fue errática, variando de 0.04 a 0.06%, pero el valor final al momento de la cosecha fue de 0.02 a 0.03%. Sin embargo, los autores observaron cambios consistentes con respecto al contenido de ácido ascórbico. Desde el amarre del fruto hasta alrededor de la semana 14, el contenido de ácido ascórbico en la cáscara permaneció más o menos estable; sin embargo, después de este periodo y hasta el momento

de la cosecha ocurrió un continuo y significativo incremento de éste, alcanzando un valor máximo de $87 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

El comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) y de los azúcares es de suma importancia en la fisiología del desarrollo por su efecto en la calidad poscosecha del fruto. Lakshminarayana *et al.* (1979) observaron que los SST siempre fueron significativamente mayores que los azúcares totales. También encontraron que desde el amarre del fruto y hasta la semana 10, los SST permanecieron bajos y estables, en alrededor de 5%, para luego incrementarse rápidamente hasta la madurez de cosecha. Durante el primer periodo, el contenido de azúcares totales fue menor al 0.1%, por lo que la mayor parte de los SST estaba constituida por sólidos solubles diferentes a los azúcares.

La primera presencia de cantidades significativas de azúcares fue registrada a partir de la semana 11. Subsecuentemente, un incremento rápido en el contenido de azúcares de alrededor de 5.04, 3.24 y 2.17% para glucosa, fructosa y sacarosa, respectivamente, fue alcanzado al llegar a la madurez completa. El almidón no se encontró en cantidades apreciables en ningún estado. La cáscara resultó altamente mucilaginoso durante los primeros estados de desarrollo, pero fue disminuyendo hacia los estados finales. Por lo tanto, es como si el mucílago se hubiera reabsorbido y así contribuido a la síntesis de azúcares.

4.2.2. Índices de cosecha

La decisión del momento más oportuno de cosecha de la tuna es de gran importancia, si se quieren tener frutos de alta calidad.

El estado de madurez al momento de la cosecha es uno de los principales factores que determinan su calidad, por lo que los frutos deberán cosecharse preferentemente cuando hayan terminado de crecer y de acumular suficientes azúcares (Corrales-García, 1997). Para determinar el momento más oportuno de cosecha se deberán considerar otros aspectos, tales como la lejanía y las exigencias del mercado, y siempre es recomendable la ayuda de parámetros o índi-

ces de cosecha. Las frutas cosechadas en estado de color cambiante son menos susceptibles a pudriciones pero más proclives al daño por frío que las frutas cosechadas completamente maduras (Gorini *et al.*, 1993, citados por Inglese *et al.*, 2002).

Al respecto, Cantwell (1995) recomendó el uso de algunos índices externos de madurez para la cosecha de tuna, tales como: 1) tamaño y llenado del fruto; 2) cambios de color de la cáscara; 3) abscisión de gloquídeas o aguates; 4) firmeza del fruto; 5) grado de aplanamiento o profundidad de la cavidad ("ombligo") o receptáculo floral. La misma autora también advirtió que estos cambios externos deberían correlacionarse con atributos internos de calidad, cuya importancia relativa varía entre los diferentes cultivares.

De acuerdo con Wessels (1988), citado por Cantwell (1995), también existen otras características de calidad importantes, tales como el porcentaje de pulpa, el grosor de la cáscara, así como la facilidad de remoción y resistencia mecánica al manejo físico.

Lakshminarayana *et al.* (1979) propusieron como índices de cosecha algunos parámetros físicos y bioquímicos, tales como la relación pulpa-cáscara, profundidad del receptáculo, gravedad específica y cantidad de SST. Estos mismos autores también hicieron notar que el peso del fruto y los SST podrían variar de una región a otra, dependiendo del vigor y edad de la planta, y de las condiciones agroclimáticas. Por lo anterior, los autores recomendaron que los índices de cosecha se deberían de determinar para cada tipo de fruto o cultivar en cada área de cultivo. También mencionaron que en los centros de acondicionamiento y empaque, la segregación o selección de frutos por gravedad específica puede ser de gran utilidad para separar aquellos frutos en estado de madurez muy avanzado.

4.2.3. Principales cambios químicos, físicos y fisiológicos en poscosecha

Las tunas se han caracterizado como frutos no climatéricos (Lakshminarayana y Estrella, 1978; Alvarado, 1978; Lakshminarayana *et al.*, 1979, y Cantwell, 1991) debido, entre otras cosas, a que

durante su desarrollo no acumulan almidón como carbohidrato de reserva, además, de acuerdo con Tucker (1993), éstos no presentan un incremento importante de azúcares en poscosecha.

En frutos maduros de tres selecciones de Tuna Blanca, los SST de la pulpa se incrementaron en menos del 1% durante su almacenamiento por un mes a 20°C (Cantwell *et al.*, 1985). Los mismos autores comentaron que este pequeño incremento en los SST se debió probablemente a la hidrólisis de algún tipo de derivado de carbohidrato diferente al almidón.

Por su parte, Chávez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) también reportaron un decremento ligero en los SST, así como un considerable incremento en el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en tunas almacenadas 15 días a 20°C y 60-70% HR. Los mismos autores hicieron notar que los cambios poscosecha de acidez y de pH en la tuna no son realmente importantes.

En términos generales, Cantwell (1995) concluyó que en los frutos de tuna el contenido final de azúcar se determina esencialmente en función del momento de la cosecha, en virtud de que los cambios de azúcares en poscosecha son muy pequeños. La firmeza de los frutos de tuna (medida en la cáscara, después de remover la cutícula) fue disminuyendo lentamente durante un mes de almacenamiento a 20°C (Cantwell, 1986). En general, los cambios poscosecha en la firmeza de la tuna son menores a los que presentan otros frutos (Tucker, 1993).

En general, las pérdidas de peso en poscosecha se deben principalmente a pérdidas de agua por transpiración. En el caso de la tuna, si las pérdidas de peso llegaran a ser mayores al 8% su aspecto se vería deteriorado por marchitez o arrugamiento, al grado de que los frutos dejarían de ser "vendibles". Las pérdidas fisiológicas de peso que presenta la tuna en poscosecha dependen de varios factores, dentro de los cuales los más importantes son las condiciones de temperatura, humedad relativa y ventilación durante el almacenamiento, así como el estado de desarrollo del fruto al momento de la cosecha y la variedad.

Lakshminarayana *et al.* (1979) concluyeron que, en general, los frutos menos maduros perdieron más peso que los cosechados completamente maduros. Franco-Moreno y Rodríguez-Campos (1997) encontraron que los frutos, después de 10 días expuestos al medio ambiente (20°C y de 60 a 70% HR), en 20 variedades estudiadas, la mayoría perdió poco menos del 5%, excepto las variedades "Alfajayucan", "Copena T-12 y T-5, cuyas pérdidas fueron de 5.7, 5.6 y 5.6%, respectivamente; la variedad que registró menor pérdida de peso fue "Rojo Pelón" con 1.7%.

En cuanto a cambios de color, Franco-Moreno y Rodríguez-Campos (1997) encontraron que después de 10 días al medio ambiente, las variedades denominadas "blancas" presentaron un incremento del ángulo de tono (Hue), principalmente las variedades "Alfajayucan", "Cardón Blanco", "Cristalina" y "Copena T-5". Las variedades denominadas "anaranjadas" y "rojas" presentaron una disminución del ángulo de tono, es decir, que se tornaron más rojas, principalmente las variedades "Rojo 3589", "Rubí Reina" "Solferino 2589" y "Jarilla Grande".

La tasa de respiración que presenta la tuna en poscosecha es relativamente baja, en comparación con la que presentan otros frutos, y además tiende a declinar, por lo que este fruto ha sido caracterizado como no climatérico (Alvarado, 1978; Lakshminarayana y Estrella, 1978; Cantwell, 1995). En la tuna, la respiración depende, entre otros factores, de la variedad; al respecto, Franco-Moreno y Rodríguez-Campos (1997) encontraron diferencias significativas entre la respiración promedio de 20 variedades, de las cuales, las que mayor respiración promedio presentaron fueron "Cardón Blanco", "Amarillo con Espinas", "Alfajayucan", "Rojo Vigor" y "Sangre de Toro", con tasas dentro del rango de 29 a 33 ml CO₂·kg⁻¹·h⁻¹.

La producción de etileno en las tunas es muy baja (varían desde 0.10 a 0.26·nl·g⁻¹·h⁻¹) y resultó similar para frutos cosechados en tres diferentes estados de madurez (ripeness) aunque después esta producción se fue incrementando ligeramente durante el almacenamiento hasta 0.31 nl·g⁻¹·h⁻¹ después de 16 días a 20°C y 95% HR

(Cantwell, 1991). De acuerdo con la misma autora, tanto los daños físicos, como el ataque de agentes patógenos (microorganismos) pueden hacer que se incrementen ambas tasas (tanto de respiración como de producción de etileno).

Cantwell (1995) indica que la tuna cosechada en cualquiera de los estados, verde, intermedio o completamente maduro, produce niveles similares de CO₂, pero, cuando las frutas se remueven del almacenamiento refrigerado y se colocan en condiciones que simulan la exposición para la venta, usualmente se detectan incrementos agudos en las tasas de respiración y producción de etileno (Schirra *et al.*, 1997a,b). Esto también depende del estado de madurez y de la duración del almacenamiento (Schirra *et al.*, 1999b).

4.2.4. Principales factores de deterioro

Las causas del deterioro de la tuna pueden ser de origen biótico y abiótico, las primeras tienen que ver con el metabolismo del propio fruto así como con el ataque de microorganismos y las segundas, con el medio ambiente y el manejo. Aunque su actividad metabólica (en términos de respiración) es reducida, las tunas presentan un alto grado de perecibilidad, el cual se debe principalmente al daño físico ocasionado a la cáscara y a la zona peduncular durante la cosecha (Curtis, 1977; Cantwell, 1986; Rodríguez-Félix, 1991; Corrales-García, 1992). Granata (1995) hizo notar que los tejidos de la tuna contienen mucha agua, y cuando hay lesiones físicas en su epidermis o en el pedúnculo ocurren infecciones bacterianas o fungosas que con frecuencia se transforman rápidamente en pudriciones generalizadas, haciendo difícil aislar al patógeno, especialmente por colonización saprofítica.

Así, la evolución de las enfermedades de la tuna resulta muy acelerada, por lo que, para asegurar una producción exitosa, el método más eficiente sólo puede ser la prevención. Después de que los frutos hayan sufrido algún tipo de daño mecánico, ya sea por granizo o por lesiones debidas a malas prácticas de cosecha y de desespinado,

que faciliten la infección por patógenos fungosos o bacterianos, se requiere aplicar tratamientos antisépticos preventivos.

Los patógenos más frecuentes en la tuna son algunas bacterias, como *Erwinia carotovora* y *Agrobacterium tumefaciens*, y algunos hongos, como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* Pers., *Colletotrichum* sp., *Macrophomina* sp. y *Cercospora* sp. (Granata, 1995). Sin embargo, anteriormente Guzmán (1982) y Chessa (1993), citado por Cantwell (1995), habían mencionado que los patógenos de poscosecha comúnmente encontrados en la tuna incluyen a *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Chlamydomyces* spp., y *Penicilium* spp.

Las enfermedades de origen abiótico son ocasionadas, entre otras causas, por deficiencias o toxicidades minerales. Los estudios sobre deficiencias o toxicidades minerales han sido muy escasos y, por consiguiente, estos desórdenes no han sido reportados ampliamente. Estas enfermedades ocurren principalmente en plantaciones comerciales, donde el forzamiento de la producción y la inadecuada fertilización resultan en deficiencias y/o en toxicidades, a causa de desbalances de los elementos (macro o micro) nutricionales del suelo.

Otro factor de deterioro de origen abiótico, que afecta a la tuna, es el de bajas temperaturas de refrigeración en el almacén, que pueden llegar a causar desórdenes fisiológicos denominados daños por frío, los cuales se manifiestan como pequeñas coloraciones superficiales oscuras y de un tono bronceado de la epidermis del fruto. La severidad de estos daños depende de algunos factores, como la susceptibilidad de cada variedad, la temperatura, el tiempo de exposición y el nivel de humedad relativa del almacén. Su identificación resulta particularmente difícil porque estos daños facilitan el acceso a microorganismos que infectan rápidamente al fruto.

4.3. Tecnología poscosecha de la tuna

4.3.1. Cosecha

La cosecha de la tuna se lleva a cabo manualmente, para lo cual existen dos modalidades: a) corte con giro o torsión del fruto y b) corte

auxiliado con un cuchillo (Foto 4.1). La tuna se daña menos cuando se corta con un cuchillo, sin embargo, en la importante región productora de San Martín de las Pirámides, del centro de México, el uso del cuchillo para la cosecha de tuna aún no es una práctica generalizada, debido probablemente al mayor costo que implica esta modalidad de cosecha, además de que el principal mercado (que es la ciudad de México) se localiza muy cercano a los centros de producción, por lo que la comercialización de la tuna es muy ágil y no se da oportunidad a que se desarrollen pudriciones en las tunas lesionadas (Corrales-García, 1992).

Debido al gran problema que representan los aguates o gloquídeas para los cosechadores de tuna, resulta muy conveniente el uso de guantes de tela gruesa, de hule o bien de cuero (Foto 4.1), los cuales aparte de proteger las manos, protegen al fruto del "marcado" de los dedos, problema que más adelante se comenta.

En la región productora de San Martín de las Pirámides, así como en otras regiones productoras importantes del centro de México, el momento más apropiado para la cosecha de tuna es por la mañana, lo más temprano posible, cuando la temperatura es baja y la humedad relativa es alta, condiciones que favorecen que los tejidos de los frutos estén turgentes, lo que se facilita el corte (Corrales-García, 1992).

Se ha observado que conforme avanza la mañana, la temperatura sube, la humedad relativa desciende y así los frutos transpiran más y aumenta su plasticidad, pierden agua y turgencia; esto los hace más elásticos y flexibles, lo que dificulta su corte al tener que jalar la tuna con más fuerza, provocando desgarramientos de tejidos, que al quedar expuestos al aire son más susceptibles al ataque microbiano. Por otro lado, al perder turgencia, los frutos se van haciendo más sensibles al daño mecánico de la compresión que le imprimen los dedos del cosechador en el momento del corte, cuyas marcas no se hacen evidentes de inmediato sino hasta después de unos días; en estas zonas dañadas es donde se inician los problemas de cambios de color y senescencia del fruto (Corrales-García, 1997).

Además de las ventajas ya comentadas, al cosechar cuando la humedad es alta y la temperatura es baja, la presencia de rocío (condensación de agua) evita la diseminación de los aguates del fruto, cuya presencia es muy molesta para el cosechador, especialmente cuando llegan a los ojos.

En la región productora del centro-norte de México, cuyo clima es más seco, la hora del corte tiene menos importancia.

En cuanto a la época de maduración, en México se tiene una amplia diversidad. De acuerdo con Pimienta (1991), los frutos de la mayoría de las variedades maduran de julio a septiembre, aunque algunas, como "Tapon de Mayo" y "Pachona" tienen una maduración temprana en mayo y junio, y "Villanueva" que madura en abril; otras son de maduración tardía, como "Fafayuco" y "Casca-rón", variedades que maduran de noviembre a diciembre.

También existe una gran variación entre las diferentes variedades en lo que se refiere al tamaño, a la madurez; existen variedades de fruto muy pequeños, como "Cardona" (silvestre), que pesa en promedio 60 g; hay algunas de tamaño intermedio y otras de gran tamaño, como "Cristalina" y "Burrón", cuyo peso promedio es de 240 g (Pimienta, 1991). Otra variedad de gran tamaño es "Amarilla Milpa Alta" (Franco-Moreno y Rodríguez-Campos, 1997).

La presencia de aguates también representa serios problemas en poscosecha; las tunas que tienen más aguates son más difíciles de cosechar, dado que los cosechadores tienden a evitar el contacto del fruto con toda su mano, entonces, para cortar la tuna la sujetan solamente con dos dedos para hacerla girar, en lugar de distribuir la fuerza en forma más uniforme, como cuando se usan todos los dedos. Esta lesión por compresión, conocida como "marca de dedos", afecta en mayor medida a las variedades de color claro (Cantwell, 1995).

El etileno puede facilitar la cosecha del fruto y la remoción de aguates (Cantwell, 1995). Por su parte Fucikovsky (1992) reportó que las enzimas pectolíticas producidas por ciertas bacterias pueden ablandar estos aguates. Aunque en México casi no se realiza así, en California y en Italia el corte de la tuna pegada a una porción del

cladodio (corte con botón) es una práctica común y efectiva para reducir los daños físicos en el corte (Foto 4.2).

Para facilitar la cosecha se han desarrollado herramientas o dispositivos manuales, muchos de los cuales consisten básicamente de un cuchillo cortador y un dispositivo o bolsa para retener al fruto ya cortado. Lara-Lopez y Manriquez-Yepes (1985), Lara-López y Torres-Ledesma (1986), citados por Cantwell (1995) han desarrollado prototipos de cosecha más avanzados. El daño mecánico que causan estas herramientas se consideró similar al registrado con una cosecha manual cuidadosa (Lara-López, 1992, citado por Cantwell, 1995). Sin embargo, de acuerdo con este último autor, aún se deben perfeccionar estas herramientas para mejorar la calidad poscosecha de los frutos.

Después de la cosecha, las tunas se van recolectando en recipientes de campo que generalmente son botes de lámina o cubetas de plástico. Las tunas deben depositarse en estos recipientes con todo cuidado, porque si no es así se pueden lesionar (daños mecánicos por impacto). Al principio, estas lesiones casi no se notan, pero después de algunos días se vuelven muy evidentes y, de hecho, son factores importantes del deterioro de la calidad del fruto y le dan mal aspecto (Corrales-García, 1992).

Los recipientes de campo llenos de fruta pueden ser llevados por los mismos cosechadores a un sitio de acopio o vaciados en una carretilla, la cual, una vez que se llena, se vacía en un sitio de acopio que se ubica dentro de la huerta; es recomendable que este sitio de acopio sea ubicado adecuadamente y de preferencia debe estar sombreado. La descarga de frutos se puede realizar sobre pasto, para minimizar los daños al realizar la siguiente operación que es la remoción de los aguates, o bien se puede descargar la fruta en un vehículo de transporte para su traslado a una planta empacadora, donde el desespinado se realiza mecánicamente (Corrales-García, 1997).

4.3.2. Desespinado

El desespinado consiste en remover los aguates del fruto, lo que resulta absolutamente necesario para poderlo comercializar. Esta operación se puede realizar en forma manual o mecánica. Probablemente en el futuro el desespinado se haga desde antes de la cosecha con aplicaciones de reguladores de crecimiento. Corrales-García y González-Martínez (2001) encontraron que en frutos de tuna (*Opuntia amyclaea* Tenore) aplicaciones por aspersión precosecha de ácido giberélico (100 ppm) en combinación con aplicaciones de ethephon (500 o 700 ppm) incrementaron la longitud y el número de gloquídeas por areola, pero con el efecto mecánico de la cosecha, el número de gloquídeas por areola se redujo significativamente, desde aproximadamente 316 hasta 8. Ninguno de los tratamientos afectó negativamente los atributos de calidad de las tunas. Los autores concluyeron que estos tratamientos indujeron, por un lado, mayor longitud de gloquídeas, lo que significa mayor brazo de palanca y mayor facilidad de la remoción mecánica de la misma, por la acción del aire o de la misma manipulación de la fruta al ser cosechada, y por otro, la maduración de las areolas (estructuras que soportan las gloquídeas) lo que explica la mayor abscisión (desprendimiento o caída de las gloquídeas). El desespinado mecánico (cepillado) de la fruta afecta adversamente la conservación de la calidad e incrementa la tasa de pérdida de agua y las pudriciones (Testoni y Eccher-Zerbini, 1990, citados por Inglese *et al.*, 2002).

En algunas regiones productoras del centro y sur de México, esta operación aún se realiza en forma manual, barriendo al fruto con ramas o escobas hasta eliminar los aguates totalmente; para ello, las tunas se extienden sobre el pasto y se dejan secar al sol hasta que se evapora el rocío para facilitar la remoción de los aguates, de lo contrario, éstos se quedan adheridos al agua del rocío y al fruto (Foto 4.2). Con el calentamiento solar, los frutos llegan a incrementar su temperatura considerablemente, lo cual acelera su deterioro, en detrimento de su calidad. Se ha observado (Guzmán, 1982) que el barrido causa considerables daños al fruto, que aumentan en gran

medida su grado de percibibilidad. En consideración de todo lo anterior, para eliminar el exceso de humedad y a la vez el calor de campo, sería más recomendable implementar o adaptar un secado o preenfriamiento con aire frío forzado, el cual podría aprovecharse también para eliminar parcial o totalmente los aguates (Corrales-García, 1992).

El desespinado es una de las acciones más importantes del manejo poscosecha de las tunas. La forma más práctica y recomendable de hacerlo es la mecánica. En la región centro-norte de México, se desarrollaron empíricamente algunos prototipos mecánicos que realizan esta función; estos prototipos, basados en máquinas limpiadoras de papas y pulidoras de durazno, fueron fabricados en la misma región con ayuda de mecánicos y técnicos locales, en la mayoría de los casos sin seguir un diseño ingenieril. Con base en peritajes técnicos, Corrales-García (no publicado) hizo una descripción y una evaluación técnica de las dimensiones, diseño, rendimiento, capacidad, desempeño y economía de máquinas desespadoras, para fundamentar técnicamente el desarrollo de un nuevo prototipo más eficiente. Adelante se mencionan los resultados más destacados de esta caracterización.

Son máquinas que desempeñan su función haciendo pasar los frutos de tuna a través de rodillos giratorios con cerdas de nailon, de crin de equinos o de una mezcla de éstas, que son movidos por motores eléctricos (Foto 4.3). Sus dimensiones varían de 7.4 a 22.0 m de largo, de 0.66 a 5.0 m de ancho y de 1.08 a 2.80 m de altura. El 60% de las máquinas se consideran de tamaño grande; en promedio, tienen una capacidad de desespinado de 3.14 toneladas por hora.

El sistema de alimentación (manual) consiste en una tolva de entrada metálica, cuya capacidad varía de 22 a 50 kg. Las dimensiones promedio de estas tolvas son de 1.06 m de ancho (adecuado) y 1.03 m de altura (ligeramente excedida); con tolvas de menor altura sería más fácil la operación de descarga, se requeriría menor esfuerzo físico y se reducirían los riesgos de lesionar la fruta al descargarla.

El sistema de descarga y succión de espinas es necesario, puesto que permite desechar rápidamente las espinas, impidiendo que éstas se acumulen, lo que favorece todo el proceso. La capacidad de los motores recomendada para mover este sistema puede ser de 2 a 2.5 caballos de fuerza (HP).

El principio de funcionamiento del sistema de desespinado implica el uso de rodillos superiores e inferiores, recubiertos con cerdas; el ángulo que se forma al juntar dos rodillos a cierta distancia en forma paralela es el que se aprovecha para colocar la tuna, y el movimiento rotatorio de éstos hace que ésta gire sobre su propio eje, lo que ayuda a mantener un contacto casi completo de la superficie del fruto con las cerdas de los rodillos, de tal manera que sobre éste se ejercen fuerzas perpendiculares a los rodillos y fuerzas de fricción tangenciales a los mismos que remueven los aguates del fruto.

Las máquinas presentan de 3 a 7 rodillos superiores y de 8 a 31 inferiores. La longitud de éstos varía de 0.60 a 1.30 m. El diámetro de los rodillos superiores oscila entre 0.19 y 0.38 m. Los rodillos inferiores tienen un diámetro de 0.12 m. Con base en las características morfológicas de la gama de variedades de tuna que se tienen, se sugieren diámetros de entre 0.25 y 0.35 m para los rodillos superiores y de entre 0.11 y 0.13 m para los inferiores.

El ajuste de la separación entre los rodillos superiores y los inferiores es de suma importancia, pues de ello depende fundamentalmente el porcentaje de aguates residuales y en cierta medida el manchado de la tuna.

4.3.3. Encerado

El encerado consiste en aplicar una emulsión de cera a las tunas (después del desespinado) ya sea por inmersión o por aspersión.

Los recubrimientos con base en emulsiones de ceras se han venido usando desde hace varios años con el propósito de controlar la pérdida de agua por transpiración, disminuir la intensidad de los cambios propios de la maduración y/o senescencia, como la respiración, y proporcionar un mejor aspecto visual a los frutos (mayor

brillo), esto es, con el encerado se pretende lograr una mejor y más prolongada conservación de los frutos (Hall, 1981).

En el mercado existen muchos tipos de ceras con diferentes características y para propósitos específicos. Los atributos de las diferentes formulaciones de ceras varían de acuerdo a los ingredientes y al método de fabricación, lo cual determina el tamaño de partículas y su distribución sobre la superficie del fruto (Martínez-Jávega *et al.*, 1983).

Es necesario conocer las características de permeabilidad y brillantez que puedan aportar a los frutos las ceras para mejorar la práctica de su uso. Los datos más necesarios son la permeabilidad y la concentración de sólidos, pero estos datos, generalmente no son proporcionados por los fabricantes, quienes, además, en muchas ocasiones cambian la formulación de las ceras, por lo que resulta poco útil e insuficiente identificarlas con el nombre comercial.

Estrella-Bolio (1977), en un estudio que realizó sobre el efecto de la aplicación de diferentes tipos de cera (TAG, Flavor Seal, Candelilla y DECCO-31) encontró que la cera que más redujo las pérdidas de peso y las pudriciones fue la de candelilla. Sin embargo, en frutos de *O. Amyclaea* T., después de 15 días a 5°C, Rodríguez-Félix *et al.* (1992) encontraron que dicha cera (fórmula CONAZA C-9) redujo las pérdidas de peso, pero no redujo ni los daños por frío ni las pudriciones. Principalmente las ceras al agua, son utilizadas como vehículos para la aplicación de fungicidas en poscosecha. Con esta práctica se puede lograr una reducción significativa de los daños patológicos, sin embargo, el control no es tan bueno como el obtenido con la aplicación por separado del fungicida primero y luego el encerado (Brown, 1980).

