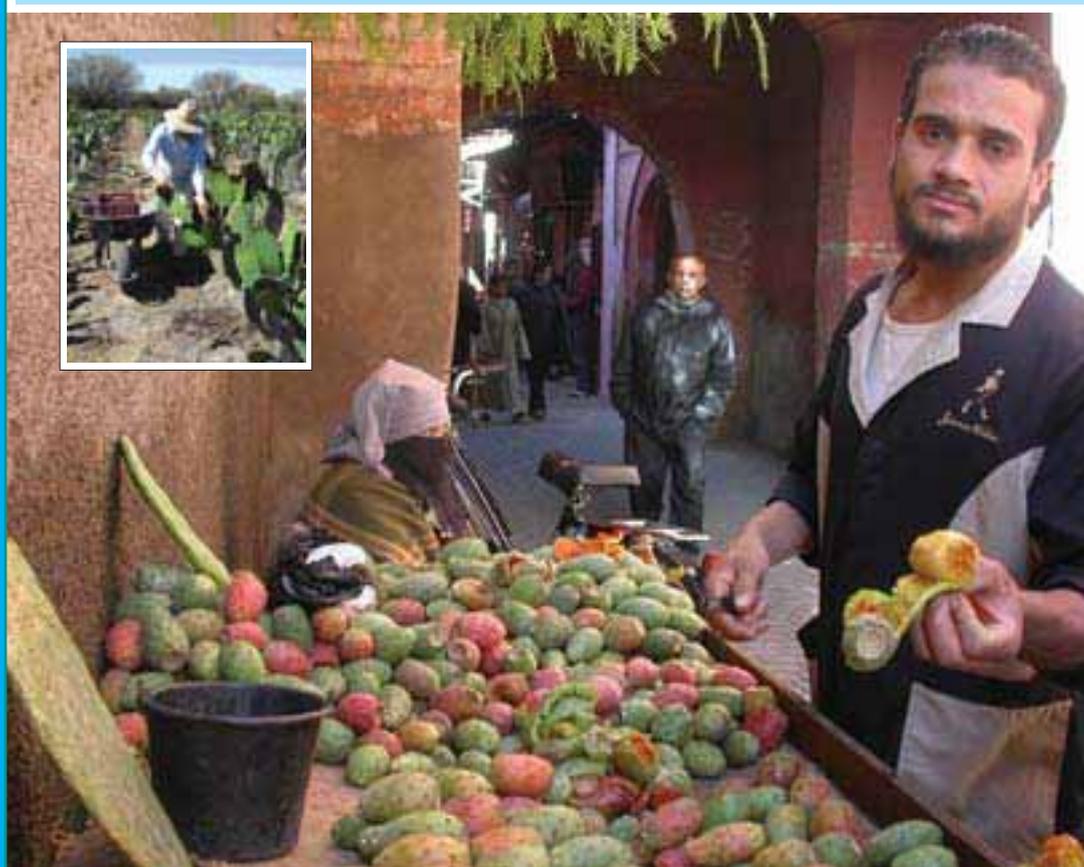


Utilización agroindustrial del nopal

BOLETÍN
DE SERVICIOS
AGRÍCOLAS
DE LA FAO

162



Fotografía de la cubierta:

Venta de tunas en Marruecos. E. Chessa/Italia.

Cosecha de nopalitos en México. A. Rodríguez-Félix/México.

Utilización agroindustrial del nopal

BOLETÍN
DE SERVICIOS
AGRÍCOLAS
DE LA FAO

162

por

Carmen Sáenz

Autora principal

y

Horst Berger

Joel Corrales García

Ljubica Galletti

Víctor García de Cortázar

Inocencio Higuera

Candelario Mondragón

Armida Rodríguez-Félix

Elena Sepúlveda

María Teresa Varnero

Coautores

Roberto Cuevas García

Enrique Arias Jiménez

Coordinadores técnicos

Cadmo Rosell

Editor técnico

Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola
y Alimentaria (AGST) con la colaboración
de la Red Internacional de Cooperación Técnica
del Nopal (FAO-CACTUSNET)

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

La mención u omisión de compañías, sus productos o nombres comerciales específicos no implica, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, aprobación o juicio alguno.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 92-5-305518-9

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe del Servicio de Gestión de las Publicaciones de la Dirección de Información de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

© FAO 2006

Índice

Agradecimientos	x
Prólogo	xi
Prefacio	xiii
Siglas	xv
1. Los nopales como recurso natural	1
Antecedentes	1
Origen y distribución de los nopales	2
Los nopales como recurso natural	3
Tipos y características de <i>Opuntia</i> spp.	4
Distribución de la planta y consumo en distintos países	5
Descripción general	5
2. Características y composición química de los nopales	7
Descripción de la planta	7
Características generales de las especies	8
Composición química de las diferentes partes de la planta en diversos estados fisiológicos	9
Valor nutritivo y propiedades funcionales de frutas y cladodios	13
Características tecnológicas y procesos de transformación	16
Potencial de la utilización integral del nopal	17
3. Operaciones de campo para la utilización de los nopales	23
Producción	23
Manejo de poscosecha	28
Almacenamiento y transporte	30
4. Utilización de los frutos del nopal en productos alimenticios	35
Sistemas de conservación de alimentos	35
Descripción general de productos a partir de frutos del nopal	37
Frutas frescas	38
Jugos, bebidas y concentrados	40
Productos congelados	43
Productos deshidratados y confites	44
Mermeladas y geles	45
Productos fermentados	46
Calidad e inocuidad	47
Mercadeo	48
5. Uso de los cladodios del nopal en productos alimenticios	51
Descripción de los tipos de productos	51

Cladodios mínimamente procesados	52
Frutos mínimamente procesados	54
Jugos y bebidas	55
Mermeladas y dulces	55
Nopalitos en escabeche y en salmuera	57
Nopalitos en escabeche	57
Nopalitos en salmuera	58
Harinas	60
Calidad e inocuidad	62
Mercadeo, situación actual y perspectivas de cada producto	63
6. Producción de alimentos para consumo humano por la pequeña industria	65
Descripción de los productos	65
Requerimientos técnicos	66
Preprocesamiento	71
Remoción de espinas	72
Selección y lavado	74
Procesamiento de tunas	75
Procesamiento de cladodios	85
Envasado y almacenamiento	93
Calidad e inocuidad	94
Comercialización	95
Aspectos económicos	97
7. Producción industrial de productos no alimentarios	99
Descripción de los tipos de productos	99
Requerimientos técnicos	100
Colorantes de la cochinilla	101
Complementos alimenticios	105
Colorantes extraídos del fruto	105
Hidrocoloides (mucílagos)	106
Productos cosméticos	107
Otros productos con perspectivas	108
Envasado	110
Calidad	110
Comercialización	111
Aspectos económicos	112
8. Producción de bioenergía y fertilizantes a partir de los nopales	113
Consideraciones generales	113
Manejo y almacenamiento	114
Uso como leña	115
Utilización de residuos de nopal en la producción de biogás	115
Usos de residuos para lombricultura y fertilizantes	115
Aspectos económicos	118

9. Estudios de caso sobre la utilización agroindustrial de los nopales en distintos países	121
Argentina	121
Chile	122
Eritrea	125
Estados Unidos de América	126
Etiopía	127
Italia	128
Marruecos	129
México	130
Perú	131
Sudáfrica	132
Túnez	133
Otros países	134
10. El desarrollo de cadenas y redes de valor en base al cultivo del nopal	137
TCP/ERI/8923 – «Transferencia de Tecnología del Nopal (<i>Opuntia</i> spp.) Producción y Utilización»	137
TCP/ETH/2901-3002 – «Producción y Utilización del Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en el Tigray»	138
Pautas para la utilización agroindustrial de los nopales	139
El potencial del desarrollo del cultivo del nopal	139
Parámetros y extensión del enfoque	143
Ejemplo de un programa para el desarrollo del nopal y de su agroindustrialización	145
Bibliografía	149
Anexo – Sitios web de interés	165

Lista de cuadros

1. Cambios físicos y de la composición de los frutos de <i>Opuntia amyclaea</i> durante su maduración	9
2. Composición química de la pulpa de tuna	10
3. Composición mineral de la pulpa de tuna	11
4. Composición química de pulpas de tuna	11
5. Composición mineral de pulpas de tuna	12
6. Características promedio de 11 colectas de <i>Opuntia xocconostle</i>	12
7. Composición química de cladodios de distintas edades	13
8. Características tecnológicas de la pulpa de tuna	16
9. Características tecnológicas de pulpas de tunas	16
10. Algunos productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de las tunas y los cladodios	18
11. Contenido de betalaínas en distintas partes del fruto de diversas especies de <i>Opuntia</i>	20
12. Clasificación de alimentos y pH	36
13. Fórmula base de láminas deshidratadas de tuna cv. Taifi	44
14. Características físicas y químicas de láminas deshidratadas de pulpa de tuna y membrillo	45
15. Análisis físicos y químicos de dos tipos de vinagre de tuna	47
16. Efecto del tipo de película plástica sobre diferentes variables: respuesta en nopalitos mínimamente procesados y refrigerados a 4 °C y 10 °C	54
17. Efecto de la temperatura sobre diferentes variables: respuesta en nopalitos mínimamente procesados después de 15 días de refrigeración	55
18. Etiquetado nutricional de nopalitos en escabeche comercial	58
19. Etiquetado nutricional de nopalitos en escabeche comerciales	59
20. Características de la harina de nopal	60
21. Composición proximal del flan en polvo (g/100 g)	61
22. Características de calidad industrial de tuna y nopalito para procesamiento industrial	67
23. Precocidad de brotación de plantas de nopal	116
24. Análisis de fertilidad de la capa arable del suelo utilizado en el ensayo	117
25. Análisis químico del bioabono utilizado en el ensayo	118

Lista de figuras

1. Distribución de <i>Opuntia</i> spp. en el mundo	3
2. Ejemplos de producción industrial de alimentos en base a tuna y nopalito	66
3. Diagrama de flujo para la elaboración de mermelada de tuna	76
4. Diagrama de flujo para elaboración de jugo de tuna	77
5. Diagrama de flujo para la obtención de edulcorante de tuna	81
6. Diagrama de flujo de elaboración de láminas deshidratadas de tuna	81
7. Diagrama de flujo para la elaboración de pulpas congeladas de tuna	83
8. Diagrama de flujo para elaboración de mermelada de nopal	85
9. Diagrama de flujo para elaboración de confitados de nopal	87
10. Diagrama de flujo de producción tradicional de nopalitos en salmuera	90
11. Diagrama de flujo para elaborar nopalitos en salmuera	90
12. Diagrama de flujo para elaboración de jugo de nopal	91
13. Diagrama de flujo para obtener harina de nopal	92
14. Factores que inciden en la calidad del producto desde su ingreso a la planta procesadora hasta su distribución	95
15. Obtención de extracto de cochinilla y carmín	104
16. Diagrama de flujo para obtención de colorante de tuna púrpura	106
17. Diagrama de flujo para la extracción de mucílago de nopal	107
18. Evolución en el tiempo del porcentaje de plantas brotadas para cuatro acondicionamientos de suelo	116
19. Efecto de los acondicionamientos de suelo sobre la producción de materia seca total y materia seca de raíces	117
20. Evolución en el tiempo del porcentaje de plantas brotadas para cuatro acondicionamientos de suelo	117
21. Relación entre materia seca producida y nitrógeno absorbido y entre nitrógeno absorbido y nitrógeno aplicado en el bioabono	118
22. Cadena de comercialización de nopal basada en las instituciones y organizaciones	143