Una de las posibles causas de la disminución del efecto de los fungicidas aplicados en combinación con ceras es que el fungicida es encapsulado por la cera y así ya no es lo suficientemente rápido en el control del patógeno, especialmente cuando la colonia ya se ha establecido (Hall, 1981).

Lo que se debe buscar con la aplicación de ceras es reducir los daños por frío y el abrillantamiento del fruto, pero no un control efectivo de patógenos, lo cual se logró con el uso preventivo de fungicidas adecuados y permitidos. La aplicación comercial de ceras generalmente no se realiza en México.

4.3.4. Selección y empaque

La tuna se selecciona por calidad y tamaño. La selección por calidad deben realizarla personas que estén debidamente capacitadas para reconocer y separar frutos con daños mecánicos, podridos o malformados, además, es necesario que realicen su trabajo bajo las mejores condiciones de operación (Foto 4.4). La selección por tamaño se puede efectuar manual o mecánicamente. Esta selección es necesaria, porque además de garantizar la uniformidad del producto permite estandarizar los patrones de empaque (Corrales-García, 1997).

La finalidad de empaquetar la tuna es proporcionar al producto las condiciones adecuadas para que durante el transporte al mercado no se dañe, facilitar su manipulación y darle una presentación atractiva que motive su compra y consumo (Corrales-García, 1992).

Para el acomodo de la fruta en la caja es recomendable seguir patrones geométricos vistosos que mejoren su presentación. El acomodo en diagonal es muy conveniente, sin embargo, implica un tamaño homogéneo de las frutas, lo que se resuelve con un dimensionamiento bien controlado. Se debe buscar el acomodo más conveniente, según el tamaño de la fruta, y las dimensiones de la caja. Con la disposición en todos los sentidos, la colocación de la fruta es menos firme y causa deterioro, pero tiene la ventaja de que las dimensiones del envase con respecto al tamaño de la fruta pierde importancia. Este sistema es más satisfactorio cuando los frutos se envuelven con papel en forma individual. La envoltura individual en papel muy delgado, pero resistente (tissue paper) da mayor protección y presentación al producto, además de que se conserva en

mejores condiciones y disminuye el contagio de pudriciones entre los frutos (Foto 4.5).

Los papeles de envoltura pueden estar impregnados con fungicidas o sustancias antioxidantes permitidas. Al llenar las cajas se debe verificar el número, peso, calidad y tamaño de los frutos, a fin de que se ajusten a lo declarado en la etiqueta del envase (Corrales-García, 1992).

La tuna se envasa en rejas de madera para el mercado nacional (Foto 4.10) o en cajas de cartón para el mercado de exportación. Generalmente las rejas se sobrellenan con la idea de aprovechar el envase al máximo y así manejar mayor cantidad de producto, sin embargo, al hacer esto se provocan serios daños por compresión y considerables mermas en el producto.

De acuerdo con Cantwell (1995), debido al manejo rudo, el daño mecánico poscosecha es muy común en la tuna, las lesiones ocurren principalmente cuando los frutos se transfieren desde los recipientes de campo a las rejas de madera, por sobrellenado de las rejas, y por un mal llenado y/o estibado de éstas.

Otro problema de estos envases es que al ser reutilizados (una aparente ventaja) son fuente de microorganismos que provocan infección y descomposición del producto. Esto se puede resolver en parte con un tratamiento fungicida a las rejas antes de su reutilización.

Las rejas de madera con tunas ya empacadas se cubren con papel y son transportadas y comercializadas bajo condiciones ambientales naturales (Foto 4.6. En el mercado mexicano, las tunas "Blancas" son las más populares y son comercializadas en cuatro estados de calidad, determinados según el tamaño y la tolerancia de defectos (Rodríguez-Félix, 1991).

El envase de cartón tiene importantes ventajas sobre el de madera, ya que sus paredes internas son más lisas y blandas (la fruta se daña menos), y su peso y tamaño por volumen de producto manejado es menor, con lo que se ahorra en fletes y gastos de almacenamiento, además, sobre el envase de cartón se puede imprimir la marca comercial del producto, leyendas de sus características, ori-

gen y diseño o dibujos llamativos, que aumentan su atractivo comercial (Foto 4.7). Los inconvenientes de la caja de cartón son su alto costo y menor resistencia mecánica y a la humedad, además de que su reutilización es limitada y poco conveniente (Corrales-García, 1992).

Las operaciones poscosecha de la tuna con calidad de exportación implican un manejo más tecnificado, los frutos son cuidadosamente cosechados y colocados en recipientes de campo poco profundos, luego son desespinaados mecánicamente, encerados, seleccionados por defectos, dimensionados y empacados. Se prefieren los frutos de mayor tamaño, libres de defectos y de color uniforme. Los frutos pueden envolverse en un papel muy delgado pero resistente, y luego empacados en capas sencillas o dobles en cajas de cartón que así alcanzan un peso de alrededor de 5 kg. Para el empaqueo de tuna de exportación también se han usado charolas de plástico de capa sencilla o doble, tales como las utilizadas para empacar frutos de kiwi o de durazno (Cantwell), 1995).

El manejo de la tuna en algunas empacadoras del centro-norte de México fue caracterizado por Corrales-García (1995), quien concluyó que, en general, la eficiencia de las plantas empacadoras estudiadas es baja, el proceso de empaque es deficiente y ocasiona deterioro de la calidad del producto. Adelante se mencionan algunas otras conclusiones del mismo autor.

Algunas plantas empacadoras tienen problemas en la distribución del personal por áreas de trabajo. En todas las plantas se registró exceso de trabajo para sus empleados, que implica jornadas muy prolongadas, con pocos o nulos recesos, especialmente en plena temporada. Este exceso de trabajo repercute negativamente en el rendimiento y eficiencia del trabajo de los seleccionadores, empacadores y demás trabajadores, más aún si se trata de personal carente de experiencia, de adiestramiento y de supervisión, y las condiciones de trabajo (diseño y dimensión de mesas de selección, disponibilidad de luz, espaciamento, etc.) no son las apropiadas. Lo anterior finalmente repercute en la falta de calidad y uniformidad del pro-

ducto, aspectos de suma importancia cuando éste se destina al mercado de exportación. Además, en muchas plantas empacadoras, los seleccionadores no tienen un dominio visual completo de la superficie de los frutos que van a seleccionar, los flujos de producto en las bandas de selección en muchos casos no son adecuados, por lo que se genera el problema de una selección deficiente. La selección por tamaño es manual y no se realiza en todas las plantas.

En general, en las empacadoras no se inmoviliza o se fija de la mejor manera el producto dentro del empaque de cartón. En el caso de las rejillas de madera, los empacadores tienden a sobrellenar los envases, lo que es causa de daños mecánicos (por compresión) en el producto cuando se estiban las rejillas.

Otros problemas observados en forma generalizada en las plantas de empaque son la falta de almacenes (en especial de cuartos fríos) y de preenfriamiento del producto.

4.3.5. Almacenamiento y transporte

En tunas, como en la gran mayoría de las frutas, el factor más importante para reducir su deterioro es la temperatura baja, sin embargo, la frigoconservación de tuna también puede causar daños por frío, dependiendo de algunos factores, como la temperatura, el tiempo de exposición y la variedad. Chávez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) reportaron daños por frío en frutos de *O. amyclaea* y *O. ficus indica* almacenados a 8 o 10 °C por 15 días.

Algunos otros autores también han encontrado que la tuna es susceptible a los daños por frío, sin embargo, Berger *et al.* (1978) informaron que después de un almacenamiento de hasta dos meses a 0 °C los frutos de *O. ficus indica* resultaron relativamente tolerantes a este ambiente. Esta posible controversia puede deberse, probablemente a que la incidencia de daños por frío también depende de la susceptibilidad de cada variedad. Con respecto a este factor, Corrales-García *et al.* (1997) estudiaron la respuesta a la frigoconservación (9 °C, 90% HR, por 60 días) de 6 variedades de tuna y encontraron que las variedades más susceptibles a los daños por frío

fueron "Torreaja" y "Copena", mientras que las más tolerantes fueron "Burrón" y "Cristalina".

De acuerdo con Cantwell (1995), con la frigoconservación en cajas de cartón, pero dentro de bolsas de plástico (de diferentes películas), se tiene algún tipo de atmósfera modificada que reduce significativamente las pérdidas de peso, sin embargo, se recomienda colocar papel o algún material absorbente dentro del embalaje para mover la humedad condensada, pues de no hacerlo estas condensaciones pueden favorecer el desarrollo microbiano (Cantwell, no publicado; Rodríguez-Félix *et al.*, 1992).

El empaqueo con películas plásticas de polietileno encogibles al calor, reduce considerablemente la pérdida de peso de la tuna, aminora el daño por frío, y le confiere una mejor apariencia, pero no reduce la pudrición durante 6 semanas de frigoconservación a 6 °C y subsecuente comercialización a 20 °C (Piga *et al.*, 1996, citados por Ingles *et al.*, 2002). El envoltimiento con película de poliolefina retiene la frescura de la tuna y reduce considerablemente la pérdida de peso de la fruta durante cuatro semanas de frigoconservación a 9 °C y subsecuente comercialización (Piga *et al.*, 1996, citados por Ingles *et al.*, 2002).

La tasa de pérdida de agua se incrementa durante la frigoconservación y el subsecuente periodo de comercialización, y ésta se incrementa más en la fruta de verano que en la de otoño, presumiblemente debido a una mayor tasa metabólica, resultado de las mayores temperaturas del verano (Monselise y Goren, 1987). Los incrementos notorios en la pérdida de peso cuando las frutas se remueven de las temperaturas de frigoconservación a condiciones no refrigeradas, se han relacionado con fracturas microscópicas en la cáscara (Cohen *et al.*, 1994), sobre las cuales ocurre el desarrollo de pudriciones durante el periodo de comercialización.

Generalmente se recomienda conservar las frutas en cuartos fríos ventilados a 6-8 °C y 90-95% de humedad relativa para lograr una vida de almacén de hasta tres a cuatro semanas (Gorini *et al.*, 1993, citados por Ingles *et al.*, 2002; Chessa y Barbera, 1984; Cantwell,

1995). Con almacenamientos más prolongados se pueden incrementar considerablemente las pérdidas por pudriciones y/o daños por frío, especialmente cuando las frutas se transfieren de la frigoconservación al mercado. Chessa y Barbera (1984) encontraron 84% de pudrición en la tuna “Gialla” de otoño, después de 60 días de frigoconservación a 8 °C, y de 67% a 5 °C.

La frigoconservación durante seis semanas con “calentamientos intermitentes” a 8 °C por cuatro días por cada 10 días a 2 °C reduce daños por frío y por pudriciones, en comparación a una frigoconservación a temperatura constante a 6 °C (Chessa y Schirra, 1990). La frigoconservación en ciclos de tres semanas a 2 °C seguidos por una semana a 8 °C baja a la mitad las pudriciones, en comparación con la frigoconservación continua a 5 u 8 °C (Gorini *et al.*, 1993, citados por Inglese *et al.*, 2002).

En cuanto a la frigoconservación de tuna en atmósfera controlada, Corrales-García y Morales-Casique, en su estudio (no publicado) encontraron que efectivamente se logra una reducción significativa de daños por frío con la aplicación de atmósferas controladas en la frigoconservación, además de que se logra mantener la calidad del producto.

El almacenaje a 5 °C bajo una atmósfera controlada de 2% O₂ y 2% o 5% CO₂ reduce la pudrición en aproximadamente 77%, aminora los daños por frío y disminuye las pérdidas de agua, lo que da por resultado frutas de mejor apariencia, en comparación con las almacenadas en una atmósfera normal (Testoni y Eccher-Zerbini, 1990, citados por Inglese *et al.*, 2002).

La aspersión poscosecha de ácido giberélico aumenta la resistencia de la fruta a las pudriciones, pero promueve la susceptibilidad a los daños por frío (Schirra *et al.*, 1999a). La microscopía de barrido de electrones indica que este efecto está relacionado con un retraso en la maduración de la cáscara (Schirra *et al.*, 1999b), y efectos similares ocurren en seguida de hacer aspersiones de 20g•l⁻¹ de CaCl₂ (Schirra *et al.*, 1997b, 1999b).

Las inmersiones poscosecha (baños) en soluciones de fungicidas convencionales, tales como benomyl, captan, y vinclozolin, generalmente no son efectivas para controlar pudriciones en tuna, aunque el thiabendazole (TBZ) suprime el desarrollo de pudriciones en forma efectiva y mitiga la expresión de daños por frío (Gorini *et al.*, 1993, citados por Inglese *et al.*, 2002). Las inmersiones (dos minutos) con una mezcla caliente (48-50 °C) que contenga 0:250 mg•l⁻¹ de benomyl y 1050 mg•l⁻¹ de betran reduce pudriciones durante 8 semanas de almacenamiento a 0 °C y de 80 a 85% de humedad relativa (Berger *et al.*, 1978). El incremento de la eficiencia de los fungicidas calentados refleja una mejor absorción y cobertura del fungicida (Cabras *et al.*, 1999). La inmersión de la tuna en TBZ, en proporción de 1 mg•l⁻¹, a 55 °C por cinco minutos reduce significativamente las pérdidas inducidas por frío y por pudrición en frutas de final de temporada durante cuatro semanas de frigoconservación a 6 °C, seguidas por una de comercialización a 20 °C, sin causar daños por el calentamiento o efectos detrimentales en la firmeza de la fruta, aroma, sabor, o apariencia de la cáscara (Schirra *et al.*, 1996). Se tienen resultados similares con inmersiones en agua caliente, lo cual también ayuda a remover gloquídeas, que, como se sabe, causan numerosas micro-lesiones en la epidermis, las cuales representan puntos de entrada a agentes patógenos.

Para reducir la incidencia de daños por frío también se puede usar alta humedad relativa en el almacén, encerar los frutos o aplicar "calentamientos" intermitentes (Salveit y Morris, 1990; Wang, 1990). Sin embargo, el "calentamiento" intermitente, en el caso de las tunas resulta poco práctico a nivel comercial (Cantwell, 1995).

El tratamiento con aire caliente por 24 horas a 38 °C y menos de 95% de humedad relativa reduce daños por frío (Schirra *et al.*, 1996). Para las tunas de verano, este tratamiento con aire caliente reduce las pudriciones cuatro veces, mientras que un tratamiento por 48-72 horas, previo a las tres semanas a 6 °C y una semana a 20 °C reduce a la mitad la pudrición (Schirra *et al.*, 1997^a). Los tratamientos con aire caliente conducen a una mejor apariencia externa de la

fruta y a una menor pérdida de peso, especialmente en las tunas tratadas por 48 o 72 horas. Generalmente, los niveles de ácido ascórbico son menores en todas las tunas después de someterlas a condiciones simuladas de vida de anaquel.

El papel que juegan los tratamientos térmicos en el control de pudriciones se ha relacionado con la inhibición de la germinación y el crecimiento de esporas, un retraso que puede permitirle a la fruta reconstituir sus mecanismos de resistencia en los puntos dañados, y una estimulación de las respuestas de defensa del huésped, tales como la aceleración del sanado de heridas, la inducción de las proteínas de choque térmico, liberación de compuestos antifúngicos, estabilización de membranas, y cambios en la actividad enzimática (Lurie, 1998). Estudios ultraestructurales han demostrado que en la superficie de la epidermis de la tuna madura aparecen áreas con capas cerosas en forma de plaquetas (Chessa *et al.*, 1992; D'hallewin *et al.*, 1999) y las microlesiones en la piel causadas por las gloquídeas durante el manejo de la fruta (Schirra *et al.*, 1999b). Los tratamientos poscosecha con agua caliente a 50 °C por 2 minutos o aire caliente por 24 a 72 horas a 37 °C y menor de 95% de humedad relativa aparentemente funden y reacomodan la cera epicuticular (D'hallewin *et al.*, 1999; Schirra *et al.*, 1999b). La mayoría de las plaquetas se aplanan y se reacomodan dejando menos espacios entre una y otra, las microlesiones y los estomas se rellenan, parcial o completamente, de la cera fundida (Schirra *et al.*, 1999b). Más aún, las primeras esporas en germinación son cubiertas y momificadas por la cera derretida. Así, los efectos benéficos de los tratamientos térmicos sobre el control de pudriciones se puede deber al derretido y reacomodo de las capas cerosas epicuticulares y el subsecuente relleno de los posibles puntos de entrada de agentes patógenos (Inglese *et al.*, 2002).

El transporte de las tunas en el mercado doméstico de México es por vía terrestre en vehículos motorizados de carga no refrigerados, en algunos casos por carreteras en mal estado, lo que acentúa los daños mecánicos por vibración excesiva y por golpeteo a los frutos.

Para la comercialización de la tuna en el mercado de exportación, principalmente se utilizan vehículos refrigerados.

4.3.6. *Precortado, procesamiento mínimo o fruta cortada fresca*

Las formas de manejo de las tunas son muy diversas (Corrales-García, 1997). De éstas, probablemente la de fruta cortada fresca o mínimamente procesada sea la de mayor potencial, porque permite mantener el principal atributo de este fruto, que es su condición de fresca, succulencia y jugosidad.

Precortado, procesamiento mínimo o fruta cortada fresca (fresh-cut-fruit) son términos equivalentes para denominar el manejo, preparación o distribución de productos hortofrutícolas en un estado prácticamente fresco. El procesamiento mínimo puede incluir todas las operaciones unitarias (lavado, selección, pelado, rebanado, y otras) que generalmente se utilizan en la industria de enlatado, congelado o deshidratación de alimentos, pero sin incluir el proceso de escaldado, o sea de cocción leve para la inactivación de enzimas (Avena, 1996).

El procesamiento mínimo puede incluir procesos como lavado, cortado, descorazonado y pelado, entre otros, mediante los cuales se introducen al mercado, por ejemplo, lechugas y coles empacadas ya picadas, papas rebanadas y peladas, espinacas limpias y en buen estado, paquetes de ensaladas mezcladas, zanahoria y apio en trozos, cebollas picadas, manzanas, mangos, melones, sandías y otras frutas cortadas y enfriadas, naranjas y toronjas peladas y en gajos, piñas descorazonadas, etc. (Huxsoll y Bolin, 1989; Myers, 1989; Kerbel, 1992).

Los cambios degradativos que normalmente ocurren durante la senescencia son acentuados o acelerados por los daños físicos causados a los tejidos vegetales durante las operaciones de preparación, tales como pelado y rebanado, entre otras.

Las posibles manifestaciones que pueden ocurrir al romper células de los tejidos vegetales (pérdida de la integridad celular) incluyen un aumento en la tasa de respiración y en la producción de etileno, oscurecimiento enzimático, pérdida de textura, desarrollo

de sabores desagradables, pérdida de calidad nutricional (pérdida de vitaminas), aumento en la susceptibilidad a la invasión de microorganismos y aceleramiento de la senescencia (Myers, 1989).

El mismo autor hizo notar que las técnicas de empaque y selección de materiales de empaque juegan un papel muy importante en la calidad del producto terminado, al disminuir el crecimiento microbiano y, en consecuencia, aumentar la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados.

Los aspectos importantes a considerar en la selección de los materiales y sistemas de empaque incluyen: resistencia mecánica de la película, capacidad en volumen, características de manejo, resistencia al producto, permeabilidad a gases (CO₂, O₂, y etileno, entre otros) y al vapor de agua, facilidad para la impresión de leyendas y economía (Huxsoll y Bolin, 1989).

En México, una parte reducida de la comercialización de las tunas se efectúa en forma semiprocesada (fruta cortada fresca), producto que se vende a la orilla de las carreteras aledañas a las zonas de producción, sin embargo, esto se hace de manera improvisada, empírica y heterogénea, en virtud de que aún no se cuenta con la información técnica necesaria.

Al respecto, Ayala-Valencia y Franco-Espinosa (1998), bajo condiciones experimentales, lograron una vida útil máxima de 20 días a 4 °C en frutos mínimamente procesados (solamente pelados) de *O. amyclaea* Tenore, empacados en bolsas selladas de polipropileno biorientado de 25 micrómetros de espesor. Los autores recomendaron manejar el producto con la máxima higiene, tener un buen control de la temperatura y eliminar su calor de campo antes de someterlo al procesamiento mínimo.

4.4. Fisiología del nopal verdura (nopalitos)

4.4.1. Caracterización del producto

El nopal verdura (nopalitos) son los brotes tiernos del nopal, no son hojas sino tallos aplanados, también llamados cladodios (en inglés:

cladodes o cactus leaves) en cuyas primeras etapas de crecimiento están presentes vestigios de hojas verdaderas subtendidas por espinas, pero las hojas usualmente empiezan a caer cuando los nopalitos van alcanzando su tamaño comercial (Cantwell, 1995).

Se trata de órganos suculentos, cuya epidermis consta de una capa de células epidérmicas y de 6 a 7 capas de células hipodermales, de pared celular muy gruesa. La epidermis tiene tres funciones: 1) regular el movimiento del bióxido de carbono hacia el interior y del oxígeno hacia el exterior del cladodio, 2) retener el agua por dentro del cladodio y 3) proteger al cladodio del ataque de hongos, bacterias, insectos y otras plagas, y de la insolación intensa (Mauseth, 1984, citado por Sudzuki, 1995).

La parte más externa de la epidermis, la cutícula, está formada por capas de cutina, sustancia lipóide formada por una mezcla de ácidos grasos que se polimerizan espontáneamente en presencia de oxígeno y que repele el agua. La cutícula del nopal, en comparación con la de la mayoría de las plantas, es relativamente gruesa, de 8 a 20 μm en *O. ficus indica* (Sudzuki, 1995).

En general, la naturaleza química y la estructura de las capas de cutina están diseñadas para minimizar la transpiración, además, su color blanco refleja gran parte de la radiación solar, lo que ayuda a mantener baja la temperatura del cladodio. Por otro lado, las características químicas de esta estructura y su arreglo no permiten que sea fácilmente digerida por microorganismos (Gibson y Nobel, 1986, citados por Sudzuki, 1995).

Otra característica sobresaliente de los nopalitos es la gran cantidad de mucílago que contienen. Esta sustancia es un carbohidrato viscoso, complejo e indigerible (Gibson y Nobel, 1986, citados por Sudzuki, 1995). La función de este componente aún no está bien comprendida, pero generalmente se piensa que ayuda a retener agua dentro de la planta (Sudzuki, 1995).

Los nopalitos de buena calidad son delgados, de apariencia fresca, turgentes y tienen un color verde brillante. Después de ser cuidadosamente desespinaados se pueden consumir, tanto en estado fresco

como cocidos. Su sabor se parece un poco al de los ejotes (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

Los nopalitos contienen principalmente agua (92%) y carbohidratos, incluyendo fibra (4-6%), un poco de proteína (1-2%) y minerales, principalmente calcio (1%). También contienen cantidades considerables de vitamina C (10-15 mg 100 g⁻¹) y del precursor de la vitamina A, el β -caroteno (30 μ g 100 g⁻¹ de carotenoides) (Feitosa-Tales *et. al.*, 1984; Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

La acidez de los nopalitos varía considerablemente (0.1-0.6% de acidez titulable) dependiendo de la hora del día, debido al metabolismo ácido crasuláceo que presenta esta planta. Esta variación afecta al sabor. Los nopalitos son más ácidos al amanecer, pero su acidez empieza a bajar rápidamente a partir de aproximadamente las 7 am (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988).

4.4.2. *Comportamiento fisiológico y metabólico*

Los nopalitos son órganos que siguen el metabolismo ácido crasuláceo, es decir, que la planta, para llevar a cabo la fotosíntesis, absorbe el CO₂ durante la noche, aprovechando que sus estomas se encuentran abiertos. Durante el periodo oscuro, el almidón se degrada por glicólisis hasta fosfoenol piruvato (PEP). El CO₂ absorbido reacciona con el PEP para formar oxalacetato, el cual luego se reduce a ácido málico. Entonces, durante la noche este ácido se va acumulando en las vacuolas de las células epidérmicas, donde su concentración puede llegar a 0.3 M o más, hasta que sale el sol. Esta acumulación hace muy negativo el potencial osmótico de las células, de manera que las plantas pueden absorber agua y almacenarla aun cuando se encuentren en suelo salino o con escasa humedad. Durante el día, con la luz, el ácido málico se difunde pasivamente hacia afuera de las vacuolas y se descarboxila. El CO₂ que se libera se concentra en las células y se vuelve a fijar (sin fotorespiración) al reaccionar con la ribulosa 5-fosfato, para formar dos moléculas de ácido fosfoglicérico e iniciar con esto las reacciones del ciclo de Calvin, que conduce a la formación de glucosa, sacaro-

sa, almidón y otros productos fotosintéticos (Salisbury y Ross, 1994), siendo esto posible por la disponibilidad de energía luminosa y a pesar de que los estomas se mantengan cerrados para evitar la pérdida de agua por transpiración.

Una consecuencia práctica del metabolismo ácido crasuláceo en los nopalitos es que su acidez, que es muy alta al amanecer, baja rápidamente durante las primeras horas de la mañana.

En poscosecha, los nopalitos presentan un comportamiento fisiológico muy simple, es decir, no presentan cambios bioquímicos importantes, como tampoco presentan cambios significativos en su actividad respiratoria ni en la producción de etileno, a no ser que se lesionen. Sin embargo, los nopalitos son altamente perecederos, puesto que su deterioro patológico o por deshidratación es muy acelerado.

Los nopalitos tienen tasas de respiración moderadas, semejantes a las de zanahorias, lechugas y apios. La actividad respiratoria de los nopalitos en poscosecha sigue un comportamiento a la baja; en general, la intensidad respiratoria depende principalmente de la temperatura y de su estado fisiológico. Los nopalitos conservados a 20 °C, al principio respiran alrededor de 55 $\mu\text{l CO}_2 \bullet \text{g}^{-1}$ (Cantwell, 1992).

La tasa de respiración de los nopalitos tiernos (de 10 cm de longitud) son de 25 a 50% más altas que las tasas de producción de bióxido de carbono de los más desarrollados (de 20 cm de longitud) cuyo metabolismo ácido crasuláceo ya se encuentra activo. Por otro lado, las tasas de producción de etileno de los nopalitos son muy bajas y muy similares a las de otras hortalizas verdes, también llamadas verduras (Cantwell, 1992).

El contenido de ácido de los nopalitos en poscosecha puede verse alterado en función de las temperaturas de almacenamiento. La frigoconservación (5 °C) mantiene o incrementa la acidez, mientras que el almacenamiento a 20 °C da como resultado su disminución (Cantwell, 1992).

4.4.3. Principales factores de deterioro

Al igual que la tuna, las causas del deterioro de los nopalitos pueden ser de origen biótico o abiótico.

Con respecto al primero, aunque su actividad respiratoria en poscosecha es moderada y su producción de etileno es muy reducida, los nopalitos resultan muy perecederos, lo cual se debe en primera instancia a daño físico (rasgadura de tejidos) causados por un mal corte. El tejido dañado queda expuesto al medio ambiente y fácilmente puede ser infectado por microorganismos. Este ataque microbiano también puede darse en las heridas causadas en el proceso de desespinado (manual o mecánico) del producto, lo cual se explica por la misma razón, es decir, los tejidos suculentos del nopalito, al perder su epidermis, que es una barrera protectora natural muy efectiva, quedan expuestos a las infecciones por microorganismos.

Ramayo-Ramírez *et al.*, (1978a) encontraron que los principales microorganismos que causaron pudrimiento en los nopalitos fueron identificados como *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., y una bacteria gram positiva del género *Bacillus*.

En cuanto a los factores de deterioro de origen abiótico, las condiciones atmosféricas del entorno o del almacén, tales como las altas temperaturas, la baja humedad relativa y el viento o la ventilación excesiva provocan serios problemas de deshidratación, especialmente en los nopalitos ya acondicionados (desespinaados) para su comercialización.

Otro factor importante de deterioro de origen abiótico son las temperaturas extremas de refrigeración, en virtud de que los nopalitos también son susceptibles a los daños por frío, fisiopatía que en un principio se manifiesta como una decoloración superficial difusa que da mal aspecto o como manchas de color "bronceado". Si los daños por frío llegan a ser suficientemente severos, los nopalitos se deterioran muy rápidamente al ser removidos del cuarto frío y luego comercializados a temperatura ambiente (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978b).

De acuerdo con Cantwell (1992), antes de que aparezcan los síntomas visuales de los daños por frío, el daño por baja temperatura se manifiesta en un incremento de las tasas de respiración y de producción de etileno.

Al parecer, existen ciertas diferencias en la susceptibilidad a los daños por frío entre nopalitos de diferentes especies de *Opuntia* y entre diferentes estados de desarrollo (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978a y 1978b; Cantwell, 1992).

4.5. Operaciones poscosecha de nopal verdura

4.5.1. Cosecha

La cosecha de nopalitos se realiza en forma manual, con o sin ayuda de un cuchillo; de cualquier forma, se recomienda usar guantes de tela gruesa, de hule o de cuero. Cuando no se utiliza cuchillo, el cosechador sostiene y junta en una de sus manos los nopalitos que va cortando con la otra, luego los coloca en recipientes de cosecha (canastos). Para efectuar el corte, el cosechador toma al nopalito por su parte inferior y le da un giro de más de 90° hasta desprenderlo de la penca madre. Si esta operación no se realiza con cuidado, los tejidos se pueden desgarrar y quedar porciones del cladodio en la penca madre, lo cual representa un peligro de infección por algunos patógenos.

Cuando el cosechador corta el nopalito con un cuchillo en la base, logra una separación más uniforme y limpia (Foto 4.8). De cualquier modo, es aconsejable que el producto ya cortado se proteja inmediatamente del sol para no acelerar su metabolismo y evitar su deshidratación, con lo cual aumentan su potencial de comercialización y vida de anaquel (Corrales-García, 1992).

En México, la temporada de cosecha comprende desde marzo hasta septiembre u octubre en las plantaciones a cielo abierto y durante el invierno en las plantaciones bajo microtúnel. La cosecha se puede realizar al medio día, pero principalmente se hace en la mañana, muy temprano, para dar oportunidad a que el mismo día se

pueda vender el producto en los mercados locales o incluso en el principal mercado, que es la Ciudad de México. En cuanto a la hora del corte, se debe considerar el metabolismo ácido crasuláceo que presenta el nopal (su acidez es alta al amanecer y ésta disminuye hacia el medio día, lo que hace variar su sabor).

El principal índice de cosecha para los nopalitos es su tamaño (18 a 23 cm). Si la venta es por peso, conviene el mayor tamaño, pero se debe tomar en cuenta que entre más crecidos se cosechen, los nopalitos serán más fibrosos o correosos, con lo cual pierden uno de sus principales atributos que es su terneza (Corrales-García, 1997).

4.5.2. Acondicionamiento y empaque

Luego de su cosecha, por lo común los nopalitos se llevan directamente al mercado local sin ningún tipo de acondicionamiento, incluso con espinas. Para envío a mercados distantes, los nopalitos se empacan en un área sombreada. El empaqueo protege y facilita la comercialización y el transporte del producto.

La forma en que se transportan los nopalitos para su venta va de acuerdo con el lugar donde se producen y de la distancia al mercado de destino. Al respecto se han identificado las siguientes modalidades: a) a granel en camioneta (pick up), para transportar nopalitos a distancias cortas (mercados locales), b) en canastos o colotes con capacidad aproximada de 299 piezas, para el mismo fin, c) en costales con capacidad de entre 500 y 550 piezas, d) en cajas de cartón o de madera de 10 a 15 kg de capacidad, para la comercialización de los nopalitos producidos en California, EE.UU. o en México cerca de la frontera y, e) en pacas cilíndricas, modalidad estructural que surgió a mediados de los años 60, en sustitución de la paca cuadrada que se utilizaba anteriormente.

La paca se utiliza para la venta del producto en la Central de Abasto de la Ciudad de México o de alguna otra ciudad del centro del país. Este empaque consiste en una estructura cilíndrica vertical, de 1.8 a 1.9 m de alto y 80 a 90 cm de diámetro, formada por una

cantidad de entre 2,500 y 3,000 piezas o raquetas (Corrales-García, 1992).

Para la conformación de estas pacas, primeramente se extiende un lienzo de manta limpia en el suelo, encima del cual se coloca un molde cilíndrico de metal sin fondo, de unos 20 a 30 cm de altura y de 70 a 80 cm de diámetro. En seguida se van acomodando horizontalmente los nopalitos sobre la manta en el interior del molde, siguiendo su forma circular hasta cubrirla totalmente, luego se forma otra capa de nopalitos encima de la primera, y así sucesivamente se van formando capas superpuestas (ver Foto 4.9). A medida que el molde se va llenando, éste se va subiendo gradualmente hasta llegar a la altura deseada. Al final se retira el molde y se coloca otra manta en la parte superior. La función de las mantas es proteger, contener, amarrar y dar solidez y resistencia a la paca. En cada uno de los cuatro vértices de dichas mantas se amarran cuerdas o lazos, las cuerdas de la manta superior se atan y tensan con las de la manta inferior (Corrales-García, 1997).

En virtud de que los periodos de comercialización son relativamente cortos (de uno a tres días) la paca ha resultado muy práctica. Sin embargo, de acuerdo con Cantwell (1991) si el periodo de comercialización fuera prolongado, en el centro de las pacas se generaría una cantidad considerable de calor, por la respiración de los nopalitos, que reduciría significativamente el peso y la calidad del producto, además de que causaría caídas de los pequeños vestigios foliares y la proliferación de pudriciones.

4.5.3. Procesamiento mínimo, precortado o verdura cortada fresca

Otra práctica de acondicionamiento obligada es el desespinado o "limpieza" de los nopalitos, lo cual generalmente se realiza en los mercados de destino, poco antes de su venta al detalle.

Esta práctica, que en sí se considera una forma de procesamiento mínimo, generalmente es realizada manualmente por personas con una habilidad muy desarrollada (Foto 4.10).

También existen prototipos para el desespinado mecánico del nopalito. El producto ya desespinado presenta un metabolismo más acelerado, se deshidrata y oxida muy rápidamente y su vida de anaquel es muy corta .

El precortado, procesamiento mínimo o verdura cortada fresca son sinónimos usados, tanto en México como en los Estados Unidos, para denominar otra modalidad del manejo poscosecha en fresco de los nopalitos. Algunos aspectos tecnológicos sobre este tema se han empezado a evaluar (Trachtenberg y Mayer, 1982; Cámara-Cabrales *et al.*, 1990; Rodríguez-Félix *et al.*, 1992; García-Olivares, 1997).

4.6. Literatura citada

- Alvarado, S. L. 1978. Fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto del nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, estado de México. 73 p.
- Archibald, E.E.A. 1935. The development of the ovule and seed of jointed Cactus (*Opuntia aurantiaca* Lindley). *South African Journal of Science*, Vol. XXXVI, pp. 195-211.
- Avena, B.R.S. 1996. Proceso de hortalizas precortadas. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo A.C. Boletín CIAD, Vol. 5, Núm. 4, julio-agosto, Sonora, México.
- Ayala- Valencia, G. y A.M. Franco-Espinosa. 1998. Efecto de películas plásticas en tuna (*Opuntia amyclaea* T.) mínimamente procesada. Tesis Profesional. Depto. de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México. 88 p.
- Barbera, G.; P. Inglese, y T. La Mantia. 1994. Influence of seed content on some characteristics of the fruit of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Scientia Hort.*, 58: 161-165.
- Barbera, G.; F. Carimi; P. Inglese, y M. Panno. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit develop-

- ment and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus indica* (L.) Miller. J. Hort. Sci. 67: 307-312.
- Berger, S.; Z. Ortuzar-R.; Auda-M.; L.A. Lizana-M., y A. Reszczynski-P. 1978. Conservación de tunas (*Opuntia ficus-indica*) en almacenaje refrigerado. Investigación Agrícola, 4 (1): 21-24.
- Bravo, H. 1978. Las Cactáceas de México. 2ª ed., Vol. 1, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Brown, G.E. 1980. Decay control with fungicides incorporated into water emulsion waxes. University of Florida. Packinghouse newsletter 11, 4 p.
- Cabras, P.; M. Schirra; V.L. Garau, y and A. Angioni. 1999. Factors affecting imazalil and thiabendazole uptake and persistence in oranges following dip treatments. Journal of Agricultural Food Chemistry 47, 3352-3354.
- Cantwell, M. 1995. Postharvest management of fruits and vegetables stems. En: G. Barbera; P. Imglese, y E. Pimienta-Barrios (eds.) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection Paper 132: 120-143.
- Cantwell, M. 1991. Quality and postharvest physiology of nopalitos and tunas. Proc. Second Annual Texas Prickly Pear Conference. Texas Prickly Pear Council. Mc Allen, Texas, pp. 50-66.
- Cantwell, M. 1986. Postharvest aspects of prickly pear fruits and vegetable cladodes. Perishables Handling. Univ. of Calif., Davis, 59, 6-9.
- Cantwell, M.; S. Montiel-Rodríguez; A. Vega-Flores y S. Ayala-Lizárraga. 1985. Cambios físicoquímicos durante la maduración y almacenamiento de tunas de selecciones de *Opuntia amyclaea*. I Congreso Nacional de Horticultura. Hermosillo, Sonora.
- Chávez-Franco, S. y C. Saucedo-Veloz. 1985. Conservación en refrigeración de dos variedades de tunas. Horticultura Mexicana 1 (1), 6-13.

- Chessa, I., Q. A. Cossu, y S. D'Aquino. 1992. Surface characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) fruit during development. Proceedings II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla. Santiago de Chile, pp. 86-92.
- Chessa, I., y M. Schirra. 1990. Prickly pear cv. "Gialla": intermittent and constant refrigeration trials. Abstracts, XXIII International Horticultural Congress. Florence, Italy, p. 689.
- Chessa, I., y G. Barbera. 1984. Indagine sulla frigoconservazione dei frutti della cv. Gialla di ficodindia. Frutticoltura 46: 57-61.
- Cohen, E.; B. Shapiro; Y. Shalom, y J. D. Klein. 1994. Water loss: A non destructive indicator of enhanced cell membrane permeability of chilling-injured citrus fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 110: 983-986.
- Corrales-García, J., y P. González-Martínez. 2001. Effect of gibberellic acid and (2-chloroethane) phosphonic acid on glochid abscission in cactus pear fruit (*Opuntia amyclaea* Tenore). Postharvest Biology and Technology 22: 151-157.
- Corrales-García, J. 1997. Poscosecha de la tuna y del nopal verdura. En: Vázquez-Alvarado., R.E.; C. Gallegos-Vázquez; N. Treviño-Hernández, y Y. Díaz-Torres (Comps.). "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, pp. 88-98.
- Corrales-García, J.; J. Andrade-Rodríguez, y E. Bernabé-Cruz. 1997. Responses of six cultivars of tuna fruits to cold-storage. Journal of the Professional Assoc. For Cactus Development, Vol. 2.
- Corrales-García, J. 1995a. Manejo post-cosecha del producto para el mercado nacional e internacional. En: C. A. Flores-Valdez; J. M. de Luna-Esquivel y P. P. Ramírez-Moreno (eds.). Mercado mundial de la tuna. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), pp. 63-70.

- Corrales-García, J. 1992. Descripción y análisis de la cosecha y del manejo en fresco de nopalito y tuna. En: S. Salazar y D. López (eds.). Memoria de Resúmenes del 5° Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional "Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México, 109 p.
- Curtis, J. R. 1977. Prickly pear farming in the Santa Clara Valley, California. *Econ. Bot.*, 31: 175-179.
- Cruz, H.P. 1983. Evaluación de selecciones de nopal tunero (*Opuntia* spp.) en la zona semidesértica del estado de Puebla. Memoria, VII Congreso Nacional de Fitogenética. Uruapan, Mich., pp. 456-471.
- D'hallewin, G., M. Schirra, y E. Manueddu. 1999. Effects of heat on epicuticular wax of cactus pear fruit. *Tropical Science* 39: 1-4.
- Estrella-Bolio, J.I. 1977. Efectos de recubrimientos de cera en Tuna Blanca. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F., 42 p.
- Feitosa-Teles, F-F.; J. W. Stull; W. H. Brown, y F. M. Whiting. 1984. Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *J. Sci. Fd. Agric.*, 35: 421-425.
- Franco-Moreno, F. y Rodríguez-Camps, J. 1997. Comportamiento fisiológico de diferentes variedades de tuna. Tesis Profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México, 89 p.
- Fucikovsky, L. 1992. Reblandecimiento de espinas y aguates de nopal con suspensión bacteriana. En: Salazar y D. López (eds), Memoria de Resúmenes del 5° Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional "Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal". Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México, p. 91.
- Granata, G. 1995. Biotic and abiotica diseases. En: G. Barbera; P. Inglese, y E. Pimienta-Barrios (eds.). *Agro-ecology, cultiva-*

- tion and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper 132: 109-119.
- Guzmán, R.G. 1982. Causas y control de los daños que exhibe la Tuna Blanca (*Opuntia* sp.) en el almacenamiento. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Fruticultura. CONAFRUT., México, D.F., 143 p.
- Hall, D.J. 1981. Innovations in citrus waxing. An overview. Proceedings of the Florida State Horticultural Soc. 94: 258-259.
- Hernández, R.L. 1978. Distribución del sistema radical de nopal (*Opuntia amyoclaea* Tenore). Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, estado de México.
- Huxoll, C. y H.R. Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. Food Tech. 44 (2): 124-128.
- Inglese, P., F. Basile, y M. Schirra. 2002. Cactus Pear Fruit Production. En: P. Nobel (ed.) Cacti: Biology and Uses. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London, pp.163-183.
- Kerbel, L.E. 1992. Pre-cut and minimal processing for fruits and vegetables. Memoria, I Reunión Latinoamericana de Tecnología Poscosecha. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México, D.F. pp. 185-196.
- Lakshminarayana, S.; L. Alvarado-y-Sosa, y F. Barrientos-Pérez. 1979. The development and postharvest physiology of the fruit of cactus pear (*Opuntia amyoclaea* T.). En: G.E. Inglet y G. Charalambus (eds.), Tropical Foods: Chemistry and Nutrition, Vol. 1, Academic Press, New York, pp. 69-93.
- Lakshminarayana, S. y I.B. Estrella. 1978. Postharvest respiratory behavior of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill.), J. Hort. Sci. 53: 327-330.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments of horticultural crops. Horticultural Reviews 22: 92-121.

- Martínez-Jávega, J.M.; J. Cuquerella; M. Jiménez-Cuesta, y L Cervera. 1983. Encerado de frutos cítricos. *Levante Agrícola* 246: 106-113.
- Monselise, S. P. y R. Goren. 1987. Preharvest growing conditions and postharvest behavior of subtropical and temperate-zone fruits. *Hort Science* 22: 1185-1189.
- Myers, R.A. 1989. Packaging considerations for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 43 (2): 129-131.
- Nerd, A. y Y. Mizrahi. 1995. Reproductive biology. En: G. Barbera; P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO, Plant Production and Protection Paper 132: 49-57.
- Ortiz-Hernández, Y. D. 1998. Efecto del ácido giberélico y auxinas en el fruto de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T). Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México, 141 p.
- Pimienta, B.E. 1991. An overview of prickly pear cultivation in the central part of México. Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council. Mc Allen, Texas.
- Pimienta, E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Pimienta. B.E. y M.E. Engleman. 1985. Desarrollo de la pulpa y proporción en volumen, de los componentes del lóculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). *Agrociencia* 62: 51-56.
- Ramayo-Ramírez, L.; C. Saucedo-Veloz, y S. Lakshminarayana. 1978a. Causas de altas pérdidas en nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) almacenado por refrigeración y su control. *Revista Chapingo, Nueva Época* 10: 33-36, Chapingo, estado de México.
- Ramayo-Ramírez, L.; C. Saucedo-Veloz y S. Lakshminarayana. 1978b. Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (*Opuntia inermis* coulter) por refrigeración. *Revista*

Chapingo, Nueva Época 10: 30-32, Chapingo, estado de México.

- Rodríguez-Félix, A.; M.I. González-Salas; H. Soto-Valdez, y M.I. Silveira-Gramont. 1992. Effects of postharvest treatments on the quality of tuna during storage. Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Conference. Texas Prickly Pear Council. Mc Allen, Texas, pp. 9-21.
- Rodríguez-Félix, A. 1991. Postharvest handling for minor fruits in México. En: E.M. Yahia y I. Higuera (eds.). Proc. National Symposium on Postharvest Physiology and Technology of Horticultural Crops in México. Ed. Limusa, México, pp. 305-310.
- Rodríguez-Félix, A. y M. Cantwell. 1988. Developmental changes in the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plants Food for human Nutrition* 38: 83-93.
- Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Ibero-América, 759 p.
- Salveit-Jr., M.E. y L.L. Morris. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. En: C.Y. Wang (ed.). *Chilling injury of Horticultural Crops*. CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 3-15.
- Schirra, M., G. D'hallewin, P. Inglese, and T. La Mantia. 1999a. Epicuticular changes and storage potential of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Miller (L)) fruit following gibberellic acid preharvest sprays and posharvest heat treatment. *Posharvest Biology and Technology* 17: 79-88.
- Schirra, M., P. Inglese, and T. La Mantia. 1999b. Quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Miller (L.)) fruits in relation to ripening time, CaCl₂ preharvest sprays and storage conditions. *Scientia Horticulturae* 1362: 1-12.
- Schirra, M., M. Agabbio, S. D'aquino, and T.G. McCollum. 1997a. Postharvest heat conditioning effects on early ripening "Gialla" cactus pear fruit. *HortScience* 36: 159-165.
- Schirra, M., G. Barbera, G. D'hallewin, P. Inglese, and T. La Mantia. 1997b. Response of cactus pear fruit to CaCl₂ preharvest

- treatments and prestorage heat conditioning. *Journal of Horticultural Science* 72: 371-377.
- Schirra, M., G. Barbera, S. D'acquino, T. La Mantia, and R.E. Mc.Donald. 1996. Hot dips and high temperature conditioning to improve shelf quality of late-crop cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica* Mill.). *Tropical Science* 36: 159-165.
- Sodi, P.E. 1964. Las cactáceas en las épocas precolombina y virreinal. *Cac. y Suc. Méx.*, XIII (1) México.
- Sudzuki, F. H. 1995. Anatomy and morphology. En: G. Barbera; P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds.) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO., Plant Production and Protection Paper, 132: 28-35.
- Tucker, G.A. 1993. Introduction. En: G.B. Seymour; J.E. Taylor, y G.A. Tucker (eds.). *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman y Hall. London, pp. 1-15.
- Wang, C.Y. 1990. Alleviation of chilling injury of horticultural crops. En: C.Y. Wang (ed.). *Chilling injury of Horticultural Crops*. CRC Press., Boca Raton, FL., pp. 281-302.

JOEL CORRALES GARCÍA

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA...



Foto 4.1. Cosecha manual de tuna con auxilio de un cuchillo.

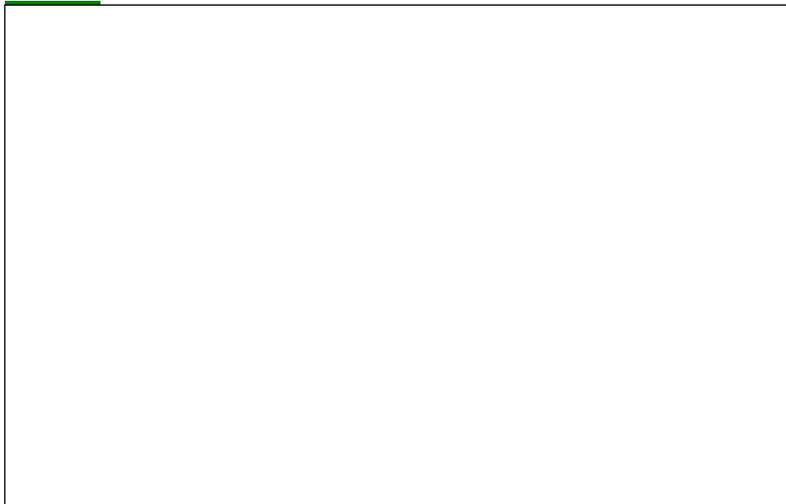


Foto 4.2. Corte de tuna con una porción de cladodio (corte con "botón").

JOEL CORRALES GARCÍA

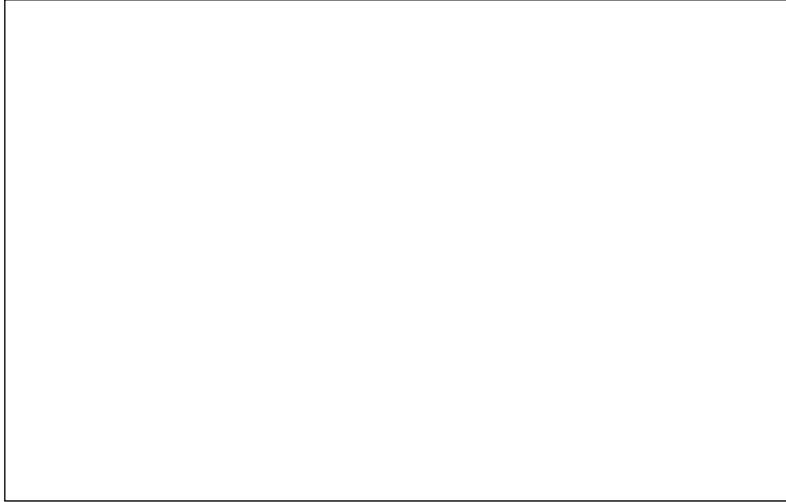


Foto 4.3. Prototipo mecánico para el desespinado (remoción de aguates) de tuna.

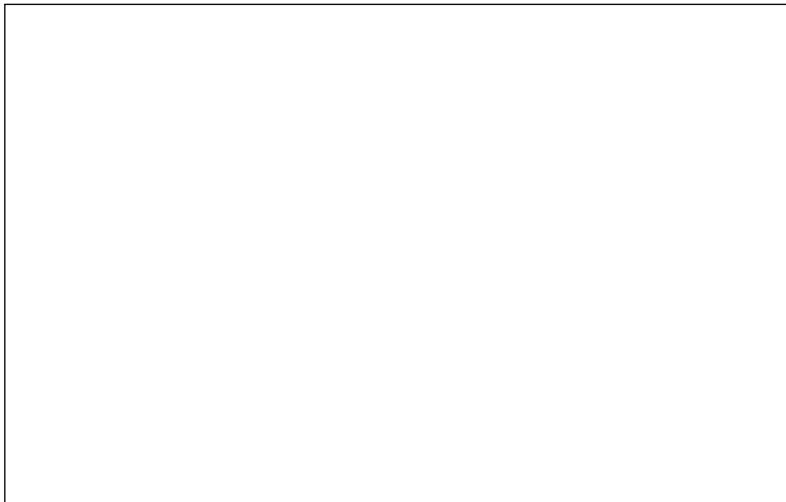


Foto 4.4. Selección y empaque de tuna.