Lista de láminas

1.	Diversos tipos de plantas de nopales. Chile, 2000	8
2.	Tunas de diversos colores. Chile, 1998	11
3.	(a) Plantación comercial de nopalitos; (b) Tunas. Chile, 2000	26
4.	Cosecha de nopalitos. México, 2005.	27
5.	Daño por frío en tuna cv. Bianca. Italia, 2005.	30
6-7.	Tunas acondicionadas de distintas formas. Chile, 2003.	31
8.	Transporte de nopalitos y tunas	33
9.	(a) Licor de <i>fico d'India</i> producido en Italia; (b) de <i>O. xoconostle</i> en México. México. 2004.	38
10.	Venta de tunas de colores en una feria de frutas. México. 2003.	39
11.	Cladodios confitados. Chile, 1997	57
12.	Nopalitos en escabeche y salmuera. (a, b, c) México, 2005. (d) México, 2005.	59
13.	Tunas a la llegada a la planta elaboradora. México, 2004.	72
14.	Tipos de sistemas para el transporte de nopalitos. México. 2005 y 1999.	72
15.	Barrido de la tuna. Chile, 2002 y México, 2004.	73
16.	Desespinado mecánico de las tunas. México, 2004.	73
17.	Equipo mecánico para el desespinado de la tuna. México, 1991.	74
18.	Selección de las tunas. México, 2004.	74
19.	Desespinado (a), México, 1999 y corte de nopalitos (b), Chile, 1999.	75
20.	Pulpadora mecánica (a) y manual (b) para separar las semillas. Chile, 2005.	76
21.	Prensas para la extracción de jugos: (a) hidráulica de marco; (b) hidráulica de mangas, (c) filtro prensa. Chile, 2005	78
22.	Pasteurizador de placas. Chile, 2005	78
23.	Jugos de tunas de distintos colores. Chile, 1996.	79
24.	Productos concentrados de tuna (a) Argentina, Namibia y Sudáfrica. Chile. 1998 y 2002 (b) México. México. 2004	80
25.	Deshidratador eléctrico de bandejas. Chile, 2004.	82
26.	Túnel deshidratador de aire forzado para elaborar láminas de pulpa de tuna. Chile, 2004.	82
27.	Láminas deshidratadas de pulpa de tuna. Chile, 2003.	83
28.	Mermelada de nopal con limón. Chile, 1996.	86
29.	Pelado, corte y trozado de pencas y productos confitados con y sin cobertura de chocolate. Chile, 1997.	88
30.	Venta de nopalitos en el mercado, nopalitos prepicados y en salmuera. México, 2001.	89
31.	Producto para el desayuno en base a cereal y nopal. México, 2005.	92
32.	Cortado y deshidratado de nopales para elaborar harinas o polvos. México, 1995.	93
33.	Plantación comercial de tuna para producción de cochinilla. Chile, 1998.	100
34.	Cosecha de cochinillas. (a y b) Chile, 2005. (c) .Perú, 1999	101
35.	Secado artificial de la cochinilla. Chile, 2005	102
36.	Limpieza, selección y cochinilla seca	102
37.	Productos derivados de la cochinilla. (a) Chile, 2005 y (b) Chile. 1999	103
38.	Tableteadora y encapsuladora. Chile, 2005.	105

39.	Complementos alimenticios a base de nopal. Chile, 2005.	105
40.	Mucílago extraído del nopal. Chile, 2001.	107
41.	Champú, cremas y jabón a base de nopal. Chile, 2005.	108
42.	Participantes en un taller de elaboración de productos de tuna y nopalito. Chile, 2005.	123
43.	Venta de tuna en Eritrea. Eritrea, 2003.	126
44.	Algunos productos presentes en el mercado de Estados Unidos de América, 2005.	127
45.	Venta de tuna en mercados y puestos en calles de Mekelle. Etiopía, 2003.	128
46.	Participantes en los talleres, degustan las muestras gastronómicas en base a nopal. Etiopía, 2003.	128
47.	Un producto en el mercado italiano. Italia, 2005.	129
48.	Venta de tunas en Marruecos. Marruecos, 2004.	130
49.	Capacitación de grupos femeninos en la preparación de platos a base de nopal. Etiopía, 2003.	138
50.	Cosecha de nopalitos en México. 2004.	141
51.	Tunas de diversos colores. Chile, 2005	147

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS DE LA AUTORA PRINCIPAL

La autora desea agradecer a la Universidad de Chile y en particular a la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la cual ha recibido constante apoyo para llevar a cabo los trabajos e investigaciones sobre *Opuntia* y cuyos resultados más relevantes se presentan en esta publicación.

Además desea agradecer a los autores de los distintos capítulos que han colaborado en la preparación de esta obra, pero especialmente a Elena Sepúlveda con quien se han desarrollado durante años las investigaciones sobre *Opuntia*. También desea reconocer la contribución de numerosos estudiantes que a través de sus Memorias y Tesis han contribuido al mejor conocimiento de esta especie y de los procesos tecnológicos que facilitan su aprovechamiento.

Es necesario también agradecer a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a través del Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria y de la Red de Cooperación Técnica CACTUSNET-FAO, especialmente a Roberto Cuevas y Enrique Arias, por su confianza y apoyo para desarrollar este documento.

Finalmente desea agradecer el apoyo continuo y los consejos recibidos de M. Isabel Sáenz y Andrea Larroucau y de todas las personas que de una manera u otra brindaron su apoyo para la preparación de este documento.

AGRADECIMIENTO DE LOS COORDINADORES TÉCNICOS

La preparación de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo, dedicación y ayuda de muchas personas a quienes deseamos hacer llegar nuestro profundo agradecimiento.

En primer deseamos agradecer a Carmen Sáenz, autora principal y entusiasta propulsora del tema. Su dedicación, conocimientos y experiencia contribuyeron decisivamente a hacer realidad esta obra.

Agradecemos igualmente a los coautores de distintos capítulos: Horst Berger, Joel Corrales García, Ljubica Galletti, Víctor García de Cortázar, Inocencio Higuera, Candelario Mondragón, Armida Rodríguez-Félix, Elena Sepúlveda y María Teresa Varnero.

Deseamos agradecer especialmente la revisión crítica del texto por parte de Danilo Mejía (FAO/AGST) y de Jesús Fuentes (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México) por sus valiosos comentarios y contribución al mejoramiento del texto final.

Del mismo modo deseamos agradecer el apoyo permanente recibido por parte de Shivaji Pandey, Director de la Dirección de Servicios de Apoyo a la Agricultura, de Gavin Wall, Jefe del Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria y de François Mazaud, Oficial Superior de este Servicio, por su continuo apoyo y estímulos para la realización de esta publicación.

Igualmente se agradece el apoyo de Mahmoud Solh, Director de la Dirección de Producción y Protección Vegetal y de Eric Kueneman, Jefe del Servicio de Cultivos y Pasturas, por la contribución técnica de esa Dirección.

Por último, pero no menos importante, se agradece enormemente la eficiente labor de edición técnica y de estilo por parte de Cadmo Rosell, la preparación y formatación del texto final por Lynette Chalk y la asistencia administrativa de Donna Kilcawley, Claudia Bastar, Ann Drummond y Larissa d'Aquilio.

Prólogo

Uno de los elementos principales del mandato de la Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura (AGS) de la FAO es apoyar y mejorar el ingreso de las poblaciones rurales a través del fomento y apoyo a las agroindustrias y de la adición de valor a los productos primarios, contribuyendo además a la creación de fuentes de empleo y a la diversificación del ingreso, motores del desarrollo rural. El mejoramiento económico de los agricultores puede ser promovido por el crecimiento de sistemas agroindustriales que a través de operaciones comerciales eficientes y del adecuado uso de los recursos naturales pueden responder a las demandas dinámicas de los mercados. A la vez, el mejoramiento de los precios que obtienen los agricultores por sus productos y la captura por parte de ellos del valor agregado contribuye a mejorar la seguridad alimentaria del grupo familiar. Por otra parte, el desarrollo de las agroindustrias promueve a su vez el desarrollo de los sectores asociados y de la cadena de producción y del manejo posproducción, pasando por el transporte, el almacenamiento, el procesamiento y la comercialización de los productos, incluyendo los mínimamente procesados y los productos comercializados como frescos. Los mercados globalizados modernos ofrecen oportunidades para los agricultores, los procesadores y los comerciantes con una visión innovadora de utilización de recursos aún no aprovechados.

Dentro de este contexto, a través de varios proyectos de campo y de actividades de la FAO en distintos países en vías de desarrollo en las que ha participado activamente el Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST) de la citada Dirección, en colaboración con el Servicio de Cultivos y Pasturas (AGPC), se ha demostrado la importancia del nopal (*Opuntia* spp.) como recurso natural y como potencial fuente de ingresos, empleo y nutrientes. Publicaciones anteriores de la FAO discuten diversos temas sobre el nopal pero sin considerar la utilización agroindustrial. Hay muchos países en los que este recurso natural se encuentra subutilizado y por ello AGST consideró importante consolidar en una publicación información técnica indispensable para su uso industrial, tal como la composición química, propiedades físicas, manejo posproducción, procesos para producir alimentos para consumo humano o para producir otros productos industriales de importancia para los mercados nacionales e internacionales, aunada con la información económica correspondiente para compartir experiencias en distintos países. Esta publicación puede así constituir una herramienta importante para compartir experiencias y conocimientos sobre la utilización del nopal y como medio de difusión de tecnología, principalmente entre los países en vías de desarrollo.

La Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura presenta este documento sobre el uso agroindustrial del nopal con el propósito de servir como un insumo especializado para el personal de planeamiento estratégico o técnico de alto nivel involucrado en planificar, manejar, asesorar o apoyar las acciones para resolver los problemas enfocados a la utilización agroindustrial de *Opuntia* spp. en el ámbito de las comunidades rurales, especialmente de América Latina y el Caribe y de África.

En el primer Capítulo del libro se hace una introducción al tema de los nopales como recurso natural. En el Capítulo 2 se discute la composición química y características de *Opuntia* spp. y el Capítulo 3 resume las operaciones de campo requeridas para asegurar la calidad de la materia prima destinada a la producción agroindustrial. Los Capítulos siguientes hacen especial referencia al uso del nopal para el consumo humano. El Capítulo 4 presenta los principios técnicos generales para la utilización de los frutos de *Opuntia* spp., el Capítulo 5 se refiere al uso de los cladodios y el Capítulo 6 discute en detalle la

tecnología y los factores económicos que influyen sobre la producción por la pequeña industria de alimentos. El Capítulo 7 trata de la producción industrial de productos no alimentarios y el Capítulo 8 se refiere a la producción de bioenergía a partir del nopal. El Capítulo 9 ofrece una síntesis de las experiencias en el mundo basadas en estudios de caso sobre la utilización agroindustrial de *Opuntia* spp. en distintos países y finalmente en el Capítulo 10 se presentan las pautas básicas para el desarrollo de cadenas y redes de valor en base al cultivo del nopal.

La publicación está dedicada a lectores tales como asesores y analistas responsables de la planificación y diseño de estrategias sectoriales, servidores públicos y especialistas en los sectores de la agroindustria. También será de utilidad a los asesores técnicos o gerenciales en la toma de decisiones y a técnicos de organizaciones especializadas para ejecutar o apoyar la planificación del desarrollo e implementación de proyectos agroindustriales. El documento se enfoca principalmente en los países en vías de desarrollo donde se encuentran difundidos los nopales o donde su difusión puede ofrecer perspectivas agrícolas, ecológicas y económicas favorables. Por esta razón el contenido del documento es sólido en lo científico, concreto en lo técnico y útil, pues está destinado a su aplicación práctica. Los aspectos de costo-beneficio y de factibilidad económica son tomados en cuenta ya que se enfatiza la importancia del valor agregado por medio de la transformación costo-efectiva del nopal. El documento puede servir como una herramienta para obtener información sobre como añadir valor a la planta de nopal por medio de la tecnología para producir productos agroindustriales que satisfagan distintos mercados y consumidores.

Shivaji Pandey

Director

Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura

Prefacio

«Un tesoro bajo las espinas» así fue como un periodista siciliano resumió las bondades del nopal cuando hacía un reportaje sobre una reunión de la Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal – o Cactus – (CACTUSNET) en la ciudad de Palermo, Italia, en 1994. Desde que se realizó el primer Simposio Internacional sobre Nopal y Tuna en 1991 en Lagos de Moreno, Jalisco, México, cuatro países (Chile, Estados Unidos de Norteamérica, Italia y México) iniciaron, con el apoyo de la FAO, a promover la unión de esfuerzos para incrementar la cooperación entre científicos, técnicos y productores y para facilitar el intercambio de información y conocimientos sobre esta planta que sería definida como un tesoro. De ahí surgió la decisión de organizar un segundo evento internacional que se tituló Segundo Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla y que se llevó a cabo en Santiago, Chile, en 1992. En esta ocasión se definieron la estructura y objetivos de CACTUSNET que posteriormente fue creada oficialmente, en base a la participación voluntaria, bajo los auspicios de la FAO durante la Mesa Redonda que se llevó a cabo con ese objetivo en Guadalajara, Jalisco, México, en agosto de 1993 y con el lema «Un esfuerzo para producir y conservar el ambiente en las regiones áridas y subáridas». En esta reunión participaron representantes de diez países.