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA...



Foto 4.5. Detalle del acomodo de tuna empacada en caja de cartón con envoltura de papel.

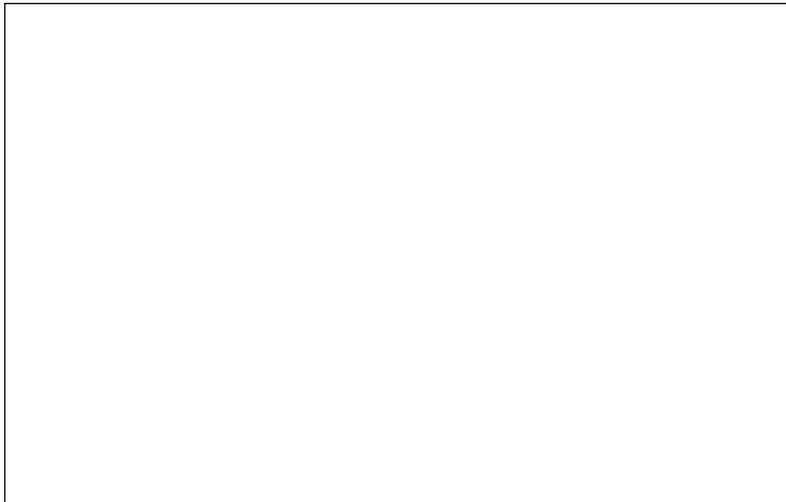


Foto 4.6. Tuna empacada en reja o caja de madera para su transportación y comercialización en el mercado doméstico de México.

JOEL CORRALES GARCÍA



Foto 4.7. Tuna empacada en caja de cartón con perforaciones y estibable, para su comercialización en el mercado de exportación.

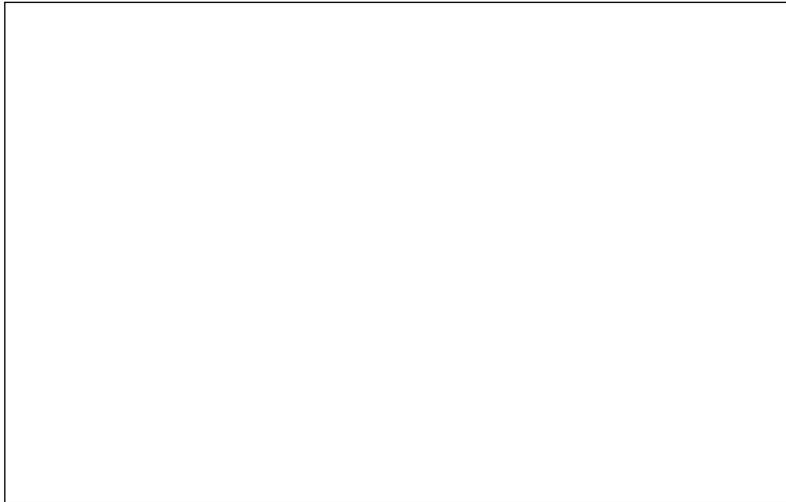


Foto 4.8. Cosecha manual de nopalito auxiliada con cuchillo y guantes.

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSCOSECHA...



Foto 4.9. Conformación de una paca cilíndrica.

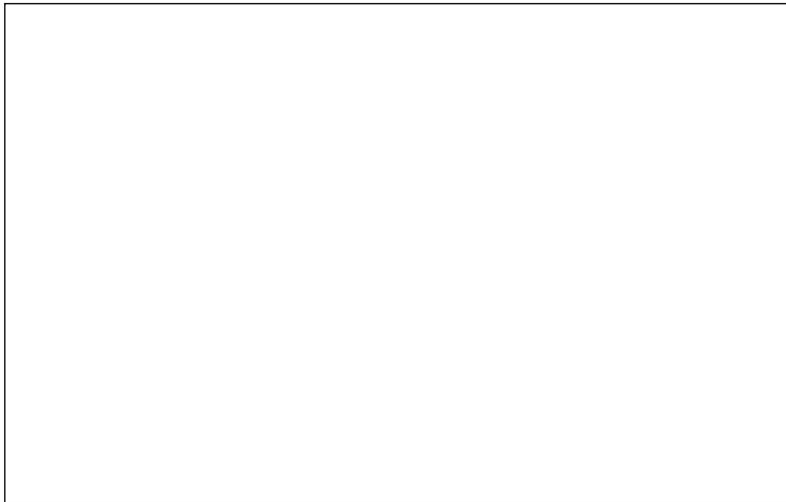


Foto 4.10. Desespinado manual de nopalito.

5. TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS EN EL PROCESAMIENTO DEL NOPAL Y LA TUNA

Joel Corrales García y Claudio A. Flores Valdez

5.1. Introducción

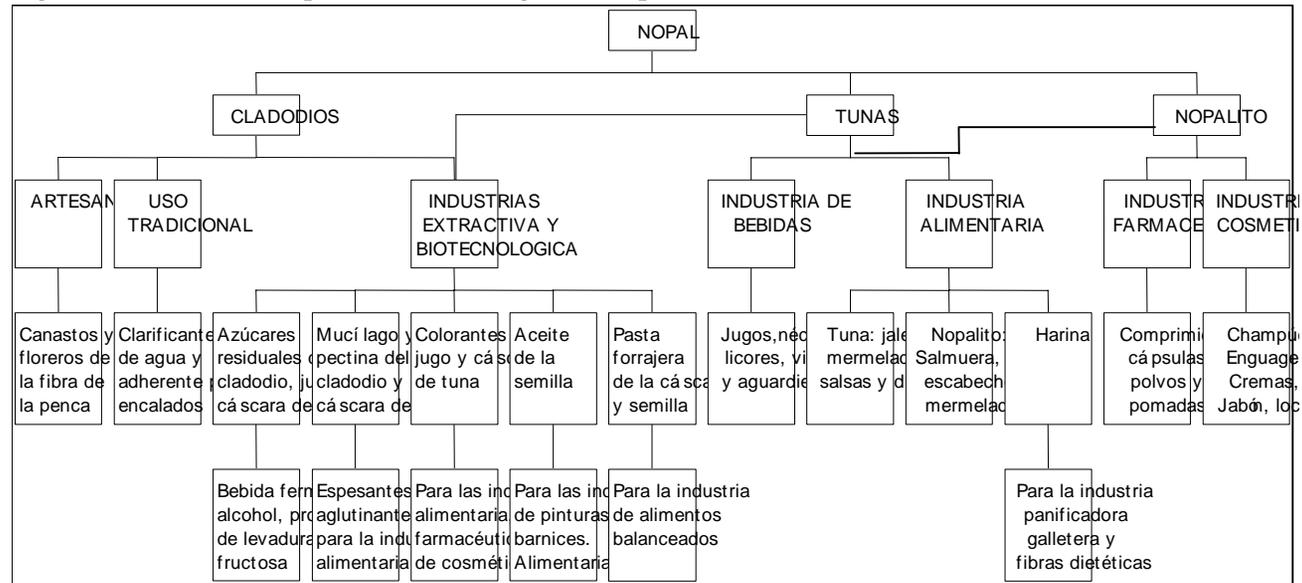
5.1.1. Ventajas y racionalidad técnica de la industrialización

Las principales razones de ser de la industrialización y del procesamiento de productos perecederos son: conservarlos en buen estado por más tiempo para su comercialización en mercados diversos y distantes; ampliar su disponibilidad a lo largo del año; regular los precios en casos de sobreoferta del mercado en fresco; dar valor agregado a los productos, generar empleos e ingresos que beneficien y arraiguen a los productores. Por lo anterior, la industrialización del nopal y de la tuna despierta mucho interés, dado que tecnológicamente es posible, además de que puede ser económicamente viable y rentable, dependiendo de algunos factores mercadotécnicos y organizacionales, especialmente por el beneficio que representa para los productores agrícolas marginales de las zonas desérticas.

Sin embargo, con este trabajo no se pretende fomentar la falsa idea de que la industrialización es la gran solución de todos los problemas, más bien lo que se plantea es la descripción del aprovechamiento integral del nopal y del potencial que cada producto derivado de esta planta tiene, con un enfoque realista, porque no se trata solamente de un problema tecnológico de una industria alimentaria que genere empleos en el sector agrícola, sino de que los productos tengan asegurado su mercado y que ello sea una verdadera opción de desarrollo. No se debe fincar ni alentar ninguna empresa si ésta no es rentable.

El aprovechamiento integral del potencial del nopal (planta) y de la tuna (fruto) a nivel agroindustrial abarca diversos productos a partir de las pencas, de las tunas y del nopal verdura o nopalito (Figura 5.1). De acuerdo con Corrales (1992), estos productos se pueden clasificar por el tipo de la industria que los procesa.

Figura 5.1. Productos del procesamiento integral del nopal



Fuente: Corrales y Flores (2000).

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Así se tienen las industrias: a) Artesanal, b) Químico-extractiva y biotecnológica (edulcorantes, aceite comestible y ácidos grasos, pigmentos, aditivos espesantes y gelificantes para la industria alimentaria, pasta forrajera, biomasa, fermentados y alcoholes destilados, entre otros productos), c) Alimentaria (rústico-artesanal o tecnificada) y recientemente se ha propuesto estudiar y tecnificar la obtención de alimentos mínimamente procesados derivados del nopal, de la tuna y de otras cactáceas, d) Farmacéutica, y e) Cosmetológica. Sin embargo, a pesar de esta gran variedad de alternativas de aprovechamiento, solamente los cosméticos, algunos medicamentos o fármacos y los alimentos procesados en forma rústica (queso de tuna) o en forma tecnificada (salmueras, escabeches, salsas, jugos pasteurizados, licores, mermeladas, confitados y productos cortados frescos o mínimamente procesados) han tenido un desarrollo de cierta relevancia en países como México, Italia, España, Estados Unidos, Chile, Argentina y Perú, entre otros.

5.1.2. Descripción general y objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es describir los procesos de elaboración de los productos, señalar los países en que se producen y presentar una panorámica de la situación actual, de las perspectivas de la industria y del mercado de los productos industriales del nopal y de la tuna, enfatizando en aquellos con mayor potencial.

Finalmente, es necesario aclarar que el nivel de la descripción de los procesos de elaboración de los productos es suficiente para su comprensión por el lector interesado, pero es incompleto para la instalación y puesta en marcha de una planta industrial, para lo cual se deberá elaborar la ingeniería del proyecto por un especialista en agroindustrias (previamente se deberá contar con un estudio de mercado).

5.2. Productos industriales del nopal y la tuna

5.2.1 .Usos tradicionales no alimentarios del nopal

5.2.1.1. Clarificante de agua

El uso tradicional que en México y en otros países se le ha dado a las pencas es como clarificantes de agua, aprovechando las propiedades de adsorción del mucílago y de las gomas de las pencas para aglutinar y precipitar arcillas y materiales orgánicos en suspensión del agua turbia, sin embargo, con las pencas sólo se le quita gran parte de la turbidez al agua, pero no significa de ninguna manera que el agua así tratada sea potable. De acuerdo con Bobby Crabb, citado por Cárdenas *et al.* (1997) el mucílago del nopal puede funcionar como un agente clarificante del agua de beber en la misma forma que lo hace la goma de okra.

El proceso de clarificación del agua es muy simple, para el cual existen dos formas básicas: una consiste en descuticulizar las pencas de nopal para dejar al mucílago expuesto al contacto directo con el agua, y la otra consiste en picar las pencas para tener el mismo efecto.

El nopal como clarificante de agua se emplea en México, Chile, Argentina (Ochoa, 1997) y seguramente en otros países. Actualmente, en México este uso es muy reducido, debido a que la gran mayoría de las comunidades dispone de agua entubada, sólo en algunas rancherías en que la población se abastece de represas, donde también abreva el ganado, al agotarse éstas, el agua se enturbia mucho y cuando no se dispone de otro sistema de filtrado (por ejemplo de filtros de cantera), se utiliza el nopal. En la actualidad no existen industrias para obtener clarificante de agua a partir del nopal y no se ven perspectivas comerciales para este producto, sin embargo, su uso rústico seguirá en comunidades marginadas.

5.2.1.2. Adherente para encalados

En este caso se aprovechan las propiedades adherentes del mucílago y gomas de los cladodios del nopal para reforzar la adherencia

de la cal, lo cual se utiliza en México desde antes de la conquista española. El proceso más comúnmente utilizado consiste en dividir en dos las pencas, de manera que la mayor parte del tejido parenquimatoso quede expuesto. Estas mitades se colocan dentro del recipiente donde se tiene el agua con cal para ocasionar que el mucílago excretado por las pencas se incorpore a la lechada, por lo cual ésta se agita periódicamente antes de proceder al encalado. La lechada así preparada se emplea, principalmente en el medio rural, para mejorar el encalado en paredes de casas habitación, de bardas de piedra o de mampostería y troncos de árboles; también se ha reportado su uso en Chile (Sudzuki, 1992) y en Argentina (Hoffmann, 1995). Actualmente, en México no existe una industria que fabrique productos utilizando la capacidad adherente de los mucílago y gomas del nopal, aunque existen experiencias a nivel de laboratorio en la fabricación de pintura vinílica utilizando el nopal (Rodríguez *et al.*, 1995). Se desconoce la factibilidad económica del uso del nopal para obtener adherentes industrialmente.

5.2.2. Productos de la industria alimentaria tradicional-artesanal de la tuna

5.2.2.1. Queso de tuna

De la industria alimentaria de la tuna, el producto artesanal más importante es el queso de tuna, que es elaborado con el fruto recolectado de nopal silvestre, denominado nopal Cardón, *O. Streptacantha* Lemaire, (Fotos 5.5 y 5.6), el queso de tuna es un gel semisolidificado de color café claro u oscuro, de consistencia firme. Este producto se vende en trozos de diversos tamaños y puede conservarse a temperatura ambiente por periodos de hasta dos años sin sufrir mayores alteraciones (se considera un alimento de humedad intermedia). El queso de tuna suele comercializarse a granel, sólo o adornado con cacahuates, nueces, piñones, pasas, etc., sin envoltura o envuelto en papel de estaño y celofán. Puede conseguirse durante todo el año en los mercados locales de Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Po-

tosí (entidades federativas de México) y en tiendas especializadas en dulces regionales de México.

De acuerdo con Corrales (1992), la forma de preparación consiste en cortar las partes de penca que tienen frutos maduros (cáscara rojiza), luego éstos se separan de las pencas y se les remueve la cáscara manualmente, con ayuda de un cuchillo, luego se despulpan mecánicamente para separar las semillas. La pulpa y el jugo se calientan en un cazo de cobre a fuego directo hasta alcanzar una consistencia masosa y una concentración de aproximadamente 80 °Brix. El proceso puede durar de 5 a 12 horas (dependiendo de la cantidad y adiciones periódicas de jugo), tiempo durante el cual se agita constantemente el jugo con una pala de madera para evitar que se pegue y se queme la masa o pasta formada; el punto final se determina cuando se ha alcanzado el punto de “espejo”, es decir, cuando al agitar la pasta con la pala se descubre el fondo del cazo. Una vez que se alcanza la concentración deseada se retira del fuego y se continúa agitando hasta enfriar. A este producto resultante de una alta viscosidad se le denomina “melcocha”. Porciones pequeñas de melcocha fría se amasan manualmente; estas porciones se golpean una a una con fuerza sobre una piedra grande, lisa y humedecida, hasta que cambie de color (se tornan más claras) y la pasta ya no se adhiera a la piedra. Durante el amasado se pierde humedad, lo que finalmente facilita el moldeado de la masa resultante, de la cual se colocan fracciones adecuadas en moldes rectangulares o cilíndricos de madera humedecidos, en los que permanece de 12 a 15 horas y luego se les envuelve en papel de estraza para su presentación provisional. El peso de estas piezas varía de 0.5 a 12 kg.

La melcocha y el queso de tuna son producidos principalmente por campesinos de escasos recursos económicos, quienes complementan sus ingresos con la venta de estos productos a comerciantes localizados en mercados o confiterías de las ciudades grandes, normalmente a precios muy bajos. En México, la época de producción de queso de tuna es desde julio hasta octubre, y se realiza en forma

empírica, sin controles del proceso, por lo que se obtienen productos muy variables en su calidad.

En Sicilia, Italia, se fabrica un producto también de jugo y pulpa de tuna denominado “Mostarda di fichidindia”, al cual le adicionan canela y sémola.

En México, debido a la disminución de las nopaleras silvestres de nopal cardón (*Opuntia streptacantha* Lemaire) y a la gran cantidad de mano de obra y tiempo que implica la elaboración del queso de tuna (cosechar, transportar, quitar la cáscara, despulpar y cocer el jugo), aunado al bajo precio que tiene el producto terminado, cada vez menos campesinos lo producen.

Los talleres artesanales (mieleras) donde se fabrica el queso de tuna carecen de las más elementales normas de sanidad, generalmente el piso es de tierra, las paredes y techos son de hojas de palma (*Yucca* sp.) y en el lugar pulula una gran cantidad de moscas, por lo que la principal limitante que se ha tenido para exportar queso de tuna a los Estados Unidos ha sido el alto número de bacterias que presenta, incluidas las coliformes.

En estas condiciones el número de talleres artesanales ha venido disminuyendo, debido a la cada vez más baja demanda de queso de tuna ante la competencia de otros dulces nacionales e importados. No se ha desarrollado ninguna industria que elabore el queso de tuna en condiciones de sanidad adecuada, debido a que implica mayor costo de producción y también por el bajo precio al que se comercializa el producto. El mercado tiende a disminuir o en el mejor de los casos, se mantiene estático.

5.2.2.2. Melcocha

La melcocha o mermelada rústica de tuna cardona, elaborada artesanalmente, es un producto previo a la obtención del queso de tuna, la cual elaboran los productores de los estados de la región centro-norte de México sobre pedido, con una demanda que ha aumentado al ponerse de moda las empanadas rellenas de melcocha de tuna. Sin embargo, la industria no ha crecido, ni en número de plantas ni

en capacidad instalada, mientras que el mercado se ha expandido y tiende a seguir creciendo.

5.2.2.3. El colonche

El colonche es un producto fermentado del jugo de tuna cardona, elaborado generalmente en ollas de barro usando el principio de fermento (cepas de *Saccharomyces* sp.) tomado de la elaboración del día anterior. El fermento así preparado se deja reposar de 10 a 12 horas, para obtener una fermentación más rápida y regular; después se agrega el jugo de la tuna, separando las semillas y la pulpa, para lo cual se utiliza una manguera a manera de sifón. Así, el jugo empieza de inmediato a fermentar y a las pocas horas del trasiego está listo para su consumo. En este estado dura dos o tres días en condiciones satisfactorias; algunos productores, para ayudar a su conservación, le adicionan la hierba del pulque “timbe” (*Rhus shinoides*, de la familia de las Anacardiaceas) que proporciona además un sabor amargo por su contenido de taninos, con lo que se obtiene un colonche de mejor calidad (Valadez *et al.*, 1979).

El colonche es elaborado artesanalmente en la región centro-norte de México (en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato), sin embargo, por ser su fabricación, distribución y comercialización actividades no legalizadas, perseguidas por los inspectores de alcoholes de la Secretaría de Hacienda del gobierno mexicano, su producción y mercado han disminuido notablemente, además, por la competencia con otras bebidas alcohólicas, como brandis, rones, tequilas y cervezas.

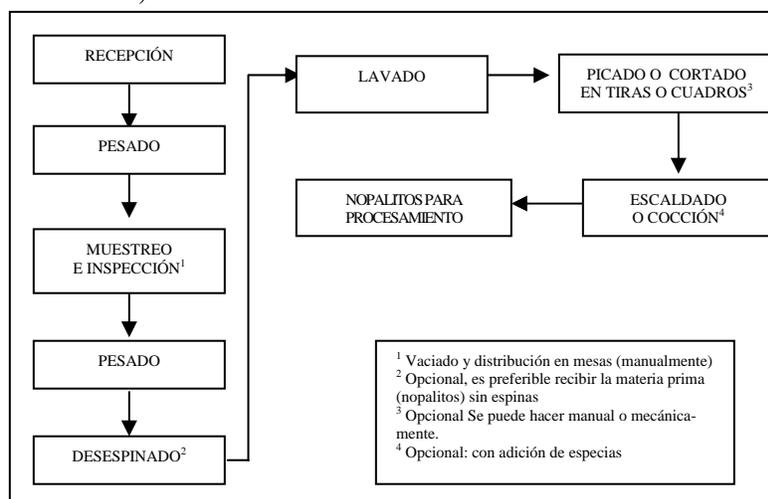
5.2.3. *Productos de la industria alimentaria tecnificada del nopal y la tuna*

Los principales productos de la industria alimentaria tecnificada son los nopalitos (nopal verdura), preparados en salmuera o en escabeche, así como las salsas de nopalito o de xoconostle (tuna ácida), los jugos pasteurizados de tuna y de tuna con otras frutas, además, mermeladas o confitados de nopalito, tuna o xoconostle, y harina de nopalito, siendo los primeros (nopalitos en salmuera o escabeche)

los más importantes por los volúmenes procesados. Recientemente han incursionado en el mercado nuevos productos que se mencionarán más adelante.

El procesamiento de los nopalitos (Figura 5.2), para cualquier presentación (nopalitos en salmuera o en escabeche, mermelada o confitado), se inicia con la recepción y el acondicionamiento de la materia prima, los nopalitos que deben ser de la mejor calidad y ya estar desespinados.

Figura 5.2. Esquema del proceso de acondicionamiento de nopalitos para su posterior procesamiento, ya sea en salmuera, escabeche, mermelada u otra forma



Fuente: Adaptado de Corrales-García (1998b).

El acondicionamiento consiste básicamente en escaldar y lavar los nopalitos, con el propósito de inactivar las enzimas y destruir los microorganismos que pudieran estar presentes, ablandar el producto y eliminar parte del mucílago. El escalde se puede realizar de dos maneras: hirviendo el nopalito en agua durante 30 minutos o pasándolo por un cilindro con vapor durante 10 minutos. Aquí es impor-

tante ajustar el tiempo y la temperatura de proceso a las características de la variedad de nopalito que se tenga disponible.

El nopalito del nopal silvestre, como el tapón (*Opuntia robusta* Wendl.), soporta mayores temperaturas y tiempo de cocción que el nopalito cultivado, como el de la variedad Milpa Alta (*O. ficus - indica* L.).

Al final, el producto se sumerge en agua fría y limpia, lo que implica un choque térmico que fija el color verde característico de los nopalitos preparados, además de que se elimina el mucílago adherido (Corrales-García, 1998a).

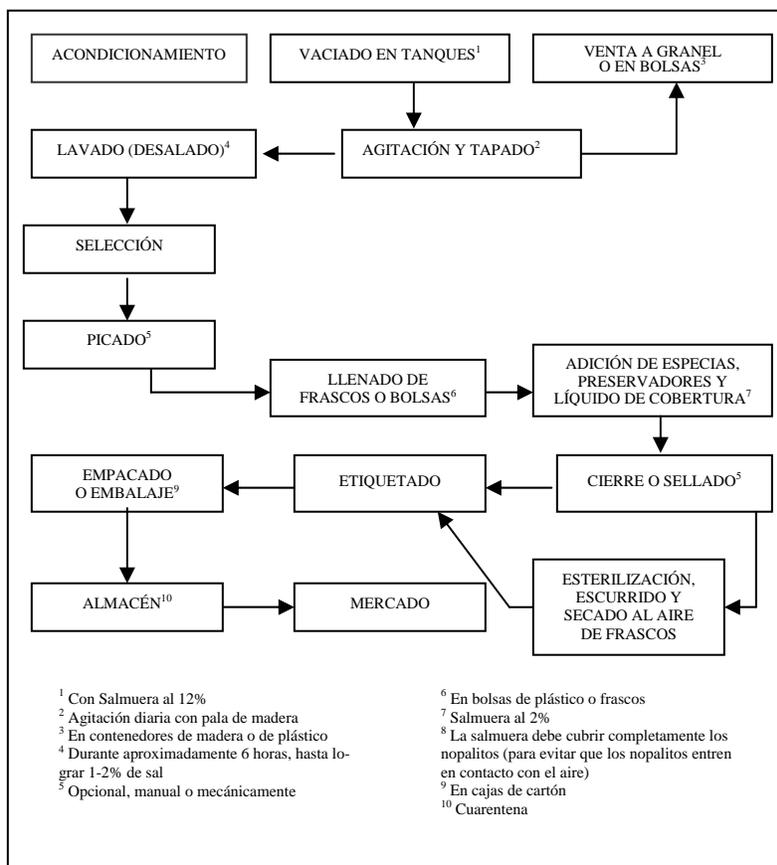
5.2.3.1. Nopalitos en salmuera

Son los nopalitos escaldados y conservados en solución salina (máximo 2% de NaCl), que se pueden emplear en la preparación de diferentes guisos, cuyo proceso de producción consisten en lo siguiente: Los nopalitos, ya acondicionados, en algunas empresas se salan en recipientes grandes o tanques con salmuera al 12% en una proporción aproximada de 1.7 litros de salmuera por kilogramo de producto (Figura 5.3). Los nopalitos pueden permanecer en estos recipientes de 10 días hasta meses, dependiendo de la demanda. Durante este periodo es aconsejable verificar y mantener la concentración de la salmuera, agitarla diariamente y tapar bien los recipientes, para evitar contaminaciones y la decoloración del producto por acción de la luz. Al finalizar el salado, el producto se lleva a la sala de proceso, donde se desala por medio de lavados, luego se selecciona, se pica (corte en tiras, cuadros o penquitas también llamadas baby nopalito) y se envasa en frascos, bolsas de polietileno, latas o cubetas de plástico, adicionando algunas especias y líquido de cobertura (salmuera al 2%) y, en ocasiones, conservador. Luego los envases se sellan o se cierran al vacío previo agotamiento (en un *exhauster*) y se esterilizan en autoclave, se escurren hasta secarse y luego se etiquetan; finalmente, se empacan en cajas de cartón para su comercialización, después del periodo cuarentenario. El producto también puede comercializarse a granel, sin desalar.

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

El rendimiento del proceso desde nopalitos con espinas hasta nopalitos en salmuera para la venta es de alrededor de 57%, dependiendo del proceso y de su desempeño. En México existen poco más de 20 empresas que elaboran nopalitos en salmuera y en los Estados Unidos, al menos tres (Foto 5.7).

Figura 5.3. Esquema del procesamiento de nopalitos en salmuera



Fuente: Adaptado de Corrales-García (1998b).

5.2.3.2. Nopalitos en escabeche

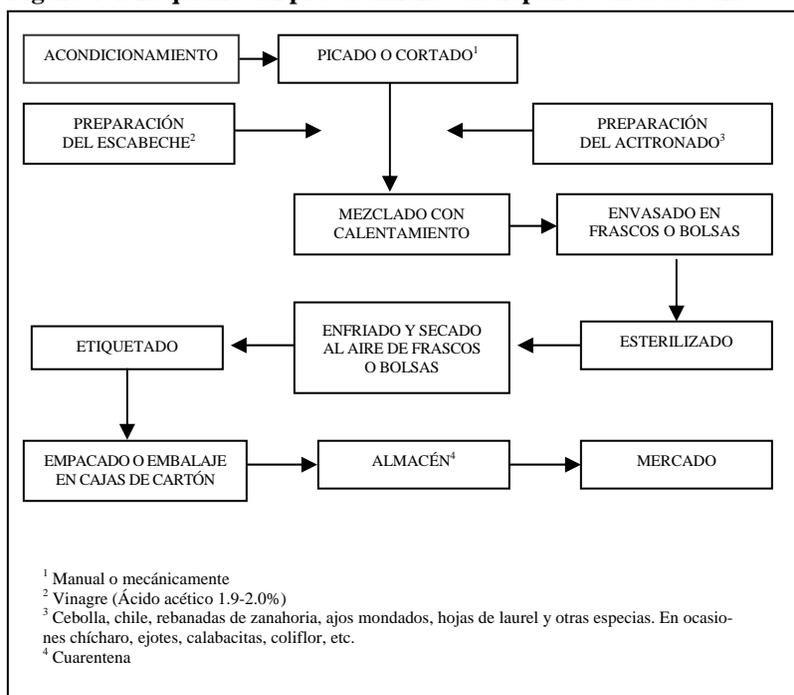
Son nopalitos escaldados y conservados en vinagre aromatizado con especias (máximo 2% de ácido acético), solos o combinados con verduras y/o condimentados. El proceso consiste en lo siguiente: Los nopalitos, previamente acondicionados, se cortan o pican (manual o mecánicamente), de tal forma que se obtengan las mismas presentaciones de los nopalitos en salmuera; paralelamente se prepara el escabeche, que es una mezcla de vinagre (1.8 al 2.0% de ácido acético) plantas aromáticas y aceite (Figura 5.4). Para ello, el vinagre se calienta hasta ebullición, a partir de lo cual se le adicionan las especias directamente o dentro de una bolsa de tela, dejando en ebullición por unos cinco minutos más para que el vinagre se aromatice. Por separado se prepara el “acitronado”, que consiste en sofreír en aceite porciones de cebolla y zanahoria picadas, ajos mondados y hojas de laurel. En seguida se mezclan los nopalitos, el escabeche y el acitronado, y se agregan chiles y cilantro. El producto se envasa en frascos que luego se esterilizan en autoclave o en baño maría, se enfrían, se escurren hasta secarse y luego se etiquetan. Finalmente se acomodan en cajas de cartón para su almacenamiento, periodo cuarentenario y embarque al mercado. En México existen más de 25 empresas que elaboran nopalitos en escabeche y al menos una en los Estados Unidos (Foto 5.8).

Los nopalitos en salmuera o escabeche se producen en México y en los Estados Unidos, sin embargo, en este último país, tanto en el estado de Texas como en el de California se cultivan principalmente variedades del género *Nopalea*, que tienen menos espinas, pero presentan una cutícula más gruesa que las variedades de *Opuntia*, por lo que la aceptación de nopalitos de aquellas variedades es menor. La tendencia de la industria y del mercado de estos productos es al crecimiento, en la medida en que más consumidores de otras etnias aprecien la comida mexicana y con ella los nopalitos.

Además, si se dan a conocer los atributos del nopalito en cuanto a que baja el colesterol y el azúcar en la sangre o ser un excelente

factor de balance del sabor en ensaladas y alimentos muy condimentados, su mercado podría expandirse mucho más.

Figura 5.4. Esquema del procesamiento de nopalitos en escabeche



Fuente: Adaptado de Corrales-García (1998b).

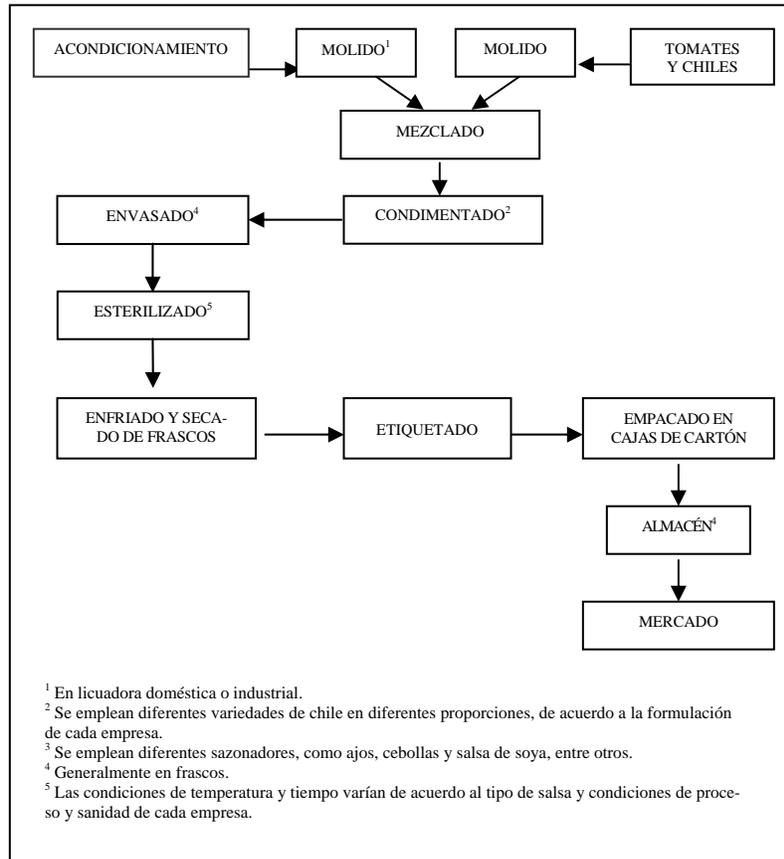
5.2.3.3. Salsas de nopalito

Las salsas de nopalitos son productos elaborados a base de nopalitos molidos con adición de chiles de algunas de las diferentes variedades existentes, tomate, cebolla, vinagre y especias en diferentes proporciones y en ocasiones con adición de un conservador (Figura 5.5 y Foto 5.9).

Antes del envasado puede hacerse un cocimiento de los nopalitos o no. Los ingredientes varían; algunas empresas adicionan otros

vegetales o ingredientes, como vino blanco, concentrado de limón, etc. Las salsas pueden presentarse con nopalitos en trozos o molidos, según sea la preferencia del mercado al que se destina.

Figura 5.5. Esquema del proceso de elaboración de salsas de nopalito



Fuente: Fuente: Adaptado de Corrales-García (1998b).

Se han detectado 15 marcas comerciales de salsa de nopalito, todas en los Estados Unidos (nueve de Texas, cinco de Arizona y

una de California), lo cual se debe a la expansión de la comida mexicana. En México, las amas de casa que acostumbran las salsas de nopalitos las elaboran el mismo día, con ingredientes frescos, y pocas veces las adquieren ya elaboradas en el mercado. Para los mercados de Norteamérica y otros países, las salsas de nopalito cada vez tendrán mayor demanda, en la medida en que sea más aceptada la comida mexicana. Para desarrollar los nuevos mercados será conveniente disminuir el contenido de chile picante en las salsas, además de implementar campañas de mercadotecnia.

5.2.3.4. Otros alimentos de nopal

Recientemente, en México ha surgido una serie de alimentos procesados de nopal, como los siguientes (Foto 5.10):

- Nopalitos en salsa: Son nopalitos enlatados con diversas salsas, como nopalitos en salsa de chile de árbol o nopalitos en salsa de chile pasilla.
- *Pathe* de nopal con soya: Es un puré de nopalitos con soya texturizada y saborizada a carne de res o pollo. Este producto se envasa en frascos.
- Cereal de trigo y nopal: Es un producto peletizado, elaborado con harinas de salvado de trigo y nopal deshidratado. Se presenta comercialmente en cajas de cartón.
- Nopalitos con atún: Es una ensalada denominada “Azteca”, que contiene atún, frijoles, nopalitos y chiles jalapeños. La presentación comercial de este producto es enlatado.
- Los nopalitos en salsa, con atún, champiñones, embutidos o verduras, forman un grupo de productos de nopalitos adicionados con alimentos y presentaciones que ya están posesionadas en el mercado mexicano.
- Harina de cereal y nopal. Es un polvo fino, resultado de la molienda de nopal deshidratado y de granos de cereales, especialmente del que se ha cernido para separar el salvado y otros. El nombre de harina es dado por extensión a muchas materias finamente pulverizadas.

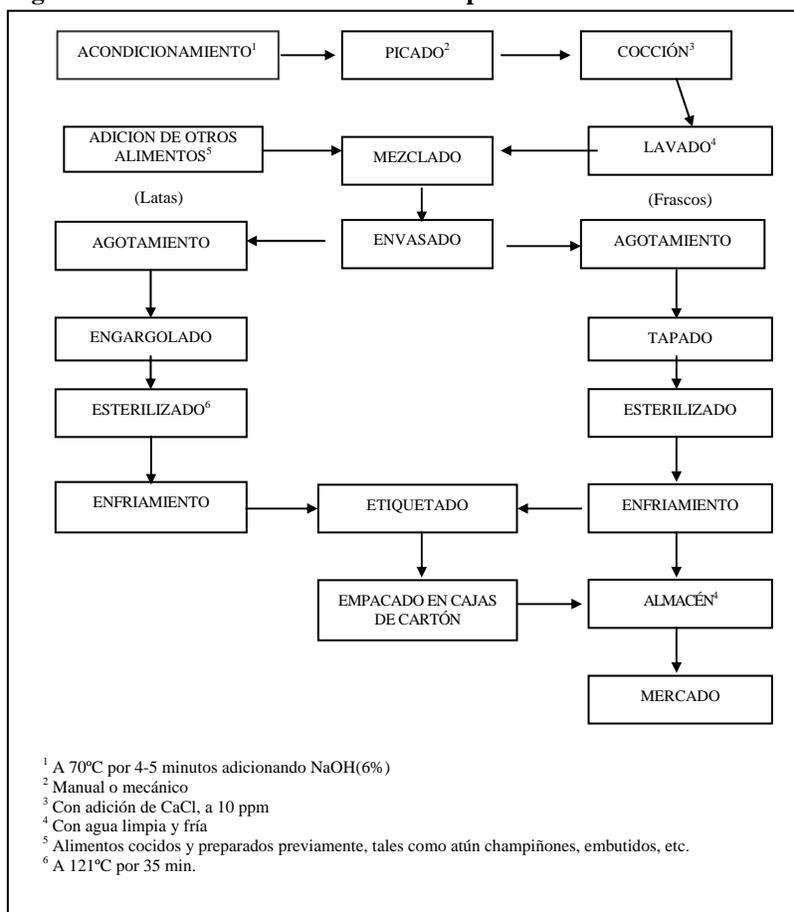
La harina de nopal se obtiene por deshidratación y molido de los cladodios, previamente desespinaados, lavados y cortados, y tiene aplicación en las industrias panificadora, galletera y pastas, o bien en la de fibras dietéticas peletizadas. Esta última aplicación resulta muy importante, en virtud de que el consumo de fibras tipo soluble representa una mejoría significativa de los procesos digestivos de personas con problemas de estreñimiento y el nopal es una fuente importante de este tipo de fibras. La estrategia que han seguido algunas empresas para introducir este nuevo producto al mercado es la de combinar la fibra del nopal con las fibras tradicionalmente usadas. Sáenz (1997) informó sobre algunas características químicas y físicas de la harina del nopal y concluyó lo siguiente: La harina de nopal contiene 43% de fibra dietética total, de la cual 28.45% es fibra insoluble y el 14.54% es soluble; su actividad acuosa es baja (0.53); su color es verde pálido muy brillante, de baja intensidad (con valores Hunter: $L^*=73.37$, $a^* = -5.20$, $b^* = 26.1$), por lo que es fácil de cambiar con la adición de colores naturales más atractivos o aceptados, y presenta un considerable índice de absorción de agua (5.6 ml/g), lo que explica el efecto de satisfacción que provoca su consumo.

El proceso de elaboración de platillos típicos de nopal, tales como nopal en salsa, nopal con atún, nopal con champiñones, nopal con embutidos, se presenta en la Figura 5.6.

Para mejorar el entendimiento de los procesos esquematizados, en las figuras, enseguida se definen o describen algunos términos:

- a. Agotamiento: Reemplazar los gases por vapor de agua y favorecer la creación de vacío.
- b. Cerrado: Consiste en colocar la tapa a los frascos o engargolar las latas para aislar el producto del medio ambiente.
- c. Esterilización: Tratamiento térmico para reducir la carga microbiana a fin de preservar el producto.
- d. Etiquetado: Colocación de etiquetas para identificar el producto, origen, marca, etc.

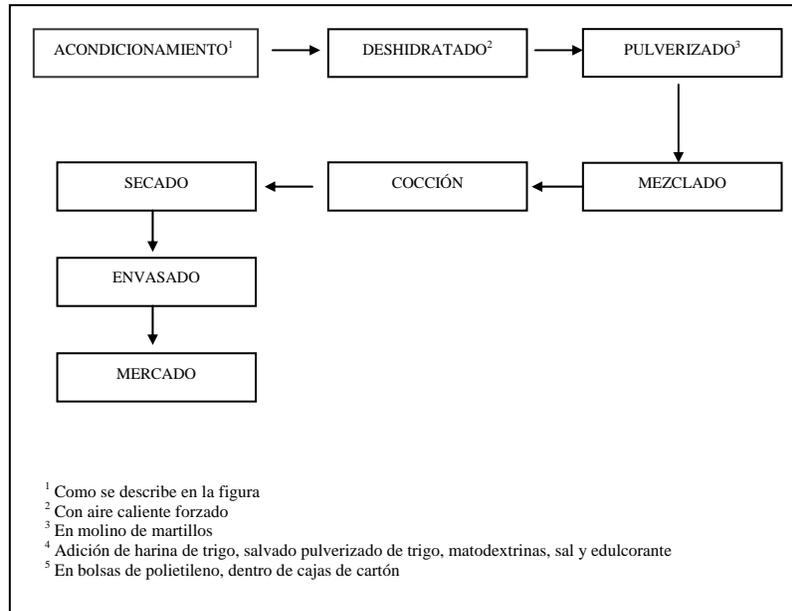
Figura 5.6. Proceso de elaboración de nopalitas con otros alimentos



Fuente: Adaptado de Becerra *et al.*, 1969, citados por Borrego y Burgos (1986).

Cereal con nopal. El cereal con nopal es un pelletizado de harina y salvado de trigo, y polvo de nopal deshidratado, con maltodextrinas, cuya principal aportación es fibra hidrosoluble; se envasa en polietileno y cajas de cartón; el proceso de elaboración se presenta en la Figura 5.7.

Figura 5.7. Proceso de elaboración de cereal con nopal



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.5. Mermelada de nopalito

Este producto se elabora a base de nopalitos bien molidos y cocidos, con una concentración de azúcar que puede variar, pectina y conservadores. Su procesamiento consiste en picar el material previamente escaldado y luego someterlo a una segunda cocción. Los nopalitos bien cocidos se muelen en licuadora (industrial o casera). El licuado se pesa para llevar un control de rendimientos y calcular la cantidad de aditivos a añadir, luego se calienta para agregar gradualmente el azúcar a partir del punto de ebullición. Antes de terminar de agregar el azúcar se adiciona pectina lentamente, benzoato de sodio y ácido cítrico en diferentes proporciones, se mezcla bien y se termina de agregar el azúcar. La mezcla se sigue calentando con agitación continua (para evitar que el producto se pegue) hasta

llegar a una concentración de 65 °Brix. La pectina debe agregarse disuelta en un jarabe (un gramo de pectina se disuelve en 10 ml de jarabe). Cuando se alcanzan los 65 °Brix, como mínimo, el producto se envasa en caliente (85 °C) en frascos limpios y esterilizados previamente. Después del llenado, los envases se tapan y enfrían por inmersión en agua. Estos se pueden esterilizar con agua en ebullición (baño maría) durante 20 o 30 minutos, con enfriamiento inmediato. Si no hay una buena formación de gel, se puede incrementar la relación pectina-ácido cítrico. Antes de cerrar los frascos se puede efectuar el agotado en *exhauster*, o bien adicionar antioxidantes permitidos para evitar la pérdida del color verde característico del producto, que ocurre a nivel del cuello del frasco por el contacto con el oxígeno. Los frascos se secan para luego etiquetarlos y acomodarlos en cajas de cartón, se almacenan (cuarentena) y finalmente se embarcan al mercado.

Las mermeladas de nopalito se fabrican en México y en Estados Unidos. En México existen al menos 4 empresas fabricantes y en Estados Unidos al menos 2. En este último país existe una empresa en Texas que obtiene el mucílago (mediante molido y filtrado) del nopalito (*Nopalea* sp) el cual utiliza para mejorar la consistencia de mermeladas (*Jam* y *Spread*) de diversas frutas (arándano, frambuesa, zarzamora, fresa, durazno, manzana, pera, piña, chabacano y ciruela). Una variante que se prepara en México es la compota de nopalito con diversas frutas (piña, pera, higo, durazno, chabacano, xoconostle, tunas, etc.) en almíbar (Foto 5.11).

El mercado mundial de las mermeladas de nopalito pudiera expandirse si se elaboran mezclando el mucílago del nopal con otras frutas y si se promueven haciendo énfasis en los beneficios que sobre la salud lleva el consumo del nopalito. En México, el potencial del mercado de la mermelada de nopalito se considera reducido.

5.2.3.6. Mermeladas de tuna y similares

Son concentrados de pulpa o jugo de tuna con adición de pectina, ácido cítrico y, en ocasiones, azúcar y conservadores. El proceso de elaboración de mermelada de la tuna “Cardona” (*O. Streptacantha*

Lemaire.) descrito por Cigala (1979) ha servido de modelo para producir mermeladas de diferentes variedades de tuna cultivadas. Un resumen de este proceso se presenta a continuación.

La tuna llega a la planta en rejas de madera; éstas se descargan manualmente del vehículo de transporte, se pesan y almacenan, en seguida se pasan al desespinado (manual o mecánico) o bien, si la fruta llega ya desespinaada, se pasan directamente a proceso, que se inicia con el lavado de la fruta. La tuna limpia se pasa a la fase de mondado (remoción manual de la cáscara). Ya sin cáscara, la tuna se lleva al despulpador, en donde se obtiene, por un lado, la semilla y por otro la pulpa, a la cual se denomina “jugo espeso”. Algunos productores que utilizan tunas de otras variedades aprovechan el alto contenido de pectinas de la cáscara para elaborar una mermelada de mejor consistencia, de manera que procesan en el despulpador frutos enteros, o bien, posterior al despulpado, adicionan la cáscara sin epidermis, finamente picada. El jugo espeso obtenido se recibe en un tanque de paso, donde se agrega ácido cítrico y benzoato de sodio, y luego se bombea hacia un tanque de calentamiento o marmita; después es llevado al evaporador, en donde el jugo espeso se concentra hasta 67 °Brix. Este concentrado se descarga en un tanque de paso con agitador, de donde pasa a la tolva de alimentación de la máquina llenadora de frascos. El producto se envasa en frascos de diferentes capacidades, previamente lavados y esterilizados. Los frascos llenos se llevan a la cerradora, se enfrían, se secan, se etiquetan y se empaacan en cajas de cartón, se almacenan y finalmente se embarcan al mercado.

La mermelada de tuna es probablemente el producto de nopal que es producido en un mayor número de países. Se elabora en México (mermelada y melcocha), Estados Unidos (*Jelly*), Italia (*Confettura*), Argentina (*Arrope*), Chile, Perú, etc. En México existen al menos cinco empresas que concurren al mercado, aunque hay un gran número de pequeños productores que elaboran la mermelada en sus casas. En Estados Unidos existen por lo menos cinco empresas; en Italia, tres (dos en Sicilia y una en Cerdeña); en España, una

(en Lanzarote, Islas Canarias), y en Argentina, una (en Santiago del Estero), aunque también hay reportes de su producción en la provincia de La Rioja (Foto 5.12).

Se considera que el potencial del mercado mundial para la mermelada de tuna es amplio, sin embargo, existen grandes diferencias en la calidad del producto: las de menor calidad, con pocas excepciones, son las de México, donde el producto se presenta obscuro, turbio y en ocasiones con poca consistencia (aguado) y se envasa en frascos de reúso; en cambio, en otros países, como Italia, España y Argentina, es notable la buena presentación, los frascos, etiquetas, adornos e información son excelentes. En Estados Unidos la jalea (*jelly*) se presenta en tonos amarillos, café, verde y rojo o semitransparente, y sumamente atractiva.

En México se tiene la limitante de que el consumo de mermeladas es reducido, debido a que el clima es caluroso la mayor parte del año en casi todo el país y, además, porque casi siempre que las amas de casa requieren mermelada se deciden por la de fresa (85% del mercado); el resto del mercado se distribuye entre las mermeladas de otras frutas, como piña, durazno, chabacano, zarzamora, naranja, etc., donde la demanda de mermelada de tuna es mínima.

5.2.3.7. Salsas de tuna

Son elaboradas a base de pulpa, o de pulpa con jugo de tuna, aunque también se elabora con cáscara de xoconostle (tuna ácida) sin epidermis. Como condimento se usa chile picante (de diferentes variedades), adicionando cebolla, vinagre y especias en determinadas proporciones, todo molido o picado. En ocasiones se adicionan conservadores. Después se envasa en frascos de vidrio, se tapa, esteriliza y etiqueta (Foto 5.13).

Las salsas de tuna se producen en México y en Estados Unidos. En México se elabora salsa con la cáscara de xoconostle, que es sumamente gruesa, de 1 a 2 cm; la pulpa, que es muy pequeña, se desecha. El xoconostle fresco tiene un gran mercado en México, donde la gente, por tradición, lo aprecia por sus atributos, particu-

laramente los que se manifiestan como controladores de azúcar y colesterol en la sangre.

En Arizona (Estados Unidos), la empresa “Arizona Cactus Ranch” elabora diversos productos de una tuna silvestre (*Opuntia engelmannii*. Salm-Dick.), como la salsa (*cactus fruit salsa*), la salsa para barbacoa (*prickly pear barbacoa sauce*) y el aderezo de ensaladas (*cactus jack vinaigrette*). Se considera que el mercado de las salsas de tuna tiende a ampliarse, en la medida en que se expande el gusto por la comida mexicana y se implementan campañas de mercadotecnia.

5.2.3.8. Dulces de tuna y nopalito

Estos productos son procesados con azúcar y en ocasiones con adición de otros alimentos. La diversidad de dulces de nopal y tuna es muy grande, así como sus procesos de elaboración, incluso los nombres con los que se conocen un mismo tipo de dulce varía según la región. Los principales son: caramelos, jaleas, gomitas, laminillas, confitados, palanquetas de nuez con mucílago de nopal, almíbares, etcétera (Foto 5.14).

En México se presenta la mayor diversidad de dulces de nopal y de tuna, desde el nopalito en almíbar a los cristalizados de pulpa de nopal (tejido parenquimatoso), además de las “gomitas”, bombones (malvaviscos) y caramelos de nopal. En otros países, como Italia y Estados Unidos se producen caramelos de tuna, caramelos rellenos de mermelada de tuna y palanquetas de nuez y tuna, entre otros. En Chile, a nivel de laboratorio, se han producido láminas de pulpa de tuna deshidratada con un agregado de pulpa de membrillo, que han tenido aceptación (Sepúlveda *et al.*, 1996), lo mismo que los nopalitos confitados, citados por Sáenz (1997).

Debido a la aceptación generalizada de los dulces en todo el mundo, se considera que los de tuna y nopal tienen posibilidades de posicionarse en el mercado, para lo cual son importantes los aspectos de calidad y mercadotecnia.