Desde entonces los contactos internacionales se han ido incrementando y hasta el momento han participado en las actividades de CACTUSNET individuos o instituciones de 31 países: Alemania, Angola, Argelia, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Cuba, Egipto, Eritrea, España, Estados Unidos de Norteamérica, Etiopía, Grecia, India, Irak, Israel, Italia, Jordania, Madagascar, Marruecos, México, Mozambique, Namibia, Pakistán, Perú, Siria, Sudáfrica, Túnez, Turquía y Zimbabwe.

La difusión de conocimientos se ha hecho a través de una Carta Circular, entre los cuales se encuentra la Lista de Descriptores, que ha estado a cargo de la Universidad de Guadalajara (México), Universidad de Reggio Calabria (Italia), Universidad de Palermo (Italia), Universidad de Sassari (Italia), Universidad de Santiago del Estero (Argentina), Universidad de Chile y del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Túnez.

A partir del Tercer Congreso de Nopal y Cochinilla (Sudáfrica, 1996) CACTUSNET organiza los congresos internacionales bajo el auspicio de la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas (ISHS) por lo que las memorias se publican como un número de la revista internacional *Acta Horticulturae*. El Cuarto Congreso fue organizado en Túnez (2000) y el Quinto Congreso en México (2004) cuando se unió a las celebraciones de los 150 años de la fundación de la Universidad Autónoma de Chapingo. Las reuniones generales de CACTUSNET se llevan en concomitancia con los congresos internacionales cuya periodicidad está fijada cada cuatro años.

Además de los congresos internacionales, la FAO, a través de CACTUSNET ha organizado o contribuido a eventos de tipo regional, interregional y global como proyectos, cursos, talleres, congresos, simposios y reuniones de grupos de trabajo en Angola, Argentina, Chile, Italia, Marruecos, México, Perú y Túnez.

Como consecuencia del incremento de la comunicación entre los países interesados en el cultivo y la utilización del nopal se han generado proyectos nacionales para la transferencia de tecnología y que han sido apoyados por el Programa de Cooperación Técnica de la FAO (PCT) en Eritrea, Etiopía y Namibia. Otros proyectos del PCT en Argentina e Irán, incluyeron al nopal como una de las especies frutícolas a las cuales era necesario dar atención. Proyectos apoyados por el programa Telefood de la FAO se han ejecutado en Argentina, Cuba y Etiopía. Estos proyectos han recibido la asistencia técnica y/o materiales vegetativos de especialistas participantes en CACTUSNET.

Con espíritu de cooperación y trabajo voluntario de los miembros de CACTUSNET la FAO ha publicado, en árabe, español e inglés «Agroecología, cultivo y usos del nopal» y «El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje». En la presente publicación se hace especial referencia al uso agroindustrial y al desarrollo de cadenas de valor en base a la explotación del nopal.

Para el desarrollo de las actividades frecuentemente se ha contado con el apoyo o se han establecido relaciones con instituciones internacionales como el Centro Internacional de Investigación Agrícola en las Zonas Áridas (ICARDA), Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), la Secretaría de la Convención de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), la Dirección conjunta FAO-Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la ya mencionada ISHS y con numerosos ministerios, instituciones y universidades nacionales.

Las Representaciones de la FAO en los países así como las oficinas regionales para Europa (REU), para América Latina y el Caribe (RLC) y para el Cercano Oriente (RNE) de una manera u otra han jugado un papel importante en el logro de los resultados. La FAO ha ofrecido asistencia técnica y en algunos casos un financiamiento parcial, de acuerdo a las posibilidades, a través de los Servicios de Cultivos y Pastos (AGPC), de Semillas y Recursos Fitogenéticos (AGPS), de Producción Animal (AGAP) y de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria (AGST).

En esta reseña se han mencionado algunas de las principales actividades y resultados obtenidos en el trabajo sobre el nopal. Sin embargo el trabajo técnico y científico para apoyar el desarrollo de la producción y consumo del nopal y sus productos, está lejos de haberse completado, lo que exige que se sigan realizando acciones concretas. Es, por lo tanto, también necesario formular estrategias globales de desarrollo y explotación integral del cultivo y elaborar programas para cada región o país, considerando la gran variedad de parámetros naturales y la diversidad de antecedentes socioculturales e históricos, de manera que se consolide este aporte a la riqueza hortícola universal que el continente americano ha hecho al mundo como igualmente lo han sido otros cultivos que fueron adoptados por diferentes poblaciones y que modificaron hábitos alimenticios y enriquecieron su dieta. Una acción concreta para el aprovechamiento integral del nopal es su utilización agroindustrial. El libro que aquí se presenta compila los elementos científicos y técnicos, así como las estrategias para la transformación agroindustrial del nopal con la consiguiente adición de valor, generación de empleo y aumento de ingresos en el medio rural. Confiamos en que esta información sea una contribución valiosa para el aprovechamiento de este «tesoro bajo las espinas».

Siglas

AIR	Agroindustria Rural
APPCC	Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control
aw	Actividad de Agua
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
CAM	Metabolismo Ácido de las Crasuláceas
CIAD	Centro de Investigaciones en Alimentos y Desarrollo. Sonora, México
CMC	Carboxi Metil Celulosa
DF	Daño por Frío
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDTA	Ácido Dietilendiamino Tetra Acético
ETA	Enfermedades Transmitidas por Alimentos
EVOH	Etil Vinil Alcohol
FDA	<i>Federal Drug Administration (U.S.A.)</i> (Administración Federal de Drogas – EE.UU.)
G.L.	Gay Lussac
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i> (Polietileno de Alta Densidad)
HR	Humedad Relativa
HTST	<i>High Temperature Short Time</i> (Alta Temperatura Corto Tiempo)
IAA	Índice de absorción de agua
IQF	<i>Individual Quick Frozen</i> (Congelado Individual Rápido)
ITINTEC	Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas, Industriales y de Normas Técnicas (Perú)
JECFA	Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios
LOPE	<i>Low Density Polyethylene</i> (Polietileno de Baja Densidad)
MS	Materia Seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NASS	<i>National Agricultural Statistics Service (U.S.A.)</i> (Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas – EE.UU.)
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Units</i> (Unidades Nefelométricas de Turbidez)
ONG	Organización No Gubernamental
PAM	Poliacrilamidas

PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PPO	Polifeniloxidasas
PVC	Policloruro de Vinilo
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (México)
SST	Sólidos Solubles Totales
UE	Unión Europea
UFC	Unidades formadoras de colonias
UV	Ultravioleta

Capítulo 1

Los nopales como recurso natural

ANTECEDENTES

El interés del ser humano por los nopales data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo de modo formal (Pimienta, 1990).

Es muy probable que ya en los muestrarios de plantas y animales llevados a España por Cristóbal Colón se incluyeran nopales y otras cactáceas como muestra de la exótica flora del nuevo mundo (Barbera, 1999; Velásquez, 1998). Cuando Hernán Cortés llegó al Valle de México en 1519, no pudo menos que asombrarse ante los *nopalli* (término *náhuatl* que significa nopal) y las tunas (*nochtli*), sus atractivos y deliciosos frutos.

Los cronistas de la época, entre ellos Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, uno de los primeros narradores peninsulares, relata en 1535 en su *Historia General y Natural de las Indias*, como al acercarse la época de la fructificación de los nopales, los pobladores se alimentaban de las tunas «...las cuales tienen en tanto, que no las dejan por cosa del mundo. Y este es el mejor manjar que ellos tienen en todo el año...». Sin duda los nopales influyeron en el asentamiento de tribus errantes que concurrían en la época de la fructificación a las zonas habitadas por estas plantas y acababan por fijar ahí su residencia (Bravo-Hollins, 2002).

Los antiguos relatos hacen mención a la gran variedad de nopales que se encontraban disponibles así como sus usos. Detallan además, la presencia de un insecto que se alimentaba de las pencas del nopal y que produce uno de los hasta el día de hoy más preciados pigmentos colorantes: la grana o cochinilla del carmín, secreto bien guardado por años por los colonizadores a quienes les reportó grandes ganancias.

Fray Bernardino de Sagahún ilustra en su *Historia General de la Nueva España* estos modos de consumo del nopal: «Hay unos árboles en esta tierra que llaman *nopalli*, quiere decir tunal, o árbol que lleva tunas; es monstruoso este árbol, el tronco se compone de las hojas y las ramas se hacen de las mismas hojas; las hojas son anchas y gruesas, tiene mucho zumo y son viscosas; tienen espinas las mismas hojas. La fruta que en estos árboles se hace, se llama tuna... son de buen comer; es fruta preciada... Las hojas de este árbol comen las crudas y cocidas. En unos árboles de estos se dan tunas, que son amarillas por dentro, otros las dan que por dentro son coloradas, o rosadas, y éstas son de muy buen comer; otros árboles de estos hay que tienen en las hojas vetas coloradas, y las tunas que se hacen de estas son por de fuera y por dentro moradas...» (Velásquez, 1998). Por su parte, una ordenanza de Felipe III en 1620, señala que: «... uno de los más preciados frutos que se cría en nuestras Indias Occidentales es la grana o cochinilla, mercadería igual con el oro y la plata...» (Velásquez, 1998). Las propiedades

Carmen Sáenz

Departamento de Agroindustria y Enología
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
Chile

medicinales del nopal también se hicieron notar desde un principio, atribuyéndosele cualidades diversas como anti-inflamatorio, diurético y antiespasmódico, entre otras; actualmente, en este ámbito, se llevan a cabo variadas e interesantes investigaciones.

Los nopales están ligados de modo particular a la historia de México y Mesoamérica, su centro de origen genético; por ejemplo, en el escudo de México figura un águila posada sobre un nopal, un símbolo que ha llegado hasta nuestros días del jeroglífico de la Gran Tenochtitlán y significa *sitio del nopal que crece sobre la piedra*. Esta era la ciudad de los sacrificios de los náhuatl, capital del Imperio azteca, hoy ciudad de México, para los que tuvo especial relevancia en la vida económica, social y religiosa (Granados y Castañeda, 1996; Flores-Valdez, 2003).

La evidencia del conocimiento y uso del nopal por los primeros pobladores mexicanos 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, de una antigüedad de siete mil años (Flores-Valdez, 2003).

Poco después de la llegada de los conquistadores a México, otro acontecimiento hace referencia a los nopales poniendo en evidencia el atractivo de esta especie, fundamental en ese ambiente. Es el que está recogido, en lengua náhuatl, en el *Nican mopohua* («Aquí se narra») y hace alusión a las apariciones de la Virgen de Guadalupe. El autor, tratando de dar una idea de la transformación del entorno ante la presencia de tan excelsa belleza, señala: «Los mezquites y nopales y otras diferentes hierbecillas que allí se suelen dar, parecían de esmeralda; su follaje, finas turquesas; y sus ramas y espinas brillaban como el oro» (Valeriano, 1554). Quizá hoy, la observación que se puede hacer de esta especie no sea tan exultante; sin embargo, aún en nuestros días esconde numerosos atractivos, valiosos compuestos y un valor excepcional para la protección y el desarrollo de las zonas áridas y semiáridas que abundan en el mundo y que están ligadas generalmente a la marginalidad y a la pobreza de sus habitantes. Es por ello que su utilización es una importante alternativa para dichas áreas y sus habitantes, así como para toda la humanidad.

ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS NOPALES

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre.

Los nopales pertenecen a la familia *Cactaceae*. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos.

Distintos autores presentan variaciones en la colocación taxonómica de los nopales dentro de la familia *Cactaceae* (p. ej., Sánchez Monge, 1984; Scheinvar, 1999; GRIN, 2005). En esta publicación se sigue la clasificación propuesta por GRIN, o sea la consideración de los nopales bajo el género *Opuntia*.

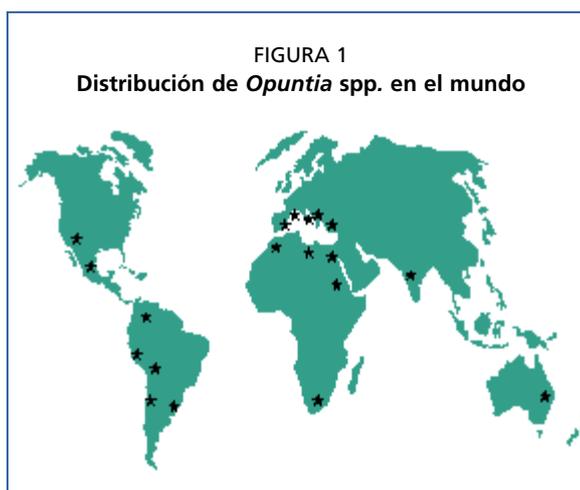
El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de *Opus* en Grecia (Scheinvar, 1999; Velásquez, 1998). Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó por toda la cuenca del Mediterráneo. Probablemente los primeros nopales fueron cultivados cerca de Sevilla o Cádiz, puntos terminales de los viajes a las Indias (Barbera, 1999). Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia,

Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat.

Independientemente de la clasificación taxonómica que pudiera usarse como referencia, en este documento se utiliza el nombre común nopal para la planta completa, la tuna se refiere a la fruta, el nopalito al cladodio tierno y la penca al cladodio adulto.

En la Figura 1, se puede observar la distribución actual de los nopales en el mundo.

Estas especies toman diferentes nombres de acuerdo a los países en los que se encuentran. El nombre propio original de la tuna en la lengua náhuatl es *nochtli*. No obstante, los españoles rebautizaron al nopal con el nombre de chumbera y la fruta como higo de Indias, o en la actualidad, higo chumbo. En Italia se conoce como *fico d'India*, en Francia le llaman *figue de Barbarie*; en Estados Unidos de América y Sudáfrica *prickly pear*, (nombre que está evolucionando actualmente a *cactus pear*, a fin de eliminar el término considerado algo peyorativo de *prickly* [espinoso]); en Israel se conoce como *sabras*, que significa espinoso por fuera pero dulce por dentro. En Eritrea y Etiopía son llamados *beles*. En la India se conocen, según las lenguas locales como *nagphani*, *anda torra* o *chaphathi balli*. En Brasil, como *palma forrageira*, ya que se cultiva principalmente para la producción de forraje.



LOS NOPALES COMO RECURSO NATURAL

Las plantas del género *Opuntia* son nativas de varios ambientes, desde zonas áridas al nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes del Perú; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por sobre los 5 °C a áreas de Canadá que en el invierno llegan a -40 °C (Nobel, 1999). Por esta razón, estas especies pueden ser un recurso genético de interés para zonas ecológicas muy diversas.

Uno de sus mayores atractivos es su anatomía y morfología adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, por lo que son una alternativa de cultivo para regiones donde difícilmente crecen otras especies.

Las características de las plantas que las hacen adaptables al medio árido tienen relación con la conformación de varios de sus órganos. Según Nobel (1998) sus raíces superficiales y extendidas captan el agua de las escasas lluvias que caen en esos ambientes. Las lluvias aisladas, por otra parte, inducen la formación de raíces secundarias que aumentan la superficie de contacto con el suelo lo cual facilita la absorción de agua y nutrientes. Cuando se inicia la sequía, las raíces comienzan a contraerse de manera radial contribuyendo a disminuir la pérdida de agua.

Los tallos son suculentos y articulados, botánicamente llamados cladodios y vulgarmente pencas. En ellos se realiza la fotosíntesis, ya que los tallos modificados reemplazan a las hojas en esta función; se encuentran protegidos por una cutícula gruesa, que en ocasiones está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua. Estos tallos presentan, además, gran capacidad para almacenar agua, ya que poseen abundante parénquima; en este tejido se almacenan considerables cantidades de agua lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía. Cabe destacar el

papel de los mucílagos -hidrocoloides presentes en este tejido- que tienen la capacidad de retener el agua (Nobel *et al.*, 1992). Los cladodios poseen además espinas. Presentan pocos estomas por unidad de superficie con la particularidad de permanecer cerrados durante el día y abiertos en la noche; esto evita la pérdida de agua por transpiración durante el día y permite durante las horas nocturnas la entrada de anhídrido carbónico (CO₂), materia prima indispensable para la fotosíntesis.

El tipo particular de fotosíntesis que presentan los nopales corresponde al metabolismo del ácido crasuláceo (plantas CAM). La apertura nocturna de los estomas permite la toma de CO₂, lo que conduce a una acidificación gradual del tallo. Los estomas, en condiciones de déficit hídrico extremo, permanecen cerrados durante el día y la noche, evitando la transpiración y la entrada del CO₂. En este caso, el agua y el CO₂ producidos por la respiración son utilizados para la fotosíntesis, situación que explica la lenta deshidratación y degradación que sufren los cladodios durante un periodo prolongado de sequía extrema. La interrelación entre la anatomía y la fisiología para la conservación del agua de las plantas CAM es crucial para su éxito ecológico e incrementa su potencialidad agrícola en terrenos áridos y semiáridos (Nobel, 1998; Sudzuki *et al.*, 1993). Estas plantas poseen también gran resistencia, sobre todo, a altas temperaturas, aunque algunas especies también resisten hasta -40 °C (Nobel, 1998).

Estas Cactáceas han jugado un papel ecológico decisivo al frenar la degradación de suelos deforestados. Si se considera la porción de superficie terrestre árida o semiárida apta para cultivar estas especies que requieren poco o ningún aporte de agua, puede comprenderse su importancia agronómica.

Otro de los cambios ambientales que afectan al planeta es el incremento global del CO₂ originado, entre otras cosas, por la creciente deforestación, lo que incide en los principales ecosistemas del mundo. Ante el alto grado de perturbación ambiental, el nopal puede ser una alternativa potencial para captar parte del incremento de CO₂ ya que es una de las pocas especies que pueden establecerse con éxito en superficies deterioradas (Pimienta, 1997; Nobel y Bobich, 2002).

En Etiopía, los nopales son considerados como «el puente de la vida», ya que tanto los tallos que acumulan gran cantidad de agua, como los frutos, sirven de alimento para que el ganado subsista en épocas de sequía y los pastores cuenten con alimento, contribuyendo así de manera importante, a la supervivencia de ambos (SAERT, 1994). Si en estos países se difundiera el consumo de los nopales con las variadas formas que se acostumbran por ejemplo en México, sería posible disminuir la desnutrición y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Todas estas características con que la naturaleza ha dotado a esta especie, hacen de ella una promisoriosa planta de alto provecho para la humanidad.

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE *OPUNTIA* SPP.

La taxonomía de los nopales es muy compleja por varias razones ya citadas. Sólo un intenso trabajo de campo puede permitir reconocer e identificar las especies, sus variedades y adaptaciones reflejadas en su fenotipo (Scheinvar, 1999).

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocoonostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus-indica*; es más, en la cuenca del Mediterráneo es la única *Opuntia* que se cultiva (Uzun, 1996) y se emplea con diferentes propósitos.

Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos

y en otras características botánicas. Por ejemplo, los frutos de *Opuntia ficus-indica* son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cáscara de grosor variable, pero generalmente delgada. Los frutos de *O. xocostle* o tuna cardona son más pequeños, de sabor ácido, exteriormente de color verde-púrpura y rosados en el interior. *O. streptacantha* produce frutos de color púrpura, jugosos y dulces (Scheinvar, 1999), no muy resistentes para su manejo, de fácil descomposición y que maduran muy rápidamente lo que impide una comercialización en gran escala. Por ello es la especie preferida para producir bebidas fermentadas (López *et al.*, 1997).

Los brotes tiernos (nopalitos) de *Opuntia ficus-indica* y de otras especies se utilizan, principalmente en México, para la producción de nopal verdura. Para la cría de la cochinilla se destinan tanto *O. ficus-indica* como *O. cochenillifera* (= *Nopalea cochenillifera*). En Brasil, Chile y México, entre otros, se utiliza primordialmente *Opuntia ficus-indica* para la obtención de forraje.

DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA Y CONSUMO EN DISTINTOS PAÍSES

Los nopales se encuentran distribuidos en numerosos países de todos los continentes y se conocen desde tiempos muy antiguos una diversidad de usos y propiedades. En razón de la escasez de otros alimentos, muchos pueblos desarrollaron métodos para conservar las frutas; por ejemplo, con los nopales hacían miel que podían guardar indefinidamente sin descomponerse y también elaboraban melcochas (pasta obtenida al hervir por largo tiempo el jugo de las tunas), queso de tuna (melcocha más procesada) y tunas pasas (deshidratadas al sol). En los meses de agosto y septiembre del hemisferio boreal para celebrar la cosecha se preparaba un vino con pulpa de tunas y pitahayas (Cactáceas) fermentada al sol en ollas de barro, bebida conocida como *colonche* (Corrales y Flores, 2003). Muchos de estos modos de consumo persisten hasta hoy; no obstante, el consumo de la fruta fresca y de los nopalitos, es el más extendido y popular.

Son numerosos los países en el mundo en los que ocurren estas plantas, ya sean cultivadas o silvestres. Barbera (1999) señala que la mayor superficie se encuentra en México con cerca de 50 000 hectáreas para producción de fruta; según datos de Flores (1999) [citado por Flores-Valdez, (2003)], habría actualmente alrededor de 72 000 hectáreas para producción de fruta y 10 500 hectáreas para producción de nopalitos, sin considerar las nopaleras silvestres que ocuparían varios millones de hectáreas. Según Barbera (1999), Perú contaría con aproximadamente 35 000 hectáreas silvestres dedicadas en su mayoría a la cochinilla. En Brasil existirían cerca de 40 000 hectáreas destinadas a forraje. Italia contaría con 2 500 hectáreas para producción de fruta y Chile, cerca de 1 100 hectáreas. Asimismo se encuentran superficies menores en Argentina, Bolivia, España, (Islas Canarias), Estados Unidos de América, Israel, Jordania, Sudáfrica y Venezuela. También es importante en el norte de África (Argelia, Egipto, Libia, Marruecos y Túnez, entre otros); solamente en Túnez habría entre 400 000 y 500 000 hectáreas (Selmi *et al.*, 2002).

Dada la alta dispersión de estas especies, las estadísticas oficiales son escasas y no está disponible la información sobre la superficie plantada de nopales y sus destinos: tuna, nopalito, forraje o producción de cochinilla.

Otros sectores productivos también se están beneficiando con las propiedades de la tuna y los nopales, ya que son materia prima para la industria de cosméticos, de bebidas alcohólicas y de suplementos alimenticios, esta última especialmente ligada a la industria farmacéutica. Los nopales se utilizan además como cerco vivo en huertos y predios y contribuyen por otra parte al control de la desertificación.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Textos anteriores publicados por FAO (Barbera *et al.*, 1999; Mondragón-Jacobo y Pérez-González, 2001), en el marco de la Red FAO de Cooperación Técnica Internacional en

Nopal (CACTUSNET), abordan distintos aspectos de estas especies. El primer texto citado cubre temáticas relacionadas principalmente con aspectos agronómicos de los nopales, incluyendo antecedentes sobre los posibles usos de la fruta (Sáenz, 1999); de los nopalitos (Flores-Valdez, 1999) y de la producción de cochinilla (Flores-Flores y Tekelenburg, 1999), entre otros usos. En el trabajo de Mondragón-Jacobo y Pérez-González (2001), se hace referencia a la utilización como forraje, describiendo la experiencia que existe en distintos países, tales como, Brasil, Chile, Estados Unidos de América, Etiopía, México y Sudáfrica, entre otros, resaltando su valor nutritivo y sus efectos sobre distintos tipos de ganado.

En esta publicación se pretenden profundizar las oportunidades de industrialización de los nopales, tanto para consumo humano como para otros fines. Se dan a conocer en detalle, propiedades, características, modos de uso y de consumo, así como tecnologías de transformación para la obtención de diversos productos a partir de la fruta (p. ej., jugos, productos deshidratados, obtención de colorantes) y de los cladodios (salmuerados, encurtidos y harinas), entre otras alternativas.