A continuación se describe el proceso de elaboración de nopal cristalizado, de acuerdo con Mario Pérez (comunicación personal)*. Los nopalitos se desespinan manual o mecánicamente, se lavan con agua corriente y se cortan en porciones rectangulares de aproximadamente un cm por lado, luego se escaldan a 80 °C durante dos minutos con la finalidad de detener la actividad enzimática, reblandecer los tejidos, eliminar el mucílago y permitir una mejor absorción de azúcar. Para fortalecer la consistencia de los nopalitos, se tratan con una solución de hidróxido de calcio al 5% durante 24 horas, después se lavan con agua corriente para eliminar la cal y se escurren. A continuación se someten al tratamiento de deshidratación osmótica, para lo cual se prepara un jarabe de 60 °Brix a 20 °C y se agrega una hoja de higuera (aproximadamente de 15 g) para ayudar a mantener la textura de los nopalitos, la cual se logra probablemente por el calcio que supuestamente aporta la hoja de higuera, los nopalitos se agregan al jarabe para someterlos a un tratamiento térmico de 80 °C durante 20 minutos, al término de lo cual, los nopalitos se retiran del jarabe y se incrementa la concentración de éste hasta 70 °Brix; en seguida se colocan nuevamente los nopalitos en el jarabe y se calientan a 50 °C durante tres horas. Posteriormente se retiran los nopalitos del jarabe y se secan en un secador de charolas con aire forzado a 75 °C. Finalmente, los nopalitos se someten a un proceso de ambientación a 40 °C, para evitar la exudación dentro del empaque (bolsas de celofán).

5.2.4. Bebidas de tuna y nopalito

5.2.4.1. Jugos

Jugo de tuna

El jugo de tuna es el producto que queda al eliminar de la tuna la cáscara, semilla y pulpa. El proceso consiste en eliminar la cáscara y

* Pérez, Mario. Ingeniero Químico. Secretaría de Desarrollo Social. Delegación Tlaxcala. Río San Francisco No. 306, Fraccionamiento Vista Hermosa, Tlaxcala, Tlax. Tel 01(246) 2 26 30 77.

la semilla en una despulpadora, donde se obtiene el jugo grueso, al que se le separan los sólidos mediante un proceso mecánico, quedando el jugo, que puede ser utilizado así o clarificado.

En una de las empresas jugueras el proceso se realiza como sigue: La tuna se recibe desespínada, en cajas de madera o plástico, después se selecciona, se le elimina la cáscara y se pasa al despulpador para la separación de semilla y obtener la pulpa y el jugo, mismos que se centrifugan; posteriormente se elimina el precipitado. La parte acuosa se esteriliza y se le adicionan aditivos y conservadores (en ocasiones otros jugos de fruta), se envasa en latas o frascos, luego éstos se agotan, se tapan y se esterilizan. El enfriado es al ambiente, antes del empaque.

El jugo fresco de tuna se utiliza ampliamente en Chile y recientemente en México, sin embargo, debido a su baja acidez y alto contenido de azúcares es fácilmente fermentable y su vida comercial es corta, por lo que su conservación ha sido objeto de estudio.

Villarreal *et al.* (1964) establecieron las siguientes condiciones para enlatar el jugo de la Tuna Blanca, variedad Alfajayucan: El pH del jugo se ajustó a un valor de 4.5 con ácido cítrico y después se conservó con base en dos métodos: a) Congelamiento a -15°C en atmósfera de nitrógeno, con lo cual se conservó hasta por un periodo de 7 meses; b) Calentamiento a vapor durante 30 minutos a 71°C , para el engargolado y posterior esterilización a 100°C durante 110 o 120 minutos. Sin embargo, Sáenz (1997) señala que el jugo de tuna resiste poco el tratamiento térmico, ya que éste ocasiona pérdida de sabor y aroma.

En Estados Unidos se producen (en Texas, Arizona y California) diferentes mezclas que llevan jugo de tuna adicionado con jugo de limón o de fresa y banana. Estas mezclas se utilizan para preparar el rita-tuna, un coctel margarita que lleva tequila y jugo de tuna.

Jugo de nopal

El jugo de nopal es el extracto obtenido de moler y colar nopalitos. El proceso de obtención del jugo de nopal consiste en moler en licuado-

ra, industrial o casera, los nopalitos desespinaados y fraccionados; para facilitar el proceso se adiciona agua, el licuado obtenido se filtra, para separar del líquido los sólidos en suspensión.

El jugo de nopal lo produce en México una empresa que lo mezcla con jugo de guayaba y lo comercializa en el mercado nacional y de exportación.

El mercado de los jugos de frutas y verduras se ha expandido y en esa situación tienen posibilidades de crecimiento la producción y comercialización de los jugos de nopal y tuna, sobre todo en mezclas (*mix*) con otras frutas.

5.2.4.2. Néctares y jarabes

Los jarabes de nopal o tuna se elaboran con una solución concentrada de sacarosa (30-50 °Baumé, o 55-75 °Brix) preparada, en frío o caliente, con zumo de nopal o tuna. El néctar de tuna se obtiene de la tuna licuada y calentada sin que llegue a ebullición, para concentrar el azúcar; al final se centrifuga para eliminar la fibra.

El proceso de elaboración del néctar de tuna consiste en concentrar el jugo, eliminando el agua (suspensión de jugo y pulpa de tuna), de preferencia con un método que implique baja temperatura (menos de 40 °C), vacío y un recuperador de aromas.

El proceso de elaboración del jarabe de tuna consiste en agregar azúcar al jugo concentrado caliente, hasta lograr concentraciones de más de 50 °Brix.

En México se han producido néctares y jarabes de tuna a nivel de laboratorio, pero no se han producido comercialmente. En Estados Unidos, en Texas, una empresa produce jarabes (*syrup*) de zarzamora y arándano, adicionándoles mucílago de nopal; en Arizona, con una tuna silvestre (*Opuntia engelmannii*, Salm-Dyck), preparan un jarabe (*Prickly pear fruit topping*) y un néctar (*Prickly pear nectar*). Se considera que los néctares y jarabes de tuna tienen posibilidades de ampliar su mercado en los países que consumen la fruta fresca.

5.2.4.3. Bebidas alcohólicas

A partir de la tuna se puede obtener alcohol y bebidas alcohólicas como: “vino”, aguardiente y licor. El uso de la tuna cardona en la producción de bebidas alcohólicas en México data de tiempos prehispánicos. Ayala (1932), citado por Abarca (1971), hizo una de las primeras contribuciones tecnológicas a este respecto.

Más recientemente se han realizado algunos estudios para obtener aguardiente y licor a partir del jugo de tuna, bajo condiciones controladas (Escamilla, 1977; Arizmendi *et al.*, 1980). El contenido de pectina en la cáscara de la tuna hace que ésta no pueda ser utilizada en la elaboración de aguardiente, debido a que, de acuerdo con Braverman (1976), la fermentación de pectinas induce a la formación de metanol en el producto final, lo cual es completamente indeseable, puesto que su consumo provoca ceguera y hasta la muerte en el humano.

El proceso de elaboración de estos productos consiste en lo siguiente:

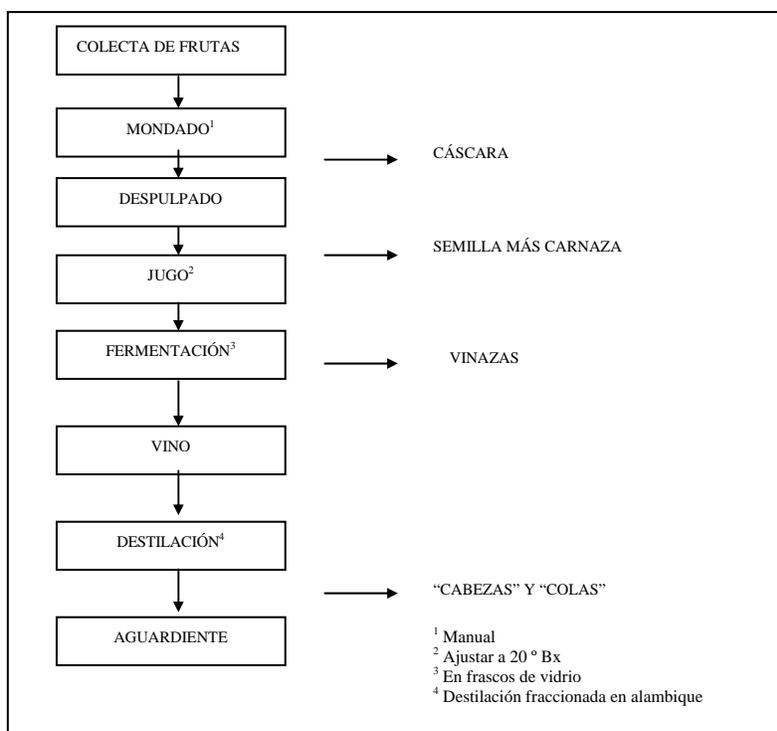
Vino de tuna. De las tunas se obtiene el jugo espeso, como ya se describió anteriormente, éste se filtra para separar los sólidos en suspensión; al jugo filtrado (mosto) se le adiciona un pie de fermento de buena cepa (*Saccharomyces cereviceae*) y se proporcionan las condiciones adecuadas de temperatura, azúcar y pH. Se eliminan las heces de las levaduras mediante trasiegos, finalmente el producto se clarifica, se filtra y se le adicionan sustancias para evitar su posterior alteración (avinagramiento). Se desconoce si algún productor practica la maduración. Se alcanzan concentraciones de alcohol de 6 a 12 °GL, dependiendo del tipo de tuna usada (Díaz y Alvarado, 1990). El vino de tuna se elabora comercialmente en Perú, y en condiciones de laboratorio y a nivel casero en México, Chile y otros países.

Aguardiente de tuna. Es una bebida alcohólica que se obtiene a partir del vino de tuna; con éste se inicia un proceso de destilación fraccionada en alambiques de cobre o en columnas de destilación, cuidando separar adecuadamente las “cabezas” y “colas”, para no con-

taminar el producto con metanol y otros componentes volátiles indeseables; al final, el producto se ajusta adicionándole agua hasta alcanzar el grado alcohólico deseado. Se obtiene una graduación hasta de 60 °GL.

Flores (1992) propuso y evaluó, en condiciones de laboratorio, la obtención de vino y aguardiente de dos especies silvestres de tuna (Figura 5.8), por dos métodos: columna de vidrio y alambique de cobre, ambos con destilación fraccionada. El mejor método fue el alambique de cobre, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 5.8. Esquema del proceso de elaboración de vino y aguardiente de tuna silvestre



Fuente: Adaptado de Flores (1992).

Para *O. Streptacantha* Lemaire: A partir de 100 kg de tuna sin cáscara, el citado autor obtuvo 24.35 litros de vino y 1.92 litros de destilado, con grado alcohólico de 6.23 y 51 °GL, respectivamente.

Para *O. Robusta* Wendl: De 100 kg de tuna sin cáscara obtuvo 16.61 litros de vino con 6.10 °GL y 0.94 litros de destilado con 75 °G.L.

Concluyó recomendando estudios a nivel industrial para estandarizar el proceso de obtención, ya que tiene grandes perspectivas.

Los aguardientes de tuna se producen tanto en México como en Dinamarca y se considera que existe potencial para ampliar su mercado, ante el creciente gusto por las bebidas con alto contenido alcohólico.

Licor de tuna. Es una bebida alcohólica, aromática, no fermentada, producto de la mezcla de alcohol, agua y azúcar, con trozos de tuna sin cáscara. Las tunas sin cáscara se incorporan enteras o fraccionadas en mitades o cuartos a una solución azucarada y se adiciona alcohol etílico potable de 96°GL y agua en proporciones adecuadas. Por ejemplo, una receta de origen italiano (Cerdeña) es la siguiente: Una mezcla de 1 kg de tuna descascarada, 1 kg de azúcar, disuelta en 2 lt de agua, y 1 lt de alcohol se pone a reposar en un recipiente de vidrio o de acero inoxidable durante 40 días como mínimo, en completa obscuridad. El producto se filtra para separar los sólidos grandes en suspensión, los sólidos microscópicos que le dan la turbidez al producto pueden ser separados mediante un proceso de clarificación. Finalmente, al igual que los vinos y aguardientes, el producto se embotella en recipientes, de preferencia, nuevos, limpios y previamente esterilizados, se tapan, etiquetan y acomodan en cajas de cartón para su comercialización.

Los licores de tuna (infusiones) se producen en México, Italia (en Sicilia y Cerdeña) y Perú. En México son elaborados principalmente en el medio rural, de manera artesanal y sólo para autoconsumo; en Italia, al menos tres marcas comerciales de licor de tuna tienen una excelente presentación y concurren al mercado nacional e internacional; en Perú hay mínimamente diez empresas o marcas

comerciales en la región de Ayacucho (Foto 5.15). También se produce licor de nopal en México, en el estado de Tlaxcala.

Los vinos, aguardientes y licores de tuna, por ser generalmente dulces, tienen posibilidades de posicionarse en el mercado como productos para acompañar los postres o para finalizar las comidas, sobre todo en países donde se acostumbra consumir la fruta. Para desarrollar su demanda es conveniente implementar campañas de mercadotecnia.

5.2.5. Productos “medicinales” del nopal

Productos como la harina, cápsulas y comprimidos del nopal, generalmente son elaborados en México como complementos alimenticios, sin embargo, los consumidores los adquieren y consumen por las propiedades medicinales que se dice que tienen (Foto 5.16).

La industria farmacéutica de derivados del nopal para el control de la diabetes, colesterol, afecciones gastrointestinales y sobrepeso, se ha desarrollado con base en la herbolaria tradicional de Mesoamérica. Al nopal se le atribuyen propiedades curativas en afecciones renales y erisipela; se creía que ayudaba a inducir los partos y que aliviaba dolores e inducía la cicatrización en quemaduras; en estudios médico-científicos se han observado efectos hipoglucemiantes y abatimiento del colesterol en la sangre en individuos sanos o diabéticos no insulino-dependientes, por la ingesta del nopal crudo, hervido, asado o guisado, y también con base en los efectos de campañas publicitarias naturistas. En años recientes algunos investigadores han estudiado sus efectos en el tratamiento de la diabetes mellitus y en problemas de colesterol. Entre los estudios que destacan están los de Penfold y Morrison (1933), Ibáñez-Camacho y Roman-Ramos (1979), Frati-Munari *et al.* (1983), Ibáñez Camacho y Meckes-Lozoya (1983), Fernández *et al.* (1984), Meckes-Lozoya y Roman-Ramos (1986), Frati-Munari *et al.* (1987), Frati *et al.* (1989) y Trejo-González *et al.* (1991), Frati (1998).

5.2.5.1. Cápsulas, harina y comprimidos

El proceso de elaboración de harina, cápsulas y comprimidos de nopal consiste en el deshidratado (a temperaturas menores de 60 °C, de preferencia con aire forzado), de nopalitos previamente desespina-dos, lavados y fraccionados; posteriormente éstos son molidos hasta obtener un polvo fino que es la harina de nopal. Esta harina se en-capsula o bien se le adiciona un aglutinante y se comprime, para obtener pastillas o tabletas (Fрати-Munari *et al.*, 1992).

La producción de derivados de nopal con aplicaciones medicina-les (que no deben considerarse como fármacos) ha crecido en Mé-xico de una manera acelerada. Actualmente existen más de 30 empresas dedicadas a la producción de estos productos: 21 empre-sas elaboran cápsulas, 15 elaboran pastillas, cinco producen harina de nopal deshidratado y una empresa fabrica pomada de nopal para el tratamiento de quemaduras. Algunas de estas empresas exportan sus productos a Estados Unidos, no como medicinas sino como com-plementos alimenticios, principalmente. Sin embargo, la efectividad de estos productos comerciales no está suficientemente documenta-da. De acuerdo con Frати-Munari *et al.* (1992) no se debiera ser muy optimista en cuanto a los efectos de muchos de estos productos, en vir-tud de que son muy bajas las cantidades de nopal que se ingieren bajo estas presentaciones y que las cantidades de nopal que se requiere ingerir equivalen como mínimo a 30 cápsulas por día, lo cual resul-ta incómodo a los pacientes, además, muy probablemente se pierda la integridad de los principios activos del nopal en el proceso de deshidratación.

Se cree que el mercado tiene tendencia a crecer en la medida en que un mayor porcentaje de la población acepte la medicina naturis-ta. A nivel mundial ha crecido la demanda del nopal deshidratado como fibra dietética y se han realizado exportaciones a Norteaméri-ca, Europa y a algunos de los países orientales de la cuenca del Pa-cífico.

En el mercado de productos medicinales las empresas que pre-sentan mayor potencial de desarrollo son cinco que se dedican a los

productos naturistas y cuentan con un portafolio diversificado de productos de nopal, entre otros; en cambio, las demás empresas sólo producen tres o dos productos de nopal, y a veces sólo uno.

5.2.6. *Productos cosméticos elaborados a base de nopal*

Los cosméticos de nopal son formulaciones químicas que se usan con fines higiénicos y más especialmente para embellecer la piel y el cabello.

Con base en las propiedades que para beneficio de la piel se le atribuyen al nopal han surgido más de 20 empresas que fabrican cosméticos en cuyas formulaciones está incluido el nopal, productos que por ser de origen “natural” son cada vez más aceptados en este rubro de la producción y del mercado que, aunque es muy promisorio, resulta altamente competido. Sin embargo, la industria de cosméticos no requiere de grandes cantidades de nopal, debido a que el nopal sólo es un complemento en las formulaciones de estos productos, por lo que el uso de nopal para producir cosméticos no es la mejor opción para solucionar los problemas que por la sobreoferta temporal de nopal que actualmente enfrentan los productores en México.

5.2.6.1. Champúes, acondicionadores, jabones, cremas, geles absorbentes, lociones y mascarillas

Champúes. Son productos generalmente líquidos o pastosos, hidrosolubles, con derivados sulfonados, a los que deben su poder humectador, espumante y detergente; los champúes se usan en forma de fricciones para la limpieza del cabello y cuero cabelludo, de los cuales existen dos tipos: transparentes o crematizados. Los champúes transparentes se hacen en frío, mezclando bases químicas (*conperland* y *texapon*) con jugo de nopal (mucílago) y agua, y adicionando benzoato de sodio como preservante, NaCl disuelto en agua (0.5%), para incrementar la viscosidad, y sustancias colorantes y aromatizantes. El champú crematizado difiere del transparente por la adición de “cutina” (agente crematizante) precalentada, a la que se le incorporan las bases químicas y el jugo de nopal, sin dejar

enfriar y finalmente se adicionan el preservante, el colorante, el aromatizante y la solución de sal.

Acondicionadores de nopal. Son líquidos viscosos que se usan como complemento opcional del champú para remover residuos de éste (enjuague), suavizar el cabello y facilitar su manejo. Comercialmente se pueden encontrar champús y acondicionadores de nopal separados o mezclados.

Jabones de nopal. Son materiales deterorios blancos y duros, amasados, cortados y prensados, que se obtienen tratando un cuerpo graso con sosa, con menos de 0.05% de álcali libre, desecado hasta 20% de humedad, con adición de colorantes, aromatizantes y mucílago o pulpa de nopal o ambas a la vez. Los jabones transparentes contienen azúcar, glicerina y un alcohol que permite conservar su homogeneidad y evita que se cristalicen u opaquen al enfriarse.

Crema de nopal. Son emulsiones de aceite vegetal, agua, mucílago de nopal y un jabón especial obtenido a partir de una cera esterificada bajo condiciones alcalinas suaves, que también se definen como pomadas blandas, constituidas esencialmente por agua y materias grasas, exentas de polvos en suspensión. Estas preparaciones, a las que se les adiciona mucílago o pulpa molida de nopal, se elaboran en diferentes composiciones, según su uso como crema limpiadora, humectante o de noche.

Geles de nopal. Son sustancias adsorbentes que se obtienen mediante evaporación del líquido contenido en la masa que resulta de la floculación y coagulación de una disolución coloidal, adicionada con extracto de nopal e ingredientes activos según el uso del gel. Hay geles reductivos de grasa, fijadores del cabello y para la ducha.

Lociones. Son soluciones hidroalcohólicas, con perfumes y principios para el cuidado de la epidermis, con agentes astringentes, bactericidas y disolventes de grasa seborréica, adicionadas con mucílago o pulpa molida de nopal.

Mascarillas de nopal. Son pastas faciales que pueden reconstituir, humectar, limpiar, desmanchar o vitaminar la piel, a las que se

adiciona mucílago o pulpa de nopal. Esta pasta se aplica generalmente durante 15 a 20 minutos y luego se retira.

En México se han detectado 20 empresas que fabrican cosméticos utilizando nopal y una en Italia (Cerdeña). Estas empresas fabrican 40 productos que en orden de importancia son: champúes (17 marcas comerciales); cremas (8 marcas comerciales: 4 de cremas limpiadoras, 3 hidratantes y una de mascarilla); jabones (6 marcas comerciales); enjuagues o acondicionadores (4 marcas comerciales), geles (4 marcas comerciales: 2 de geles reductores y 2 para el cabello) loción astringente (una marca comercial) (Foto 5.17).

El número de empresas y productos cosméticos que incluyen nopal en su composición está creciendo en el mercado de México, aunque el potencial de crecimiento a nivel internacional está limitado a que participen las grandes empresas trasnacionales del ramo, que son las que cuentan con el mayor porcentaje del mercado, en parte por la mejor calidad de sus productos y en parte por la fuerte inversión que realizan en publicidad en todo tipo de medios. El desarrollo del mercado será lento si sólo participan pequeñas empresas, como las que actualmente están produciendo los cosméticos con nopal.

5.2.7. Productos artesanales del nopal

5.2.7.1. Canastas de la fibra del cladodio

Se trata de artículos decorativos muy vistosos y originales, tales como canastas y floreros, elaborados con la fibra de los cladodios del nopal.

Su elaboración sigue un proceso empírico, que consiste en obtener cladodios ya lignificados del nopal y someterlos a un proceso de degradación por fermentación, colocándolos en una pileta con lodo durante un periodo de 10 a 15 días; posteriormente, los residuos del cladodio (la base estructural de paredes celulares y tejidos de conducción, constituidos principalmente por celulosa y lignina), se cortan, se cepillan para eliminar los últimos residuos de tejido suave y se lavan con agua. Finalmente éstos se colocan en capas sobre

moldes de madera o barro, se dejan secar, se les asperja acrílico para fijar la forma, se dejan secar nuevamente y así quedan listas las canastas o los floreros para ser utilizados en arreglos con flores secas, frutas, etc. Algunos ejemplos de estas artesanías se muestran en la Foto 5.18.

Actualmente, en México estas artesanías son fabricadas principalmente por mujeres indígenas en los estados de México e Hidalgo. La aceptación de estos productos ha sido limitada, porque compiten con los diversos productos de la riqueza artesanal del país. El potencial del mercado a nivel mundial se considera mediano.

5.2.8. Productos de la industria extractiva y de la biotecnología de la tuna y el nopal

Por industria extractiva entendemos en este caso, aquella que se ocupa de la extracción de ciertos componentes de importancia económica a partir del nopal y de la tuna. Así tenemos que del nopal y de la tuna se ha obtenido a nivel de laboratorio, en diversos países, productos tales como mucílago de los cladodios y de la cáscara de tuna, pigmentos colorantes de las tunas rojas, azúcares de la tuna y aceite de la semilla.

5.2.8.1. Mucílago, pectina, colorantes, azúcar y aceite

Una recopilación de información sobre la obtención de estos productos fue realizada por Colín (1976) y posteriormente actualizada por Corrales y Flores (1996). En la actualidad no se tiene conocimiento de ninguna empresa que utilice la tuna o el nopal para obtener comercialmente alguno de estos productos. Algunos detalles y dificultades tecnológicos se presentan a continuación:

Obtención de mucílago. El mucílago es un producto que se usa como espesante en la industria alimentaria. Cárdenas *et al.* (1997) evaluaron el comportamiento reológico y de agregación del mucílago del nopal en solución, de acuerdo con lo cual establecieron lo siguiente: Se trata de un polisacárido, cuyas propiedades macroscópicas son aparentemente muy parecidas a las propiedades de la goma de okra, por lo que tiene muchas aplicaciones potenciales, dentro de

las cuales se incluyen, por ejemplo, para el mejoramiento de las propiedades de batido del huevo reconstituido (BeMiller *et al.*, 1993); como agente defloculante y como abrillantador por electro-deposición de níquel y otros metales. Las aplicaciones ya encontradas en los mucílagos del nopal y de la okra parecen estar relacionadas con la capacidad de estos polisacáridos de formar dispersiones coloidales (sistemas dispersos), tales como las de agregados moleculares grandes.

Obtención de pectina. Dentro de la industria extractiva también está la obtención de pectina, producto que se ocupa como gelificante en la industria alimentaria. Al respecto, Villarreal *et al.* (1961) estudiaron los frutos de seis especies de nopal y encontraron que *Opuntia robusta*. Wendl, contiene 26.6% de pectina (base seca) por lo que sugirieron considerar a la tuna de esta especie como una posible fuente de pectina de interés comercial.

Diacino y Missam (1948) obtuvieron 14 g de pectato de calcio y magnesio a partir de 2 kg de pencas frescas, es decir, el 0.7%. Escamilla (1977) purificó pectinas de las cáscaras de tuna "Cardona" (*O. Streptacantha* Lemaire) que se encuentran en una estructura intercelular denominada lamela, obteniendo un rendimiento bajo y con escasa fuerza gelificante. Estos resultados limitaron las posibilidades de su aplicación en la industria de los alimentos.

Posteriormente, Pérez *et al.* (1980), considerando solamente la cáscara de tuna tapona (*O. Robusta* Wendl.) como materia prima para la obtención de un polisacárido, cuyas propiedades son muy similares a las de la pectina comercial, obtuvieron un rendimiento de 1% (base húmeda), y del bagazo de cáscara obtuvieron un rendimiento del 30% (base seca), que puede ser comparable al rendimiento de otros frutos. El estudio comparativo de la composición y características del polisacárido obtenido de la cáscara de esta tuna con la pectina cítrica comercial, mostró que este polisacárido gelifica en presencia de azúcar, dando un grado de gelificación de 120 (rápido), en tanto que el contenido relativo de ácido galacturónico fue del 65% respecto a la pectina comercial. El contenido de ácido

galacturónico de los polisacáridos aislados de la penca del nopal de esta misma variedad fue menor al encontrado en el fruto, asimismo, estos polisacáridos no presentan propiedades gelificantes.