Capítulo 2

Características y composición química de los nopales

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Los nopales han sido descritos por numerosos autores (Bravo, 1978; Pimienta, 1990; Sudzuki *et al.*, 1993; Sudzuki, 1999; Scheinvar, 1999; Barbera *et al.*, 1999; Nobel y Bobich, 2002); por lo tanto, aquí se hace solo una breve descripción debido al interés que presentan las diferentes partes de la planta para su industrialización.

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Sudzuki *et al.*, 1993; Sudzuki, 1999; Villegas y de Gante, 1997).

Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles (Sudzuki *et al.*, 1993). Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. En la Lámina 2 se presentan diversos tipos de nopales.

El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (Sudzuki *et al.*, 1993).

Las aréolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) -en México comúnmente se llaman aguates- y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (Granados y Castañeda, 1996). Cuando el hombre entra en contacto con la planta las espinas se pueden desprender y penetrar en la piel, constituyendo un serio inconveniente tanto para la cosecha de los frutos como para el procesamiento y consumo de los mismos.

Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo.

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores (Lámina 1). En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año; sin embargo, en Chile bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta «inverniza» (Sudzuki *et al.*, 1993).

Carmen Sáenz

*Departamento de Agroindustria y Enología
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
Chile*



Lámina 1
Diversos tipos de plantas de nopales
Chile, 2000.

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable. Chessa y Nieddu (1997) y Ochoa (2003) describen en detalle los tipos de frutos; los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con aréolas y abundantes gloquidios y espinas, que a diferencia del cladodio, persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible. Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Mondragón-Jacobo, 2004).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES

Las distintas especies de nopales tienen características comunes y diversas a la vez. Su capacidad para resistir altas temperaturas y períodos prolongados de sequía las hace especialmente atractivas para las zonas áridas y semiáridas.

Algunas especies son ampliamente utilizadas para producción de fruta, por la calidad de la misma; es el caso de *Opuntia ficus-indica*, *O. hyptiacantha*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Algunas de estas producen frutas de diversos colores, lo que constituye un atractivo adicional para los consumidores. Otras especies son más aptas para la producción de nopalitos, como *O. robusta* y *O. leucotricha*, además de *O. ficus-indica*. Un gran número de especies se puede utilizar para producir forraje, entre ellas, *O. robusta* y *O. leucotricha*, además de *O. ficus-indica* y otras para producción de cochinilla.

La fruta que producen, por ser quizá uno de los aspectos de mayor interés, es de tamaño diverso, en general de acidez muy baja y con un apreciable contenido de azúcares. Las características de la fruta de *Opuntia xoconostle* son diferentes y muy atractivas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA EN DIVERSOS ESTADOS FISIOLÓGICOS

Desde el punto de vista de la industrialización es primordial tener un conocimiento cabal de la composición química de las diferentes partes de la planta. Este conocimiento es indispensable para tener éxito tanto en la elección de las tecnologías de procesamiento más adecuadas que se pueden aplicar como en las condiciones de aplicación de las mismas, a fin de obtener productos inocuos, nutritivos y de alta calidad. Por lo tanto, las partes de la planta cuyas características interesa conocer mejor por sus amplias posibilidades de utilización son los frutos y los cladodios. Las flores se consideran también, al igual que los cladodios o nopalitos, una verdura y se pueden consumir como tales (Villegas y de Gante, 1997).

La evolución de la composición de algunos parámetros hasta la madurez (pH, sólidos solubles, fibra) deberá ser tenida en cuenta dependiendo del proceso a que se someterá la fruta o los cladodios, y más directamente al producto a que se quiera destinar.

Frutos

La composición de los frutos varía con la madurez. Es necesario tener en cuenta que son frutos «no climatéricos» (no maduran una vez cosechados), por lo que es importante cosecharlos en el punto de madurez óptima de consumo, donde está mejor expresado su potencial. Esta madurez óptima de consumo está reflejada en los valores de algunos parámetros específicos. Inglese (1999) y Cantwell (1999), señalan que se han propuesto diferentes parámetros para definir la mejor época de cosecha de la fruta: tamaño y llenado del fruto; cambios en el color de la cáscara; firmeza del fruto; profundidad de la cavidad floral o receptáculo; contenido de sólidos solubles totales (SST) y caída de los gloquidios. Debido a que no se ha definido un índice de cosecha único, varios autores recomiendan que este se determine para cada tipo de fruto en cada área de cultivo.

Los sólidos solubles totales aumentan rápidamente cuando la pulpa comienza a crecer (40-50 días después del cuajado de la flor); cuando se inicia el cambio de color de la cáscara, el contenido de esos sólidos es de 85 a 90 por ciento del que alcanza un fruto maduro. Cuando el color de la cáscara ha llegado a la mitad de lo que alcanzaría en la madurez completa, el contenido de sólidos solubles totales llega a valores de 12-15 por ciento, dependiendo del cultivar; es en esta etapa cuando se alcanza la mejor calidad de fruta para consumo en fresco o para almacenamiento. Los sólidos solubles totales aumentan ligeramente en frutos completamente maduros, pero en esta etapa ya no son adecuados para almacenamiento y están muy blandos para el manejo.

En el Cuadro 1, Montiel-Rodríguez (1986) [citado por Cantwell, (1999)], indica los cambios más notorios sufridos por *Opuntia amyoclaea* durante su madurez.

Los contenidos de azúcar (SST) y vitamina C aumentan considerablemente durante el proceso de maduración, mientras que la firmeza y la acidez se reducen. Los cambios descritos para *Opuntia amyoclaea*, son similares a los observados para frutos de otras especies de *Opuntia* (Barbera *et al.*, 1992; Kuti, 1992).

Sin embargo, no todos los nopales presentan el mismo comportamiento durante la maduración. Silos-Espino *et al.* (2003) estudiaron estos cambios en tres especies

CUADRO 1

Cambios físicos y de la composición de los frutos de *Opuntia amyoclaea* durante su maduración

Estado de maduración	Peso (g)	Diámetro mín-máx (cm)	Profundidad receptáculo floral (mm)	Pulpa (%)	Firmeza (kg/cm ²)	SST (%)	Acidez (%)	pH	Vitamina C (mg/100 g)
Inmaduro	86	42-44	7,2	44	4,6	7,5	0,08	5,2	12
Verde sazón	102	47-49	3,5	57	3,7	8,8	0,04	6,1	18
Intermedio	105	49-53	1,9	63	2,7	10,1	0,03	6,2	18
Maduro	112	50-54	1,4	65	2,4	11,5	0,02	6,3	26
Sobremaduro	108	49-53	1,0	75	2,2	12,5	0,02	6,4	28

Fuente: Montiel-Rodríguez, 1986 citado por Cantwell (1999).

comúnmente consumidas en México: *Opuntia ficus-indica*, *O. sp.* y *O. streptacantha*, de madurez temprana, media y tardía, respectivamente. El momento de la cosecha (madurez de consumo) es determinado en el campo por los mismos agricultores en base al color y las características de la textura de la fruta.

El pH evoluciona al progresar la madurez; en esto se distingue *Opuntia streptacantha* de *O. ficus-indica* y de *O. sp.*. La primera presenta bajos valores de pH (cerca de 3,0), cuando la madurez es incipiente, aumentando durante su desarrollo hasta valores cercanos a 6,0. En cambio *O. ficus-indica* y *O. sp.* no manifiestan cambios en el pH al avanzar la madurez, permaneciendo prácticamente constantes en valores cercanos a 6,0. Los sólidos solubles totales aumentan en las tres especies al progresar la madurez, alcanzando valores similares a los encontrados por otros autores, siendo cercanos a los 14° Brix.

Un parámetro interesante y sobre el cual hay pocos datos publicados es la firmeza de los frutos, que en este caso fluctúa entre 1,8 y 3,3 N. *Opuntia streptacantha* presenta la fruta más firme, por tanto con mejores perspectivas de poscosecha que *O. ficus-indica* y *O. sp.*, (Silos-Espino *et al.*, 2003). La disminución de la firmeza de los frutos al avanzar la madurez también la observaron Nieddu *et al.* (1997) en frutos cultivados del cv. *Gialla*, en Cerdeña (Italia).

Respecto a la composición química de las partes comestibles de los frutos, tradicionalmente los datos han ido formando parte de las tablas de composición química de alimentos que recogen valores a veces puntuales de una zona o país; sin embargo, las especies vegetales varían su composición de acuerdo a muchos factores, entre ellos la zona de cultivo. En lo que respecta a los frutos, la composición química se ve influida por la madurez, por lo que es interesante conocer las características propias de especies adaptadas a zonas ecológicas específicas antes de abordar las posibles alternativas de industrialización.

La parte comestible de la tuna está constituida por la pulpa y las semillas, teniendo en cuenta que el rendimiento en pulpa es un factor importante para la industrialización; estudios realizados por varios autores indican que el porcentaje de cáscara es variable de acuerdo a las zonas de cultivo. Es así como Sepúlveda y Sáenz (1990) en *Opuntia ficus-indica* cultivada en Chile, encontraron que el porcentaje de cáscara era de 50,5 por ciento y 49,6 por ciento de parte comestible (pulpa y semilla), de la cual 78,9 por ciento correspondió a pulpa y 20,1 por ciento a semillas. Por su parte en fruta de esta misma especie cultivada en Arabia Saudita, Sawaya *et al.* (1983) determinaron en la parte comestible 88 por ciento de pulpa y 12 por ciento de semilla. En Argentina, se encontró un porcentaje de pulpa de 54,7 por ciento y de cáscara y semilla de 42,3 por ciento (Rodríguez *et al.*, 1996).

Varios autores han realizado estudios acerca de la composición química de la tuna (Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Ewaidah y Hassan, 1992; Cacioppo, 1992; Sáenz *et al.*, 1995a; Muñoz de Chávez *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1996; Parish y Felker, 1997; Sáenz y Sepúlveda, 2001a). En el Cuadro 2 se presenta la composición

CUADRO 2
Composición química de la pulpa de tuna (porcentaje)

Parámetros	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Humedad	85,1	91,0	85-90	85,6	83,8	84,2
Proteína	0,8	0,6	1,4-1,6	0,21	0,82	0,99
Grasa	0,7	0,1	0,5	0,12	0,09	0,24
Fibra	0,1	0,2	2,4	0,02	0,23	3,16
Ceniza	0,4	---	---	0,44	0,44	0,51
Azúcar total	---	8,1	10-17	12,8	14,06	10,27
Vitamina C (mg/100 g)	25,0	22,0	4,6-41	22,00	20,33	22,56
β-caroteno (mg/100 g)	---	---	Trazas	Trazas	0,53	---

Fuentes: (1) Askar y El-Samahy (1981); (2) Muñoz de Chávez *et al.* (1995); (3) Pimienta (1990); (4) Sawaya *et al.* (1983); (5) Sepúlveda y Sáenz (1990); (6) Rodríguez *et al.* (1996).

química de la parte comestible de los frutos provenientes de plantas cultivadas en varias regiones del mundo como Arabia Saudita, Argentina, Chile, Egipto y México.

El agua es el componente principal de la fruta y por ello uno de sus mayores atractivos para las zonas áridas y semiáridas; el agua se encuentra protegida por la gruesa cáscara, rica en mucílagos que la retienen fuertemente y contribuyen a la baja deshidratación de la fruta.

En el Cuadro 3 se presenta la composición mineral de la parte comestible de las tunas cultivadas en diferentes países. Las variaciones observadas pueden atribuirse a la distinta procedencia de las plantas o a factores agronómicos del cultivo como la fertilización o el riego, al clima o a diferencias genéticas de las variedades (Muñoz de Chávez *et al.*, 1995).

También se han observado pequeñas variaciones en la composición química de los frutos de nopales de distintos colores. En estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda (2001a), Sáenz *et al.* (1995a) y Sepúlveda y Sáenz (1990), se llegó a los resultados que se presentan en los Cuadros 4 y 5; para los macroelementos y los componentes minerales de tunas de colores (*Opuntia* spp.), se consideró fruta de color verde, púrpura y anaranjada, con pulpa de los mismos colores (Lámina 2).

CUADRO 3

Composición mineral de la pulpa de tuna (mg/100 g)

Mineral	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Ca	24,4	49,0	27,6	12,8	-
Mg	98,4	85,0	27,7	16,1	-
Fe	-	2,6	1,5	0,4	-
Na	1,1	5,0	0,8	0,6	1,64
K	90,0	220	161	217,0	78,72
P	28,2 ^a	-	15,4	32,8	-

Fuentes: (1) Askar y El-Samahy (1981). (2) Muñoz de Chávez *et al.* (1995). Sawaya *et al.* (1985). (4) Sepúlveda y Sáenz (1990). (5) Rodríguez *et al.* (1996).

^a) Fosfato PO₄, mg/100 g.

CUADRO 4

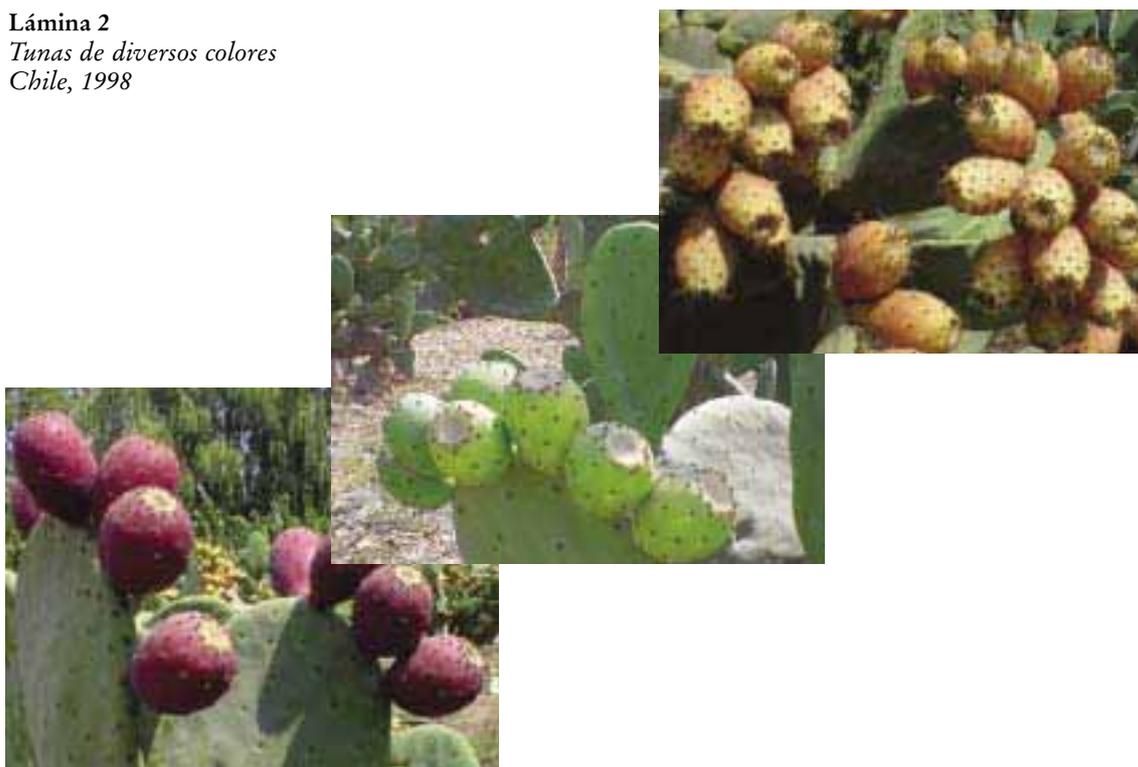
Composición química de pulpas de tuna (porcentaje de la parte comestible)

Parámetros	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna anaranjada
Humedad	83,8	85,98	85,1
Proteína	0,82	0,38	0,82
Grasa	0,09	0,02	-
Fibra	0,23	0,05	-
Cenizas	0,44	0,32	0,26
Azúcares totales	14,06	13,25	14,8
Vitamina C (mg/100 g)	20,33	20,0	24,1
β-caroteno (mg/100 g)	0,53	-	2,28
Betanina (mg/100 g)	-	100	-

Fuentes: Sáenz y Sepúlveda (2001a); Sáenz *et al.*, (1995a); Sepúlveda y Sáenz, (1990).

Lámina 2

Tunas de diversos colores
Chile, 1998



C. SÁENZ Y E. SEPÚLVEDA

CUADRO 5
Composición mineral de pulpas de tuna (porcentaje de la parte comestible)

Mineral	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna anaranjada
Ca	12,8	13,2	35,8
Mg	16,1	11,5	11,8
Fe	0,4	0,1	0,2
Na	0,6	0,5	0,9
K	217,0	19,6	117,7
P	32,8	4,9	8,5

Fuentes: Sáenz y Sepúlveda (2001a); Sáenz et al., (1995a); Sepúlveda y Sáenz (1990)

La variación que se observa en el contenido de algunos de los minerales presentes en los frutos (Cuadro 5) puede atribuirse a su diversa procedencia.

Existen marcadas diferencias en la composición de algunos nopales; es el caso, ya mencionado de *Opuntia xocconostle* con respecto a otras como *O. ficus-indica*. Debido a que las diferencias en sus características son importantes para la industrialización; cabe indicar aquí la composición química de la primera de ellas según lo descrito por Mayorga et al. (1990) (Cuadro 6).

Los frutos de *Opuntia xocconostle* tienen un tamaño menor que los de *O. ficus-indica*; estos últimos, aunque presentan grandes variaciones pueden llegar, dependiendo del cultivar, de la carga del cladodio y de las condiciones ambientales, a los 250 g; se considera que un fruto comercial no debiera pesar menos de 120 g (Sudzuki et al., 1993; Inglese, 1999; Barbera e Inglese, 1992). Comparando los datos anteriores, se encuentra que el porcentaje de pulpa es mayor en *O. xocconostle* que en *O. ficus-indica*; pero sin duda, donde existe una diferencia notable es en el contenido de sólidos solubles, que es mucho menor (cerca de 5 por ciento) y en la acidez, que es muy superior, al igual que en el contenido de ácido ascórbico (76,8 mg/100 g). Estas características hacen que el destino industrial difiera entre las especies; es así como *O. xocconostle* es considerada en México como una especia o condimento (Villegas de Gante, 1997). Los procesos de transformación serán más benignos cuando se aplican a *O. xocconostle*, cuyo pH es menor a 3,5, que a *O. ficus-indica*, con pH cercano a 6,0 o superior; el bajo pH de *O. xocconostle* es un factor protector, que impide el crecimiento de microorganismos perjudiciales, lo que constituye una ventaja respecto a la inocuidad de los productos. Scheinvar (Comunicación personal)¹ en un estudio en 10 especies de *O. xocconostle* encontró variaciones de pH entre 2,92 y 3,7.

Cladodios

Los cladodios, por su parte tienen interés desde el punto de vista industrial ya que cuando los brotes son tiernos (10-15 cm) se usan para la producción de nopalitos, y cuando están parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años), para la producción de harinas y otros productos. En el Cuadro 7 se observan las variaciones en la composición de los cladodios de distintas edades.

Flores et al. (1995) en un estudio efectuado en 20 variedades de nopal y analizando tallos (suberificados), cladodios maduros (penca anual) y cladodios jóvenes (brotes), concluyen al igual que Pimienta (1990), que el contenido de proteínas es mayor en los brotes o renuevos; la fibra cruda aumenta con la edad del cladodio, llegando a 16,1 por ciento en los tallos suberificados, pero siendo cercana a 8,0 por ciento, en promedio, en los renuevos; este hecho también lo observó Tegegne (2002) en un ensayo efectuado en Etiopía. El contenido de cenizas no sigue la misma tendencia, ya que en este último

CUADRO 6
Características promedio de 11 colectas de *Opuntia xocconostle*

Peso fruto (g)	Pulpa (g/100 g)	Materia seca en pulpa (g/100 g)	Sólidos solubles (g/100 g)	Ácido ascórbico (mg/100 g)	Pectinas (g/100 g)
53,36	69,38	6,27	5,32	76,80	0,799

Fuente: Mayorga et al. (1990)

¹ Leia Scheinvar, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2004.

CUADRO 7

Composición química de cladodios de distintas edades (porcentaje materia seca)

Edad (años)	Descripción	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra cruda	Extracto no nitrogenado
0,5	Renuevos o nopalitos	9,4	1,00	21,0	8,0	60,6
1	Penca	5,4	1,29	18,2	12,0	63,1
2	Penca	4,2	1,40	13,2	14,5	66,7
3	Penca	3,7	1,33	14,2	17,0	63,7
4	Tallos suberificados	2,5	1,67	14,4	17,5	63,9

Fuente: López *et al.* (1977) citado por Pimienta (1990)

trabajo, los renuevos presentan un contenido menor de cenizas que los tallos y pencas; dicha variación se debería a la serie de compuestos y elementos que conforman la ceniza y a la estrecha relación de estos con la química de suelos y a los complejos fenómenos de la disponibilidad de sus elementos para la planta (Bravo, 1978).

Por su parte, Rodríguez-Félix y Cantwell (1988), indican que la composición química de los nopalitos frescos es principalmente agua (91 por ciento) y 1,5 por ciento de proteínas; 0,2 por ciento de lípidos; 4,5 por ciento de hidratos de carbono totales; 1,3 por ciento de cenizas, de la cual 90 por ciento es calcio; además, contiene 11 mg/100 g de vitamina C y 30 µg/100 g de carotenoides; el contenido de fibra (1,1 por ciento) la hace comparable a la espinaca.

Flores

De acuerdo a lo señalado anteriormente, las flores se consideran también, al igual que los cladodios o nopalitos, una verdura y se pueden consumir como tales (Villegas y de Gante, 1997). Estudios efectuados por Jonás *et al.* (1998) indican que algunos de los componentes presentes son beneficiosos para combatir la hiperplasia prostática benigna, habiendo observado el efecto positivo de un extracto de flores secas.

VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES FUNCIONALES DE FRUTAS Y CLADODIOS

Últimamente la tendencia general en el consumo de alimentos es buscar un buen aporte de nutrientes y que además los alimentos sean beneficiosos para la salud. En este contexto existe una nueva gama de alimentos: son los llamados alimentos funcionales, de los que se espera no solo un aporte nutritivo, sino un beneficio para la salud y para la prevención de enfermedades (Sáenz, 2004).

Valor nutritivo de frutos y cladodios

De acuerdo a lo señalado por Sáenz (1999, 2000) y a los datos mencionados en el punto anterior, puede concluirse que la tuna tiene un valor nutritivo similar al de otros frutos, aunque cabe destacar que el contenido de sólidos solubles es mayor que en el durazno, la manzana, la ciruela, el damasco, la cereza y el melón, frutos de consumo masivo (Pimienta, 1990; Schmidt-Hebbel *et al.*, 1990; Sepúlveda y Sáenz, 1990).

Esta característica hace que la tuna sea un fruto apto para ser sometido a procesos de transformación tales como la concentración y la deshidratación, que aprovechan la disminución de la actividad del agua y el aumento del contenido de azúcares como un medio de preservación.

La mayoría de los azúcares presentes en el fruto son del tipo reductor, con cerca del 53 por ciento de glucosa y el resto de fructosa (Russel y Felker, 1987; Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Kuti y Galloway, 1994; Rodríguez *et al.*, 1996). Cabe señalar que la glucosa es el único metabolito energético de las células cerebrales y nerviosas y que en la tuna está presente como azúcar libre por lo que es directamente absorbido por el cuerpo.

La fructosa contribuye a un mejor sabor debido a su mayor dulzor (comparado con el de la glucosa y la sacarosa) y a su fácil absorción (Cheftel *et al.* 1983).

Los contenidos de proteína (0,21-1,6 g/100 g), grasa (0,09-0,7 g/100 g), fibra (0,02-3,15 g/100 g) y ceniza (0,4-1,0 g/100 g) son similares a los de otros frutos (Askar y El Samahy, 1981; Pimienta, 1990; Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Rodríguez *et al.*, 1996; Muñoz de Chávez *et al.*, 1995).