Obtención de colorantes de las tunas rojas. Los colorantes tienen una amplia aplicación en la industria de los alimentos, ya que el color es un factor muy importante en la aceptación por parte de los consumidores y muchas veces se hace necesario añadirlo, modificarlo o simplemente reafirmarlo y estabilizarlo en algunos de los alimentos procesados (Corrales, 1992).

De acuerdo con Mackinney y Chichester (1954) se puede considerar como un colorante alimentario aquella sustancia que se adiciona a los comestibles y bebidas con el fin de proporcionar o intensificar su color. Los colorantes pueden ser naturales o artificiales. Los primeros (llamados pigmentos) se obtienen de animales, frutas y vegetales, aquellos de tonalidad roja pueden pertenecer a grupos químicos diversos, tales como carotenoides, antocianinas y betalainas; los colorantes artificiales son compuestos orgánicos o inorgánicos que tienen la función de impartir mayor intensidad de color y además son más estables que los colorantes naturales (Larios *et al.*, 1981).

El número de colorantes artificiales es reducido y las investigaciones recientes sobre la inocuidad de tales colorantes están limitando su uso, como en el caso de los colorantes rojos FD&C N°2 y N°4 por su posible efecto cancerígeno, por lo que fueron prohibidos, según consta en el *Federal Register* de fechas 28 de enero y 30 de septiembre de 1976; otros colorantes no se pueden aplicar a todos los alimentos procesados. El rojo FD&C N°3 es muy sensible a la luz y se vuelve insoluble a niveles bajos de pH, mientras que el rojo FD&C N°40 tiene un tono anaranjado y se dificulta la obtención de tonalidades rojas.

Ante las dificultades señaladas surge la necesidad de encontrar otros colorantes que sean estables y que no representen riesgos a la salud, como son los pigmentos de origen natural. Entre las posibles fuentes de obtención de pigmentos rojos naturales se encuentra el

betabel (*Beta vulgaris* L.) y algunas especies de Opuntia, como son *O. Streptacantha* Lemaire, *O. Robusta* Wendl, y *O. ficus indica* L. Se ha encontrado que los pigmentos presentes en las tunas son sustancias nitrogenadas, cuya estructura se relaciona con las betacianinas y las betaxantinas (Mabry y Dreiding, 1968), que en forma genérica reciben el nombre de betalainas, las cuales en general son hidrosolubles y se presentan en la naturaleza como sales. De acuerdo con Piatelli e Imperato (1969), el color característico de la tuna roja (*O. Streptacantha* Lemaire) se debe a una mezcla cuya composición cuantitativa es la siguiente: Betanina, 67.3%; isobetanina, 23.9%; filocactina, 6.4%, e isofilocactina, 2.4% . Estos colorantes pertenecen al grupo de los indicadores químicos, ya que en condiciones neutras de carga cambian de color con el pH.

Cano (1987) encontró que los principales pigmentos en la tuna *O. ficus-indica* L. (Cv Mexital) fueron betacianinas y betaxantinas, los cuales absorben las ondas luminosas de 537 y 485 nm, respectivamente. Las cantidades obtenidas por la autora fueron de 13.9 mg de betacianinas y 2.9 mg de betaxantinas por 100g de peso fresco, cantidades consideradas bajas en comparación con las de otras especies; la misma autora observó que la estabilidad de ambos pigmentos es mayor a pH de 5.0 y a temperaturas entre 4 y 20°C, en ausencia de luz y de oxígeno, por lo que concluyó que la posible aplicación de estos pigmentos debería enfocarse a aquellos alimentos que requieran procesos térmicos leves, posean una vida corta de anaquel y su pH fluctúe entre 4.0 y 5.0.

Existe un grupo numeroso de productos en los que podrían utilizarse estos pigmentos sin ningún problema (Pash y Von Elve, 1977; Sapers y Hornstein, 1979) entre los cuales están los siguientes: leche fermentada de sabores (yogur), gelatinas, leche pasteurizada de sabores, productos de confitería, bebidas en polvo, embutidos, productos de panadería y farmacéuticos, entre los más importantes.

Pérez *et. al.* (1980) desarrollaron una metodología para obtener de la tuna colorantes naturales (pigmentos) en polvo, a partir de la fermentación con levadura comercial de panadería y luego un seca-

do por aspersión de la cáscara y de la pulpa de la tuna “Roja Tapona” (*O. Robusta* Wendl.). Los autores indicaron que la concentración de pigmentos no presentó cambios apreciables durante el transcurso de la fermentación; en su trabajo, la fermentación tuvo como objetivo principal reducir los sólidos presentes en el jugo hasta alrededor del 2%, ya que éstos dificultan el secado (caramelización de azúcares).

Obtención de fructosa. Para la obtención de jarabes fructosados o extracción de fructuosa (cuya demanda es alta en México) a partir de la tuna, se aplica un proceso técnicamente factible ya probado en México por la empresa Opuntia S.A. en su laboratorio de San Luis Potosí y en su planta de Aguascalientes. Sin embargo, la obtención de estos productos a partir de otras fuentes (maíz) resulta más rentable, lo que explica que esta forma de industrialización de la tuna no tenga un mayor desarrollo.

Obtención de aceite de la semilla. La semilla de la tuna tiene un alto contenido de aceite (Recevato-Solina y Guzzardi, 1941; Becerra *et al.*, 1969; Colín, 1976 y Cigala, 1979). De acuerdo con los dos últimos autores, la semilla puede representar del 5 al 15% del peso de la tuna “Cardona”. Pimienta (1991) informó que en el aceite de las semillas de las tunas predominan los ácidos grasos insaturados, como el linoléico. De acuerdo con el autor, por ésta y otras características, el aceite de semilla de tuna puede considerarse de calidad e incluso ser aceptado por los consumidores, como el aceite de cártamo.

Cigala (1979) mencionó que el aceite de la semilla de tuna puede refinarse para el consumo doméstico, sin descartar por ello su utilización para la producción de ácidos grasos y su empleo en la industria de los barnices y pinturas. El proceso de obtención, descrito por el mismo autor, consiste en lo siguiente:

A la semilla secada al sol se le separan las impurezas y se muele; la pasta molida se envía a un silo y posteriormente al extractor de aceite, en donde se le agrega un solvente inorgánico, para así obtener una mezcla de aceite y solvente llamada miscela y la llamada pasta residual. La miscela se envía a un tanque de paso y luego se

bombea a un destilador donde se obtiene, en forma separada, el “aceite crudo” y el “solvente recuperado”. El “aceite crudo” se envía a un tanque recolector para luego refinarlo y envasarlo en tambos de producto terminado. El “solvente recuperado” se recircula al proceso.

Soto (1979) realizó un estudio experimental para la obtención de ácidos grasos a partir del aceite de semilla de tuna y encontró que el proceso más adecuado es el de autoclave con catalizador, en virtud de que los ácidos grasos obtenidos con este proceso son más claros (no necesitan purificación) que los obtenidos mediante otros procesos.

El principal problema para la obtención del aceite de la semilla de tuna es su bajo rendimiento (de una tonelada de tuna se podrían obtener apenas 4 kg de aceite); además, al no existir industrias que procesen la tuna, no existe semilla disponible en los volúmenes requeridos para que sea económicamente factible la instalación de una industria aceitera a partir de la semilla de tuna.

5.2.9. Productos de la industria forrajera del nopal

El nopal es un forraje con un alto contenido de agua y, por tanto, pobre en nutrimentos, así que difícilmente resulta redituable agregarle más costos en deshidratado y empaçado para utilizarlo como forraje.

Las variedades silvestres del norte de México presentan de regular a gran cantidad de espinas y éstas son quemadas con “chamuscadores” de gas o de petróleo diáfano (aunque éstos últimos cada vez se usan menos), siguiendo dos procedimientos: a) Para el ganado bovino de carne, ovino y caprino, el chamuscado se realiza en campo sobre la planta en pie, procurando quemar poco la parte inferior de la planta para que resulte menos dañada y pueda rebrotar rápidamente. b) Para el ganado bovino lechero estabulado en las ciudades, el nopal de campo es cosechado (en ocasiones desde la raíz), cargado en camiones de 8-12 toneladas y trasladado a los establos, donde le queman las espinas usando chamuscadores de gas, para luego picar los cladodios con machete (cuchillo de 30 a 60 cm)

o con picadoras mecánicas y proporcionarlo al ganado lechero a razón de 40-60 kg diarios por animal (Flores y Aranda, 1997).

En el sur de Estados Unidos, las nopaleras silvestres y cultivadas para forraje son de variedades con espinas y su uso se realiza chamuscando el nopal en pie, con chamuscadores de gas (lo que es subsidiado por el gobierno en las temporadas de sequía), para ser ingerido por el ganado bovino de carne y la fauna silvestre, principalmente venados y jabalíes (Maltsberger, 1991).

En otros países donde también se cultiva nopal con fines forrajeros, como Brasil (500,000 ha), Argentina (100,000 ha), Chile (1,000 ha), Sudáfrica (350,000 ha) y países del norte de África (200,000 ha), se utilizan principalmente variedades sin espinas, por lo que sólo se cortan y pican (a mano o con máquina) para proporcionarlo al ganado. En ocasiones las nopaleras son pastoreadas directamente por el ganado (Flores, 1999).

Se prevé un crecimiento considerable de las superficies de nopal con fines forrajeros en las zonas áridas y semiáridas de América y África, dadas las superficies que ocupan estas zonas y la excelente adaptación del nopal a las condiciones ambientales que imperan en éstas.

5.2.9.1. Pasta de cáscara de tuna, pasta de semilla y proteína unicelular

Obtención de pasta de semilla y cáscara de tuna. La pasta obtenida después del proceso de extracción de aceite de la semilla de tuna también puede ser un importante complemento de forraje para aves domésticas, dado su alto contenido proteico, por lo que resulta ser un adecuado sustituto de otras pastas, tales como las de soya, maíz, cártamo, semilla de algodón y de ajonjolí. Otra fuente propuesta de forraje es la pasta de la cáscara de tuna (subproducto de la industrialización de este fruto); sin embargo, ésta se ha obtenido sólo en el laboratorio, a nivel industrial no se ven posibilidades de desarrollo de estos productos en el mediano plazo; debido a que no se ha desarro-

llado la industria de la tuna, no existen disponibles volúmenes importantes de materia prima para su elaboración.

Obtención de proteína unicelular a partir del nopal. De los azúcares (del jugo de tuna) también es posible obtener proteína de levadura, la cual representa una fuente de alimentación de elevado contenido proteico para el ganado; en el proceso, la levadura utiliza carbohidratos como fuente de carbono y energía, y sales inorgánicas como fuentes de nitrógeno. Paredes (1976) encontró que la levadura *Candida utilis* en cultivo intermitente, con 10.77 g/l de concentración de azúcares presentó una tasa máxima de crecimiento y un rendimiento, con base en el sustrato, de 42.6%. Por su parte, Mukkopadhyay *et al.* (1978) obtuvieron un rendimiento de biomasa de 12 g/l en cultivo por lotes de *Candida utilis* con una relación C/N de 7 y una concentración inicial de azúcares de 25 g/l. Los autores indicaron que el jugo de tuna no debe tener componentes de la semilla, debido a que en ésta existen inhibidores del crecimiento de la levadura.

El nopal ha sido utilizado para desarrollar cultivos de bacterias y hongos, con la finalidad de obtener forraje de mejor calidad. Los mayores avances se han logrado en el nordeste brasileño, en donde Suzssuna, (1998, comunicación personal)* desarrolló el hongo *Aspergillus awamori* en nopal parcialmente deshidratado al sol (75% de materia seca). Resultados posteriores han señalado que se obtiene mejor respuesta a mayores niveles de deshidratación. Actualmente se está intentando pasar de la fase de laboratorio a la de fábrica (Anónimo, 1998). Se considera que será un gran avance la síntesis proteica vía fermentación en medio sólido o semisólido, utilizando el nopal como sustrato.

5.3. Conclusiones

- a) El nopal es ampliamente cultivado en alrededor de 25 países: América (más de 800,000 ha), África (alrededor de

* Alberto Suzssuna. Ing. Agrónomo. Recife, Brasil.

500,000 ha), Sur de Europa (cerca de 3,000 ha) y del Cercano Oriente (aproximadamente 500 ha).

- b) El nopal y la tuna son utilizados para producir: Alimentos y bebidas (de la fruta y del nopal verdura o nopalito), forraje, pigmento (grana de cochinilla) y para conservar el suelo.
- c) El nopal y la tuna son procesados artesanal e industrialmente para producir: Alimentos, bebidas, “medicamentos”, cosméticos, artesanías y otros productos de la industria extractiva y la biotecnología.
- d) Actualmente, los principales productos procesados del nopalito son: Alimentos (nopalitos en salmuera y escabeche, además de un grupo de nuevos productos), “medicamentos” y cosméticos. De la tuna: Alimentos (gel, mermelada y néctares) y bebidas alcohólicas. Del cladodio: Usos tradicionales (clarificante de agua y adherente para encalados) y artesanías.

En México existen poco más de 20 empresas que elaboran nopalitos en salmuera y un poco más de 25 que elaboran nopalitos en escabeche; en los Estados Unidos existen cuando menos 3 empresas que elaboran nopalitos en salmuera y al menos una que elabora nopalitos en escabeche. Se han detectado 15 marcas comerciales de salsa de nopalito, todas en los Estados Unidos. De otros alimentos con nopal existen en México más de 4 empresas. Al menos existen 6 empresas (4 en México y 2 en Estados Unidos) que producen mermelada de nopalito. Para mermelada de tuna, en México existen por lo menos 5 empresas y muchos talleres artesanales; en Estados Unidos existen más de 5 empresas, en Italia 3, en España y en Argentina existe al menos una en cada país. De dulces de tuna y nopalito existen algunas empresas comerciales solamente en Estados Unidos e Italia; en México, estos productos se elaboran en un gran número de talleres artesanales. La producción de bebidas alcohólicas de tuna (vinos, aguardientes y licores) se realiza en algunos países como México (dos empresas y muchos talleres artesanales),

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Perú (más de 10 empresas), Italia (al menos 3 empresas) y Dinamarca (una empresa). Los jugos de tuna (solos o mezclados con otros frutos) se producen en Estados Unidos en al menos 4 empresas. Los productos “medicinales” (cápsulas, comprimidos, harinas y pomadas) son producidos en México por más de 30 empresas.

Los productos cosméticos (champúes, acondicionadores, jabones, cremas, geles y lociones) se fabrican en México en más de 20 empresas, y en Italia en dos.

A pesar de la considerable cantidad de productos derivados de la tuna y del nopalito y el gran número de empresas involucradas tanto en México como en otros países, no existen plantaciones destinadas ex profeso para la industrialización, y los volúmenes procesados son muy pequeños, con excepción del nopalito en salmuera y en escabeche, mismos que en conjunto representan más de cuatro mil toneladas anuales, de los cuales al menos la mitad provienen de nopaleras silvestres y el resto de nopaleras cultivadas.

- e) Los productos procesados con mayor potencial a nivel mundial, son: Del nopalito, alimentos (nopalitos en salmuera y escabeche, salsas, nuevos y promisorios productos) y cosméticos. De la tuna, alimentos (mermeladas, néctares, jarabes y dulces), jugos y bebidas alcohólicas. De los cladodios, proteína unicelular para alimento del ganado.

5.4. Literatura citada

- Abarca A., M.E. 1971. Estudio de la tuna para su industrialización. Tesis profesional. I.Q. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Puebla, México, 83 p.
- Anónimo, 1998. Enriquecimiento proteico da palma forrageira por processo biotecnológico. Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuaria da Paraíba, S.A., Trípico.

- Arizmendi E., V.; A.M.L. Garcés, y M.O., Alcaráz. 1980. Ensayo para la fabricación de aguardiente de tuna “Blanca” (*Opuntia* spp). CONAFRUT-SARH. México.
- Becerra R., H.; A.M. Garfunkel; R.A. González, y S.S. Trevadan. 1969. Estudio teórico experimental sobre el aprovechamiento de nopal. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas, UNAM. México.
- BeMiller J., N.; R.L. Whistler; D.G. Barkalow, y C.C., Chen. 1993. Aloe, chia, flaxseed, okra, psyllium seed, quince seed, and tamarind gums. En: R.L. Whistler y J.N. BeMiller (eds.). Industrial Gums, Polysaccharides and their Derivatives Academic Press. San Diego, Ca., USA.
- Borrego E., F. y V.N. Burgos. 1986. El nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, 202 p.
- Braverman, B.J. 1976. Introduction to the biochemistry of foods. Ed. Elsevier.
- Cano M., R. 1987. Estudios sobre acumulación, identificación y estabilidad de pigmentos en frutos de tuna (*Opuntia ficus-indica*) cv Mexital. Tesis de Maestría en ciencias, Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. México, 92 p.
- Cárdenas, A.; I. Higuera-Ciapara, y F.M. Goycoolea. 1997. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. Jour. of the Professional Association for Cactus Development 2: 152-157.
- Cigala S., S. 1979. Industrialización integral de la tuna “Cardona”. Tesis profesional, ESQUIE, I.P.N., México., 195 p.
- Colín B., C. 1976. Industrialización del nopal y sus productos. Tecnología LANFI. Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, México. Vol. II. No. 2.
- Corrales G., J. 1992. Perspectivas de industrialización de nopalito y tuna. En: Memoria del resumen del 5° Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional, Conocimiento y Aprovecha-

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

- miento del Nopal. CONACYT-CIESTAAM-UACH. Chapingo, estado de México, pp. 97-98.
- Corrales-García, J. 1998a. Industrialization of prickly pear pads (nopalitos). En: Proceedings of the International Symposium Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses. Universidad de Chile. pp. 25-32.
- Corrales-García, J. 1998b. Industrialization of cactus pear (*Opuntia* spp) pads (*nopalitos*). Cactusnet-FAO International Coop. Network on Cactus Pear. News letter 4th Issue, pp. 3-5.
- Corrales G., J. y C.A. Flores V. 1996. The current status in Mexico of the many products being derived from cactus and tuna fruit. 7th Annual International Symposium, Texas Prickly Pear Council, Texas A&M University, Kingsville, Tx. USA.
- Corrales G., 2000. Tendencias actuales y futuras en el procesamiento del nopal y la tuna. Reporte de Investigación 49, CIES-TAAM-UACH. Chapingo, estado de México, 59 p.
- Diacino, H. y V. Missam, 1948. A new source of pectin: *Opuntia vulgaris*. Homeostatic properties of this pectin. Ann. Pharm. Franc. 6: 457-461.
- Díaz C., M. y D. Alvarado M. 1990. Ensayos biotecnológicos con tuna; fermentación alcohólica. IV Reunión Nacional y II Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, Zacatecas, Zacatecas, México, p. 14.
- Escamilla, H. 1977. Proyecto para la industrialización de la tuna. Tesis profesional. Fac. Ciencias Químicas, UNAM, México.
- Fernández-Harp, J.A.; A. Fratti-Munari; A. Chávez-Negrete; A.B. de la Riva, y G. Mares Gómez. 1984. Estudios hormonales en la acción del nopal sobre la prueba de tolerancias a la glucosa. Informe preliminar, Rev. Med. IMSS (Méx.) 22:387-390.
- Flores A., H. 1992. Producción de vino y aguardiente de tuna, alternativa en el aprovechamiento del nopal. Revista Ciencia y Tecnología. CONACyT, México, Vol. XVII, 102: 56-68.

- Flores V., C.A. 1999. Aprovechamiento del nopal forrajero a nivel mundial. Memorias. Curso-Taller sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Asociación de Productores de Nopal de Nuevo León A.C., Monterrey, N.L., México, 10 p.
- G. Aranda O. 1997. Forage uses of cacti in Mexico. En: Professional Association for Cactus Development. Third Annual Conference, September, San Antonio Botanical Gardens, San Antonio, Texas, USA.
- Frati M., A.1998. El nopal y sus aplicaciones medicinales. En: Nostas C. (ed.). El nopal. Aprovechamiento y aplicación en la lucha contra la desertificación. Simposio Internacional, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Frati-Munari, A.C.; J.A. Fernández-Harp; M.Bañales-Ham, y C.R. Araiza-Andraca. 1983. Disminución de glucosa e insulina sanguínea por nopal (*Opuntia* spp.). Arch. Invest. Med. (México) 14, 3: 269-273.
- Frati-Munari, A.C.; S. Yever-Garcés; S. Islas-Andrade; C.R. Araiza-Andraca y A. Chávez-Negrete. 1987. Studies on the mechanism of hypoglycemic effect of nopal (*Opuntia* sp.) Arch. Invest. Med. (México) 18: 17-22.
- Frati-Munari, A.C.; L.M. Del Valle-Martínez; C.R. Araiza-Andraca; S. Islas-Andrade, y A. Chávez-Negrete. 1989. Hypoglycemic effect of different doses of nopal (*Opuntia streptacantha*) in patients with type II Diabetes Mellitus. Arch. Invest. Med. (México). 20: 197-201.
- Frati-Munari, A.C.; O. Vera-Lastras; y C.R. Ariza-Andrea. 1992. Evaluación de cápsulas de nopal en Diabetes Mellitus. Gaceta Médica de México 128: 431-436.
- Hoffmann, W. 1995. Ethnobotany. En: Barbera, G.; P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds.). Agro-Ecology, cultivation and uses of cactus pear. Plant Production and Protection Paper, FAO. Roma, Italia, 132: 12-19.

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

- Ibáñez-Camacho, R.; M. Meckes-Lozoya, y V. Mellado-Campas. 1983. The hypoglycemic effect of *Opuntia streptocantha* studied in different animal experimental model. *Jornal of Ethnopharmacology* 7:175-181.
- Ibáñez-Camacho, R., y R. Roman-Ramos. 1979. Efecto hipoglucemiante del nopal. *Arch. Invest. Med. (México)* 10: 223.
- Larios-Carmona, C.; J.J. Tueme, y J. Calderón-Hernández. 1981. Estudio comparativo del jugo concentrado estabilizado y el colorante en polvo, obtenidos de la tuna "Tapona" (*Opuntia robusta* Wend) con extracto de col roja, concentrado de uva, concentrado de arándano, concentrado de betabel y Rojo 40. Promotora del Maguey y del Nopal, México, Colección: Estudios y Proyectos N° 31, 28 p.
- Mabry, T.J. y A.S. Dreiding. 1968. The betalains. En: R.E. Alston y V.C. Runeckles (eds.). *Recent advances in phytochemistry*, Vol. 1. Appleton Century Croft, N.Y., pp. 146-181.
- Mackinney, G. y C. O. Chichester, 1954. The color problem in food. *Advances in food research* 7: 301-351.
- Maltsberger, W.A. 1991. Feeding and supplementing prickly pear cactus to beef cattle. *Proceedings 2° Annual Texas Prickly Pear Council*. Caesar Kleberg Wildlife Research Institute. Texas A&M University, Kingsville, Texas, pp. 104-117.
- Meckes-Lozoya, M. y R. Roman-Ramos. 1986. *Opuntia streptocantha*: a coadjutor in the treatment of Diabetes Mellitus. *Amer. J. Clin. Med.* 14: 116-118.
- Mukhopadhyay, S.N.; A.O. Vale; E.C. Rubio, y G. C. Arcos. 1978. Studies on the variables and kinetics of S.C.P. production from nopal fruit juice. *European Jour. of Applied Microbiology and Biotechnology* 6 (1): 55-56.
- Ochoa de C., M^a. J. 1997. Estado actual del nopal en la República Argentina. En: Vázquez A. R. (ed.). VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento

- del Nopal. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León, México, pp. 21-27.
- Paredes L., O. 1976. Utilización del jugo de tuna para la producción de proteína microbiana en cultivos intermitente y continuo. *Tecnología de Alimentos* 11, México, pp. 155-165.
- Pash, J.H. y J.H. Von Elve. 1977. Red and yellow. Pigments from betalains promise as substitutes for color banned by FDA. *Candy Snack Ind.* 142 (3): 32.
- Penfold, A.R. y F.R. Morrison. 1933. Use of prickly pear in the treatment of diabetes and the preparation of a concentrated extract. *Sydney Tech. Coll., Chem. Soc.* 5: 51.
- Pérez G., J.L.; G.J. A. Raigosa; S. Rodríguez; L. M.A. Guarneros; T. A.H. Sandoval, y G.C. Pérez. 1980. Colorante, polisacárido y forraje a partir de la tuna "Roja" (*Opuntia robusta* Wendl). *Promotora del Maguey y del Nopal (Méx.)*, Colección: Estudios y Proyectos N° 30, 32 p.
- Piatelli, M., y F. Imperato. 1969. Betacyanins of the family Cactaceae. *Phytochem* 8: 1503-1507.
- Pimienta, E. 1991. An overview of prickly pear cultivation in the central part of México. *Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council*, pp. 1-17.
- Recevuto-Solina, A. y P. Guzzardi. 1941. The oil of seeds of prickly pears. *Ann. Chem. Applicata* 31: 273.
- Rodríguez G., L.; G. Vela; C.S. Medina T., y J.G. Álvarez L. 1995. Fabricación de pintura vinílica con el excedente de la producción de nopal verdura en Milpa Alta, D.F., Centro para la innovación tecnológica, Universidad Autónoma de México, México, 20 p. y anexos.
- Sáenz, C. 1997. Cactus cladodes: a source of dietary fiber. *Jour. of the Profess. Assoc. on Cactus Development* 2: 117-123.
- Sapers, G.M. y J.S. Horstein. 1979. Varietal differences in colorants properties and stability of red beets pigments. *Jour. of Food Sci.* 44 (4): 125.