El valor calórico de su pulpa varía entre 31-50 kcal/100 g (Sawaya *et al.*, 1983; Muñoz de Chávez *et al.*, 1995; Schmidt-Hebbel *et al.*, 1990), comparable con el de otros frutos como la pera, la manzana, el durazno y la naranja.

El contenido total de aminoácidos libres (257,24 mg/100 g) es mayor que el promedio de otros frutos; de hecho un valor cercano se encuentra solo en los cítricos y la uva. Una característica del fruto de tuna es el alto contenido relativo de serina, ácido γ -aminobutírico, glutamina, prolina, arginina e histidina y la presencia de metionina (Askar y El-Samahy, 1981). En un estudio efectuado por Stintzing *et al.* (1999), se informa sobre la presencia de un alto contenido de taurina en frutos de *Opuntia ficus-indica* cultivada en México y Sudáfrica con un rango de 323,6 a 572,1 mg/l; este aminoácido, cuya presencia no es común en una gran cantidad de plantas, es importante por su influencia en el desarrollo de la retina y en la síntesis de ácidos biliares, a lo que se suma la baja capacidad del ser humano para sintetizarlo.

La tuna presenta un alto nivel de ácido ascórbico que puede llegar a valores de 40 mg/100 g; tal contenido es mayor que el encontrado en la manzana, la pera, la uva y la banana.

El contenido de sodio y potasio de la tuna indica que es una buena fuente de este último (217 mg/100 g) y que presenta un bajo contenido de sodio (0,6 a 1,19 mg/100 g) lo que es una ventaja para ser consumido por personas con problemas renales o de hipertensión (Sepúlveda y Sáenz, 1990; Rodríguez *et al.*, 1996). La tuna es rica en calcio y fósforo, 15,4 a 32,8 mg/100 g y 12,8 a 27,6 mg/100 g respectivamente (Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda *et al.*, 1990) y está entre los frutos que contribuyen con grandes cantidades de calcio. Cabe mencionar que el calcio y el fósforo representan tres cuartos de los minerales del cuerpo y son fundamentales para la formación de los huesos. A pesar de que es uno de los frutos que contribuye con mayor contenido de calcio a la dieta, sería conveniente efectuar mayores estudios acerca de su biodisponibilidad. En cuanto a su contribución de fósforo, es similar a la que aportan la cereza, el damasco, el melón y la frambuesa.

Los nopalitos por su parte, al igual que otras verduras, contribuyen con una alta proporción de agua a la dieta y son altamente cotizados por su contenido en fibra; forman parte de la dieta común del pueblo mexicano y están siendo ampliamente consumidos en el sur de Estados Unidos de América por la población mexicana allí residente. Esta verdura, es rica en fibra dietética y su contenido es comparable al de varias frutas y hortalizas, entre ellas la espinaca, la alcachofa, la acelga, la berenjena, el brócoli, el rábano y otras. Entre las frutas, es similar al mango, al melón, al damasco y a la uva (Zambrano *et al.* 1998; Ruales y Zumba, 1998; Schmidt-Hebbel *et al.* 1990). Muñoz de Chávez *et al.*, (1995) señalan que al igual que otras hortalizas, los nopales tienen un alto contenido de agua (90,1 por ciento), bajo contenido de lípidos, hidratos de carbono y proteínas y alto contenido de fibra (0,3; 5,6; 1,7 y 3,5 por ciento, respectivamente).

Son ricos también en minerales, entre ellos el calcio y el potasio (93 y 166 mg/100 g), respectivamente y tienen bajo contenido de sodio (2 mg/100 g), lo que es una ventaja para la salud humana. Su alto contenido en calcio, los hacen muy interesantes por la importancia de este mineral en la dieta, pero es un problema que debe ser más investigado. McConn y Nakata (2004) en un estudio efectuado en nopalitos señalan, sin embargo, que el calcio presente no estaría disponible para la utilización por el cuerpo humano, ya que se encuentra bajo forma de cristales de oxalato de calcio. Contiene, además, cantidades moderadas de carotenoides (30 μ g/100 g) y de vitamina C (11 mg/100 g) (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

Cantwell (1999) indica que se puede comparar el valor nutritivo de los nopales frescos con el de la lechuga o de la espinaca, con la ventaja de que pueden ser producidos en forma rápida y abundante por plantas expuestas a altas temperaturas y con poca agua, condiciones en general desfavorables para la producción de hortalizas de hoja (Cantwell, 1999).

Propiedades funcionales de frutos y cladodios

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud y tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, buscada entre otros motivos, por sus propiedades antioxidantes; todos estos compuestos son muy apreciados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos (Sáenz, 2004). Los contenidos de estos compuestos son distintos en frutos y cladodios, siendo la pulpa de la fruta la parte más rica en vitamina C mientras que los cladodios son más ricos en fibra. Los pigmentos solo se encuentran en los frutos y tanto las betalaínas como los carotenoides pueden estar presentes en la cáscara y en la pulpa de los diversos ecotipos y variedades.

Estos compuestos forman parte de los alimentos que se conocen como alimentos funcionales, los cuales se definen como «un alimento o bebida que proporciona un beneficio fisiológico, que fortalece la salud, ayuda a prevenir o trata enfermedades, o mejora el rendimiento físico o mental por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología» (Sloan, 2000).

Entre estos compuestos funcionales, la fibra dietética es uno de los componentes más estudiados desde el punto de vista de la nutrición y la relación que existe entre fibra y salud, por ejemplo para el control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (Hollingsworth, 1996; Grijspaardt-Vink, 1996; Sloan, 1994), lo que es conocido por los consumidores.

La fibra dietética está constituida por diferentes componentes resistentes a las enzimas digestivas, entre ellos la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (Spiller, 1992; Periago *et al.*, 1993).

Según su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en soluble e insoluble; la primera la conforman mucílagos, gomas, pectinas y hemicelulosas y la insoluble es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa (Atalah y Pak 1997). Estas fracciones de fibra tienen efectos fisiológicos distintos: es así como la fibra soluble se asocia con la reducción de los niveles de glucosa y de colesterol y la estabilización del vaciamiento gástrico y la fibra insoluble con la capacidad de retención de agua (aumento del peso de las heces), el intercambio iónico, la absorción de ácidos biliares, minerales, vitaminas y otros y su interacción con la flora microbiana.

La tuna, cuando se consume con las semillas, que es el modo corriente de consumo en fresco, aporta una interesante cantidad de fibra. Muñoz de Chávez *et al.* (1995) informan sobre cantidades variables, dependiendo de la especie, con rangos entre 2,73 para *Opuntia streptacantha* a 11,38 para *O. ficus-indica*.

Los cladodios son una fuente importante de fibra, de calcio y de mucílagos, tres componentes que son necesarios para integrar una dieta saludable (Sáenz, 2004; Sáenz *et al.*, 2004a).

Los pigmentos presentes en los frutos de los nopales, como los carotenoides y las betalaínas, se destacan por su poder antioxidante. El poder antioxidante de los betacarotenos y flavonoides es bien conocido, pero el de las betalaínas ha comenzado a ser estudiado recientemente (Butera *et al.*, 2002; Kuti, 2004; Galati *et al.*, 2003) por lo que su consumo para evitar el envejecimiento de los tejidos podría competir con el que se busca en otros vegetales como la naranja o la uva roja.

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS Y PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

Además de la composición química y el valor nutritivo de la tuna, hay otras características que tienen una importante función durante el procesamiento; en este sentido la tuna presenta un desafío interesante. El alto valor de pH (5,3 - 7,1) de la mayoría de los nopales, salvo *Opuntia xocconostle* que presenta un pH menor a 3,5 (Mayorga *et al.*, 1990), clasifica al fruto dentro del grupo de baja acidez (pH > 4,5); esto requiere un tratamiento térmico a por lo menos de 115,5 °C, para lograr un buen control de microorganismos. El alto valor de pH y el alto contenido de sólidos solubles hacen que la pulpa de tuna sea un medio propicio para el desarrollo de microorganismos (Sepúlveda y Sáenz, 1990; Sáenz, 1999).

Diversos ácidos contribuyen a la acidez, aún cuando esta es baja. Barbagallo *et al.* (1998a) estudiaron los ácidos orgánicos presentes en jugos de tuna de tres variedades cultivadas en Italia: *Gialla*, *Rossa* y *Bianca*, encontrando que el ácido cítrico es mayoritario (cerca de 17 mg/100 g) seguido de los ácidos oxálico, málico y succínico que se encuentran en diferentes proporciones en las citadas variedades.

Las pectinas, aunque están presentes en la pulpa en baja cantidad, son parcialmente responsables de la viscosidad de la misma y son un elemento positivo en la producción de jugos y jaleas.

En el Cuadro 8 se observan algunas características tecnológicas para la tuna de pulpa de color verde, llamada también tuna blanca, probablemente por no tener otro pigmento que la clorofila y ser la más cultivada en distintos países. Los porcentajes de cáscara, pulpa y semillas son similares; en el pH y acidez existen ciertas variaciones, lo mismo que en los sólidos solubles totales; es necesario tener en cuenta este detalle cuando se procesa la fruta.

La existencia de tunas de diversos colores amplía las posibilidades de industrialización de esta especie; en el Cuadro 9 se pueden comparar las características tecnológicas de tres ecotipos de tuna de diversos colores cultivados en la zona central de Chile.

CUADRO 8

Características tecnológicas de la pulpa de tuna (g/100 g)

Parámetro	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Pulpa y semillas	-	-	48,0	49,6	68,4
Cáscara	-	-	52,0	50,4	31,6
pH	5,8	5,3-7,1	5,75	6,37	5,95
Acidez (% ácido cítrico)	0,05	0,01-0,12	0,18	0,06	0,14
°Brix (SST)	13,2	12-17	14,20	14,06	15,41
Sólidos totales	14,9	10-15	14,50	16,20	15,77
Pectina	-	-	0,19	0,17	0,21

Fuentes: (1) Askar y El-Samahy (1982); (2) Pimienta (1990); (3) Sawaya *et al.* (1983); (4) Sepúlveda y Sáenz (1990); (5) Rodríguez *et al.* (1996).

CUADRO 9

Características tecnológicas de pulpas de tunas (g/100 g)

Parámetro	Tuna verde*	Tuna púrpura**	Tuna anaranjada***
Pulpa y semillas	49,6	37,9	59,3
Cáscara	50,4	62,1	40,7
pH	6,37	5,85	6,1
Acidez (% ácido cítrico)	0,06	0,04	0,043
°Brix (SST)	14,06	14,5	14,8
Sólidos totales	16,20	14,12	14,9
Pectina	0,17	---	0,04
Viscosidad (mPa s)	73,9	119,2	45,0

Fuentes: *Sepúlveda y Sáenz (1990); **Sáenz *et al.* (1995a); *** Sepúlveda y Sáenz (1999)

Si bien la tuna de color verde es la única cultivada comercialmente en Chile, existen estudios e interés por parte de los productores para plantar ecotipos de otros colores, siendo de gran atractivo la tuna púrpura y la anaranjada.

Cabe señalar, sin embargo, que la fruta de color verde presenta mejor textura y sabor -es más dulce- que la de color púrpura y anaranjada que tienden a ser harinosas; el consumo fresco de estas últimas, cuando se conoce la tuna de pulpa verde, se podría ver dificultado por este atributo negativo. Aún así, las frutas de colores podrían tener mejores posibilidades para ser procesadas, quizás más que las blancas, ya que la clorofila es un pigmento lábil, difícil de mantener en los procesos térmicos sin que ocurran cambios desfavorables de color y aroma.

El color de la fruta debido a la presencia de pigmentos carotenoides y betalaínas en frutos anaranjados y púrpuras, respectivamente, es sin duda un parámetro importante por su atractivo, tanto en los frutos, como en los productos derivados de ellos; sin embargo, en los últimos años han aumentado los estudios acerca de la estabilidad de algunos de estos pigmentos, ya sea aislados o en productos procesados (Merin *et al.*, 1987; Montefiori, 1990; Farías, 2003; Castellar *et al.*, 2003). Estos pigmentos, condicionan, sobre todo en el caso de las clorofilas, los resultados de los tratamientos térmicos. Sáenz y Sepúlveda (2001b), informan que el color de los jugos de tuna verde se altera fácilmente al degradarse la clorofila, efecto que se ve acentuado con la adición de ácido, operación que se realiza con el fin de asegurar la estabilidad microbiológica del producto. En el caso de los jugos de tuna púrpura, este efecto se ve minimizado, ya que las betalaínas, superan en estabilidad a las clorofilas, frente a similares tratamientos térmicos o variaciones de pH.