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

- Soto J., M. 1979. Estudio experimental para la obtención de ácidos grasos a partir del aceite de semilla de tuna. Tesis profesional (I.Q.I.) ESIQIE/I.P.N, México.
- Sudzuki H., F. 1992. Uso y aprovechamiento de los nopales en Chile. 5º Congreso Nacional y 3º Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Memoria de Resúmenes, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, estado de México, México, p. 56.
- Trejo-Gonzalez, A.; E. Calva; P.J. Monterrubio; R. Hernández; L. Sánchez; J. Terrazas; M.A. Ruida, y B. Cobos. 1991. Anti-diabetic properties of prickly pear cactus. Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council, pp. 75-78.
- Valdez V.; S. A. Valadez V., y S. Chatelain M. 1979. Pigmentos de la tuna cardona como posibles colorantes alimentarios. Fruticultura Mexicana, Comisión Nacional de Fruticultura, México, Año 2, N° 15-18, Tomo I, 32 p.
- Villarreal, F.; M.P. Rojas; V. Arellano, y J. Moreno. 1961. Estudio químico sobre seis especies de nopales (*Opuntia* spp.). Ciencia Mexicana 22:59-65. México.
- Villarreal, F.; E. de Alba, y G. Romero. 1964. Estudio químico sobre jugos de tunas enlatados. Ciencia 23: 75-82.

JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

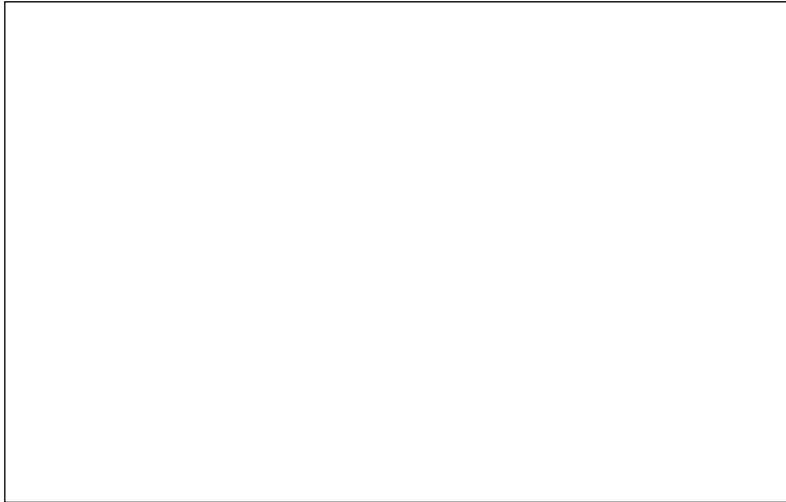


Foto 5.1. Nopalera para fruta de la variedad Copena Torreoja en Ojuelos, Jalisco, México.

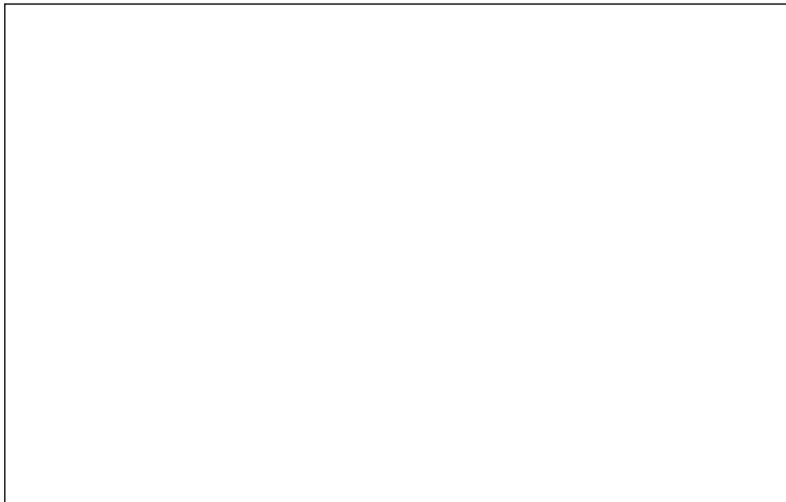


Foto 5.2. Nopalera para fruta de la variedad Esmeralda en San Diego de la Unión, México.

JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

Guanajuato, México.

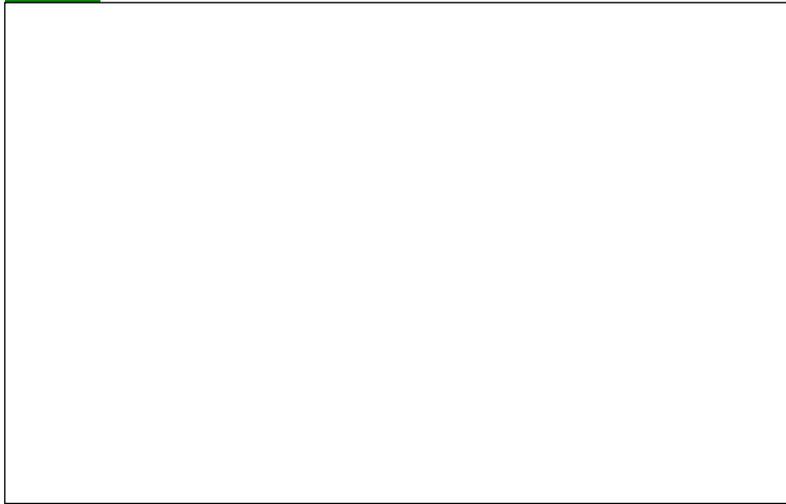
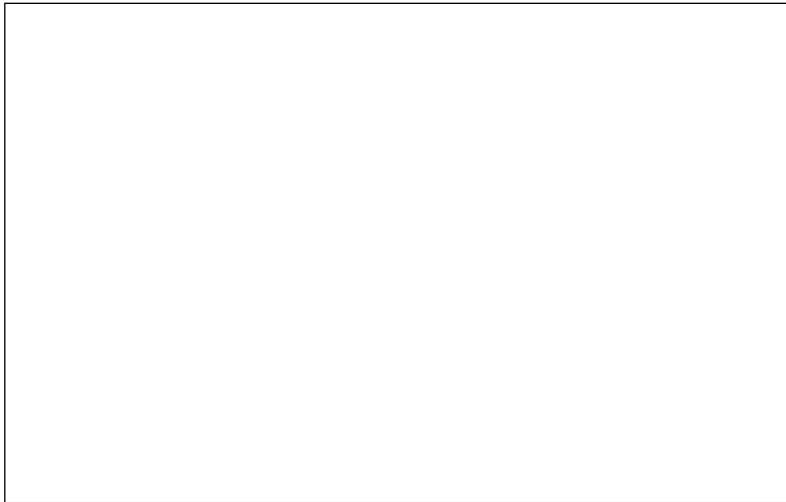


Foto 5.3. Plantación de nopalito en Milpa Alta, Distrito Federal.



TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Foto 5.4. Nopalito bajo plástico en El Arenal, Hidalgo. México

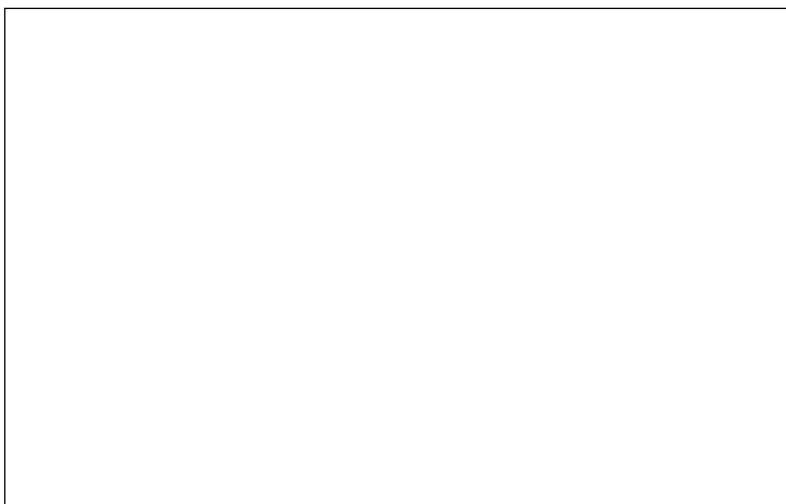
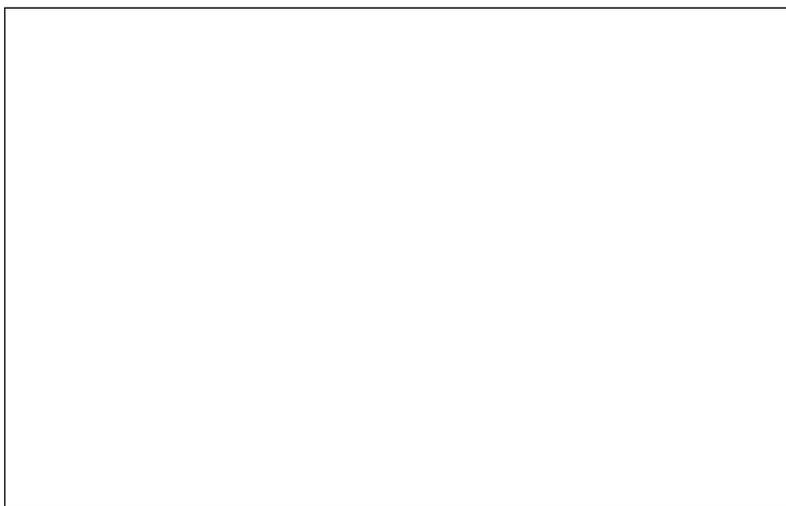


Foto 5.5. Nopalera silvestre en Pinos, Zacatecas, México. Constituida por nopal tapón, cardón, cuijo y rastreo, entre otros.



JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

Foto 5.6. Planta de nopal cardón en la Victoria, Pinos, Zacatecas, México.

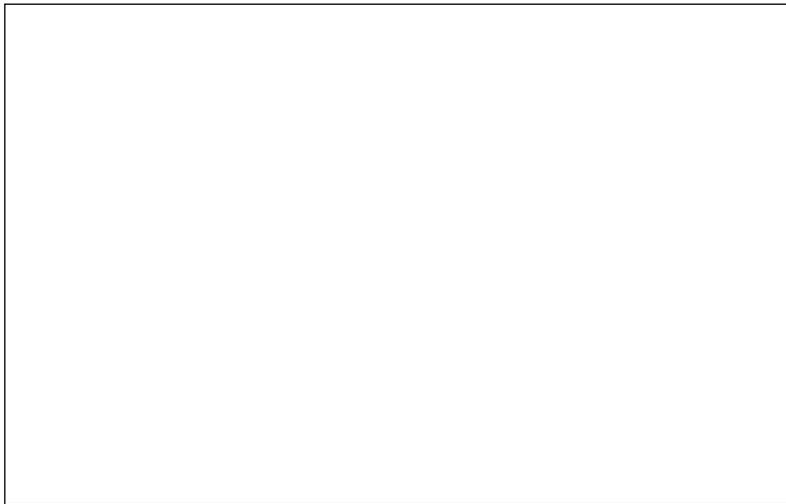
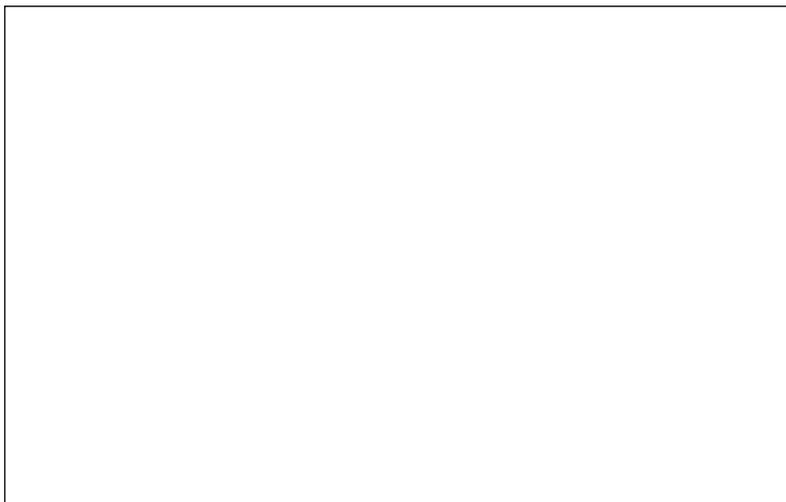


Foto 5.7. Colección de presentaciones comerciales de nopalitos en salmuera. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.



TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Foto 5.8. Colección de presentaciones comerciales de nopalitos en escabeche. Programa Nopal, CIESTAAM. UCh.

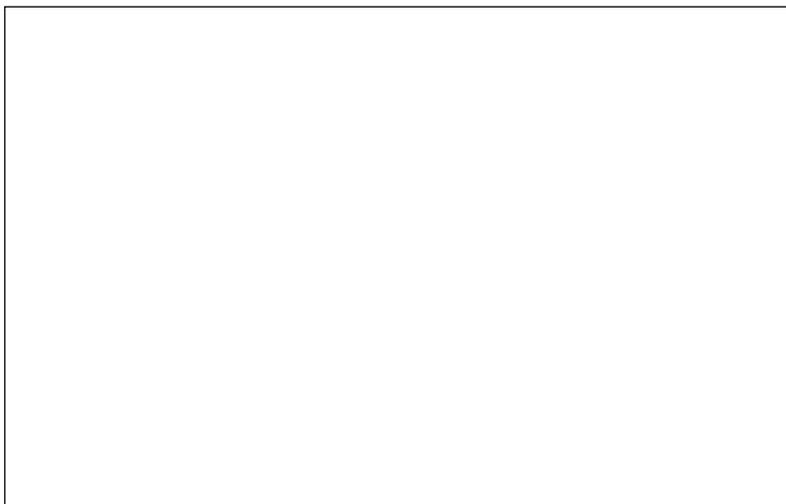
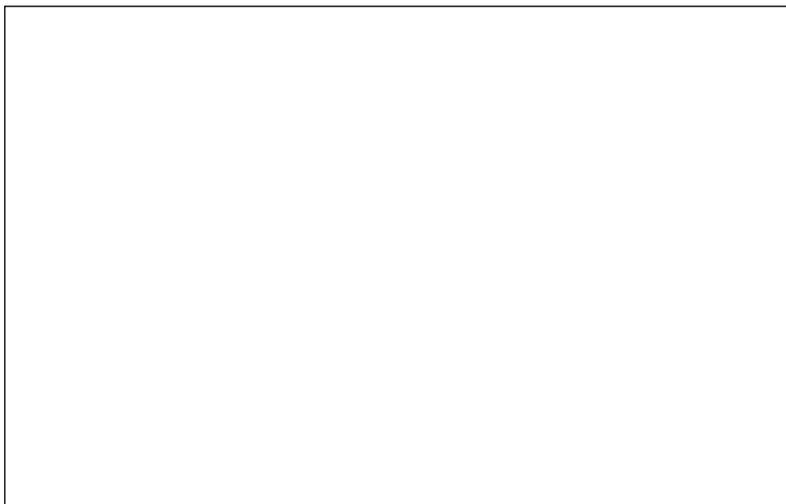


Foto 5.9. Colección de presentaciones de salsas de nopalitos. Programa Nopal, CIESTAAM. UCh.



JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

Foto 5.10. Colección de presentaciones comerciales de otros alimentos con nopal. Programa Nopal, CIESTAAM. UCh.

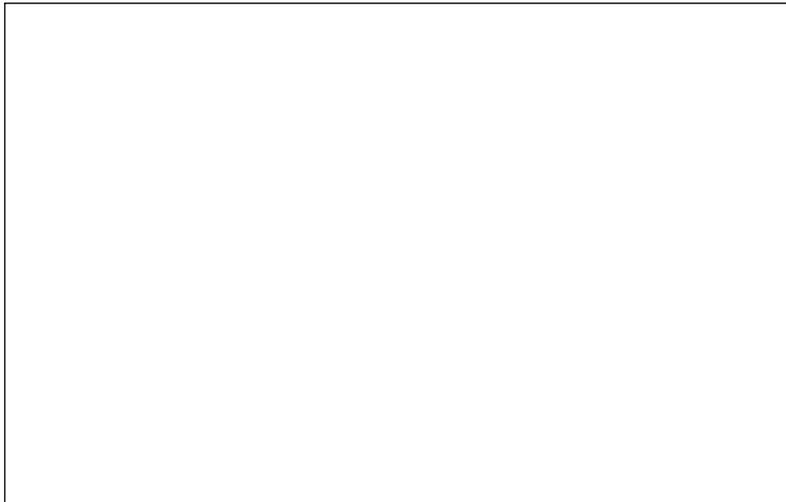
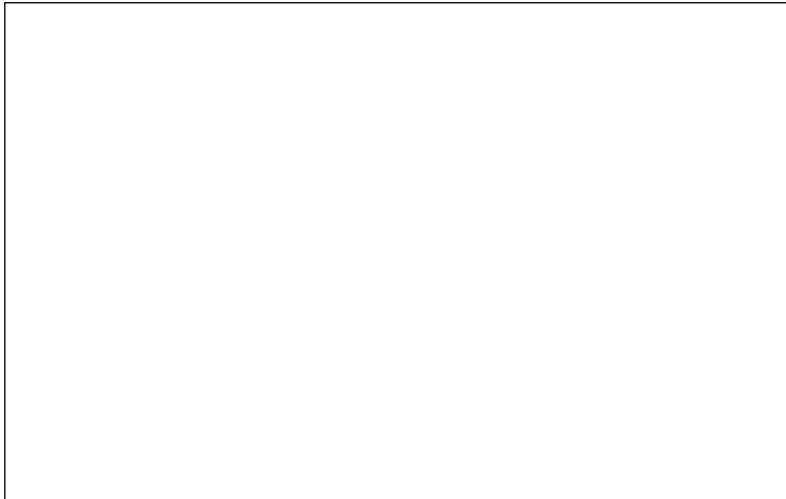


Foto 5.11. Colección de presentaciones comerciales de mermeladas de nopalito y de frutas adicionadas con mucílago de nopal. Programa Nopal, CIESTAAM. UCh.

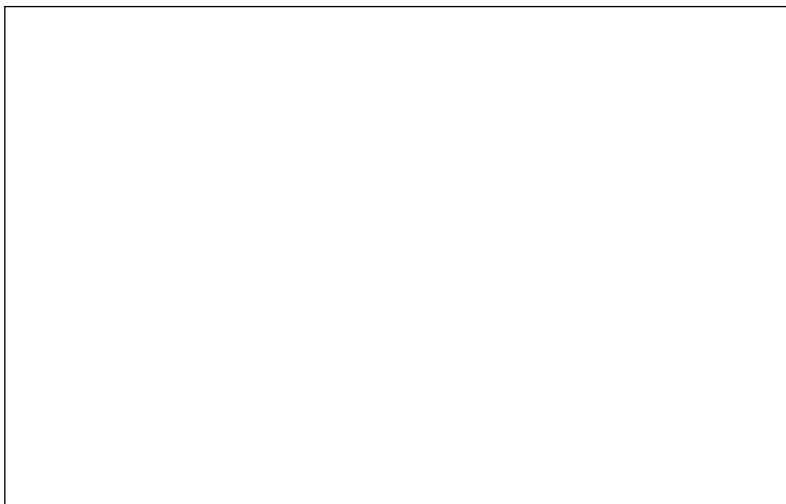


TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Foto 5.12. Colección de presentaciones de mermeladas de tuna elaboradas en diversos países. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.



Foto 5.13. Colección de presentaciones comerciales de salsas de tuna. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.



JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

Foto 5.14. Colección de presentaciones comerciales de dulces de tuna. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.

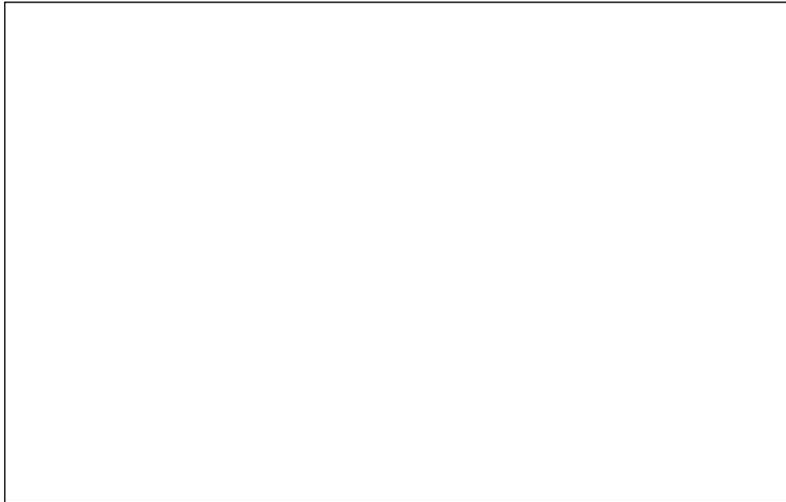
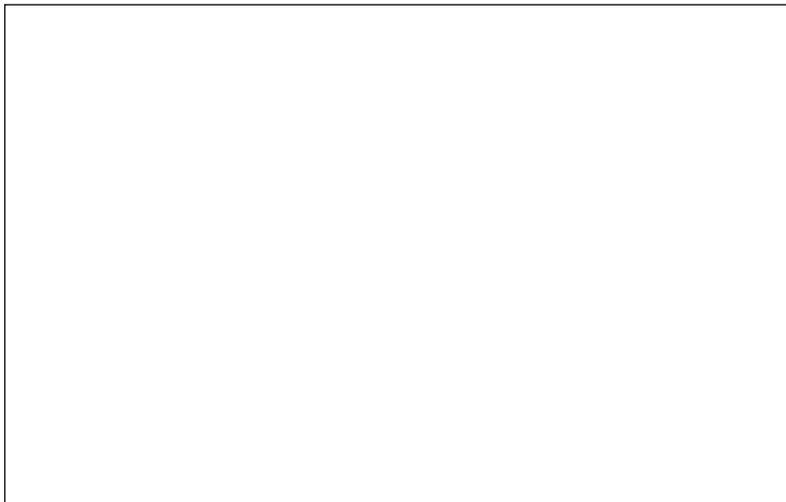


Foto 5.15. Colección de presentaciones comerciales de bebidas de tuna y nopalito. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.



TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS...

Foto 5.16. Colección de presentaciones comerciales de productos medicinales elaborados con nopal. Programa Nopal, CIESTAAM, UACH.

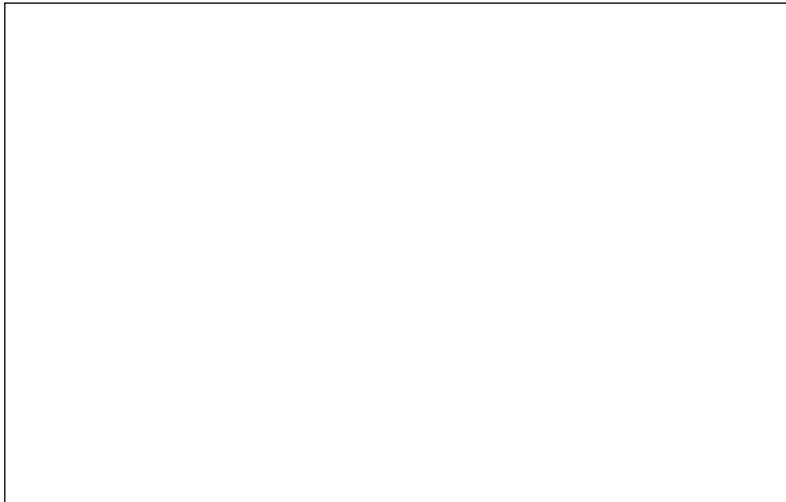
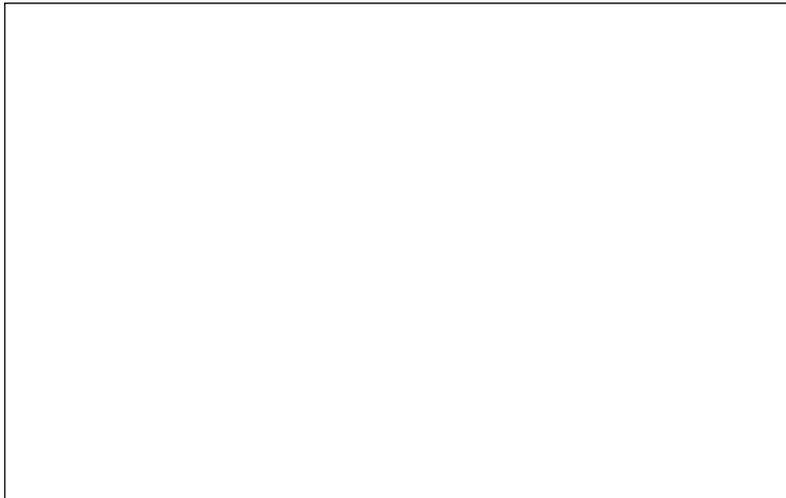


Foto 5.17. Colección de presentaciones comerciales de productos cosméticos elaborados con nopal. Programa Nopal, CIESTAAM, UACH.



JOEL CORRALES GARCÍA Y CLAUDIO A. FLORES VALDEZ

Foto 5.18. Artesanías elaboradas con fibra de los cladodios del nopal. Programa Nopal, CIESTAAM. UACH.

NOPALITOS Y TUNAS
*producción, comercialización,
poscosecha e industrialización*

se terminó de imprimir en el mes de enero de 2004
en la Imprenta Universitaria

Corrección de estilo: Salvador Bravo González,
Gloria Villa H. y Ma. de Fátima Rojas R.

Captura: Lourdes Isabel Flores Thomas

Diseño de portada: Aspacia García Olivares

Tiraje: 1000 ejemplares