La viscosidad que poseen las pulpas se ve influida por la presencia de pectinas y mucílagos. Ambos compuestos están considerados dentro del grupo de los hidrocoloides por su gran capacidad para captar y retener agua; forman parte, a su vez, de la fibra dietética. Estos compuestos, pueden ser utilizados como espesantes en productos alimenticios (Sáenz *et al.*, 2004a; Sepúlveda *et al.*, 2003b).

Algunos componentes menores, pero no por ello de menor importancia, son los compuestos volátiles responsables del aroma de la tuna y sus productos; entre ellos, los alcoholes representan la mayor parte de estos componentes, en particular el etanol. Hay otros componentes más característicos de la tuna, como algunos alcoholes no saturados, algunos aldehídos no saturados incluyendo al 2,6 nonadienal y 2-nonenal, encontrados en variedades verdes y púrpuras. Según algunos autores en las variedades púrpuras predomina el 2-hexenal sobre el etanol (Di Cesare y Nani, 1992), existiendo algunas diferencias en los componentes aromáticos entre los cv. *Bianca*, *Giulla* y *Rossa*, cultivados en Italia (Di Cesare *et al.*, 1991). El delicado aroma de esta fruta, se puede ver afectado por el procesamiento; en algunos productos que han sido sometidos a tratamientos térmicos se puede encontrar sabor a heno o pasto. Este punto debe ser estudiado con mayor profundidad, dependiendo del proceso que se va a aplicar para su transformación.

En el caso de los nopalitos, la presencia de polifenoles, si bien son interesantes en la dieta como antioxidantes, causan oscurecimiento lo que genera problemas en algunos procesos de conservación de estos productos (Rodríguez-Félix, 2002).

Por otra parte, debido a la acidez variable de los nopalitos durante el día a causa de su metabolismo CAM, este factor debe ser tenido en cuenta para el momento de la cosecha, ya que habrá que conjugar el efecto de la acidez en los procesos de conservación con la aceptación de los productos por parte de los consumidores.

POTENCIAL DE LA UTILIZACIÓN INTEGRAL DEL NOPAL

Tal como se ha señalado, los nopales son dignos de ser considerados para la industrialización no solo por sus frutos y cladodios. Del mismo modo que cualquier otro vegetal utilizado para consumo humano, la tuna y los cladodios se conservan y

transforman aplicando tecnologías equivalentes de procesamiento, y existen alimentos tradicionales preparados en base a tuna y nopalitos. Se cuentan entre ellos alimentos en base al fruto: mermeladas, jugos y néctares; productos deshidratados; jugos concentrados, jarabes y licores. En base a los cladodios se encuentran, entre otros, encurtidos, jugos, mermeladas y productos mínimamente procesados.

Además existen en estas plantas valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos, para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas, colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética, para formular suplementos alimenticios, ricos en fibra o con fines de control de la diabetes o la obesidad, entre otros. Por otra parte, es importante la utilización indirecta de la planta como hospedero de la cochinilla del carmín para producir colorantes naturales.

Sin duda, la posibilidad de utilización integral de esta especie es de especial atractivo e interés para el sector agroindustrial, ya que toda industria busca obtener el máximo provecho de sus materias primas. Es una forma específica de aumentar la rentabilidad de la empresa y además se evita la eliminación de desechos. Estos, al ser producidos, pasan no solo a formar parte de las pérdidas de los procesos, influyendo directamente en la rentabilidad de los mismos, sino que además, si no son tratados oportuna y adecuadamente, pueden contaminar el entorno como residuos líquidos o sólidos, provocando en ocasiones daños ambientales irreversibles.

En el Cuadro 10 se presenta un esquema de algunas alternativas de procesamiento integral que tienen los nopales.

Son muchos los sectores industriales que se pueden beneficiar con la explotación de los nopales, desde la industria alimentaria y sus industrias asociadas, hasta la industria de la construcción, pasando por la farmacéutica y la de cosméticos.

A continuación se mencionan una serie de sectores industriales que pueden obtener y/o beneficiarse con productos obtenidos a partir de los nopales:

- agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano (producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y analcohólicas de tuna y nopalitos);
- agroindustria de alimentos para animales (suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas);
- industria farmacéutica (protectores gástricos de extractos de mucílago; cápsulas y tabletas de polvo de nopal);
- industria cosmética (cremas, champúes, lociones de cladodios);
- industria de suplementos alimenticios (fibra y harinas de cladodios);
- industria productora de aditivos naturales (gomas de cladodios; colorantes de la fruta);
- sector de la construcción (compuestos ligantes de los cladodios);
- sector energético (producción de biogás a partir de las pencas);

CUADRO 10

Algunos productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de las tunas y los cladodios

Productos		Subproductos
Tunas	Cladodios	Tunas y cladodios
Jugos y néctares	Jugos	Aceite de las semillas
Mermeladas, geles y jaleas	Encurtidos y salmueras	Mucílago de los cladodios
Fruta y láminas deshidratadas	Mermeladas y jaleas	Pigmentos de las cáscaras y frutos
Edulcorantes	Harinas	Fibra dietaria de los cladodios
Alcoholes, vinos y vinagres	Alcohol	Pasta forrajera de la cáscara y las semillas
Fruta enlatada	Confites	
Fruta y pulpa congelada	Salsas	
	Nopalitos	

Fuentes Sáenz (2000); Corrales y Flores (2003).

- sector productor de insumos para la agricultura (productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos);
- sector turismo (artesanías en base a cladodios lignificados);
- industria textil (uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla).

Existen amplias posibilidades de utilización de las diversas partes de la planta, así como la existencia de diferentes especies de nopales que proporcionan frutos de diversos colores y cladodios con diversas utilidades dependiendo de su madurez (aptos tanto para el consumo humano y para alimentación animal). La posibilidad alternativa, de producción de cochinilla en las pencas y la potencial obtención de una variada gama de compuestos funcionales para la industria de suplementos alimenticios y de cosméticos es una ventaja de los nopales frente a otros vegetales ya que se pueden destinar al sector agroindustrial o pueden entrar a formar parte de la dieta humana.

Debido al especial interés de las alternativas no alimentarias que tienen los nopales, se comentan algunas de las características de los productos que se pueden obtener. La producción de alimentos se aborda en los Capítulos 4 y 6. La producción a escala industrial, de algunos de productos no alimentarios, se describe en el Capítulo 7.

Uno de los sectores industriales más activos actualmente es el de los aditivos naturales. Desde hace algunos años se observa un renovado interés por los productos naturales para la alimentación humana; todo lo natural es especialmente cotizado, ya que se asocia, casi inseparablemente, a inocuo, seguro y sano, aunque no siempre sea necesariamente así. Por estos motivos, las empresas productoras de aditivos se encuentran en una búsqueda constante de aditivos naturales para su aplicación tanto en alimentos como en productos farmacéuticos y cosméticos. En este sentido los nopales son conocidos desde hace siglos por ser un hospedante natural de la cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), insecto del cual se extrae el valioso colorante natural carmín de cochinilla, de intenso color rojo (Aquino y Bárcenas, 1999; Sáenz *et al.*, 2002a; Sáenz *et al.*, 2004b). El color de este pigmento lo hace aún más atractivo, ya que en los últimos años se ha cuestionado fuertemente la inocuidad de varios colorantes rojos sintéticos y se los ha eliminado de las reglamentaciones alimentarias. El mayor inconveniente que presenta la cochinilla, es desde el punto de vista agronómico ya que es considerada una plaga de los nopales. En este caso, es fundamental tomar los cuidados necesarios para que no se contagien las plantaciones destinadas a la producción de fruta o nopalito. Existen plantaciones comerciales para la explotación de la cochinilla en Chile, España (Islas Canarias) y Perú; en este último caso pueden también ser de doble propósito. En algunos países como Chile, se ha establecido un límite geográfico para el cultivo de tuna para cochinilla a fin de evitar problemas de sanidad en cultivos destinados a producción de fruta. El manejo del nopal para la producción de cochinilla, los factores que inciden en la producción y la calidad del ácido carmínico y otros temas relacionados, han sido descritos por varios autores, entre ellos y ampliamente por Flores-Flores y Teckelenburg (1999), por Viguera y Portillo (1992) y por Sáenz *et al.* (2002a).

Otra alternativa explorada hace años es la obtención de betalaínas a partir de las tunas rojas o púrpuras. Las betalaínas son pigmentos solubles en agua derivados del ácido betalámico cuya estabilidad se ve afectada por el pH, siendo más estables a pH entre 4,0 y 6,0 (Castellar *et al.*, 2003). Están formadas por dos grupos principales, las betacianinas (rojas) y las betaxantinas (amarillas), que presentan absorbancias a diferentes longitudes de onda (540 nm y 480 nm, respectivamente). Dentro de las betacianinas se encuentran varios compuestos, entre ellos la betanina, que suele ser el mayor responsable del color rojo (Fernández-López *et al.*, 2002). La betanina, también llamada «rojo-betarraga», es aceptada entre los pigmentos naturales y utilizados principalmente para colorear alimentos que no son tratados térmicamente, como yogur, helados y jarabes. Se encuentra presente tanto en la cáscara como en la pulpa de los frutos y su concentración varía de acuerdo a la especie (Odoux y Domínguez-López, 1996; Sáenz, 2004; Sepúlveda *et al.*, 2003a), por lo que es de interés estudiar y seleccionar las especies que concentran la

CUADRO 11

Contenido de betalaínas en distintas partes del fruto de diversas especies de *Opuntia* (mg/100 g peso fresco)

Especie	Color fruta	Cáscara	Pulpa
<i>Opuntia</i> sp ₃	Púrpura	72,0	49,3
<i>Opuntia robusta</i>	Púrpura	19,0	58,2
<i>Opuntia robusta-robusta</i>	Púrpura	40,5	86,1
<i>Opuntia decumbers</i>	Roja	22,1	37,3
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Rosada	1,1	4,1
<i>Opuntia</i> sp ₁	Púrpura	118,3	126,8
<i>Opuntia</i> sp ₂	Púrpura	44,8	27,6
<i>Opuntia acidulata</i>	Roja	1,8	0,3
<i>Opuntia sherri</i>	Púrpura	8,4	6,0
<i>Opuntia microdasys</i>	Roja	0,9	0,0
<i>Opuntia curvispina</i>	Roja	112,4	99,0

Fuente: Odoux y Domínguez-López (1996)

mayor cantidad del pigmento. En el Cuadro 11 se observan las diferencias en el contenido de pigmento en diversas especies de nopales, tanto en la cáscara como en la pulpa. La mayoría de las especies provienen del Jardín Botánico de Blanes, España.

En un estudio efectuado por Sepúlveda *et al.* (2003a) en diversas especies de *Opuntia* cultivadas en Chile, los autores corroboran esta gran variabilidad en la concentración de pigmentos.

La tuna contiene semillas en cantidad variable, generalmente en alta proporción (10 - 15g/100 g). Considerando que en la mayoría de los productos alimenticios que se

obtienen a partir de la tuna las semillas deben ser eliminadas y pasan a formar parte de los deshechos, varios investigadores se interesaron por su aprovechamiento. Es así como Sawaya y Khan (1982) y Sepúlveda y Sáenz (1988) analizaron el rendimiento y composición del aceite de las semillas de tunas cultivadas en Arabia Saudita y en Chile, respectivamente, encontrando que el alto grado de insaturación de sus ácidos grasos, su importante contenido en ácido linoleico y su bajo porcentaje de ácido linolénico que podrían afectar en forma adversa su estabilidad, le daban a la semilla características que la hacían una fuente potencial para la obtención de aceite comestible. Posteriormente, El Kossori *et al.* (1998) analizaron semillas de tunas cultivadas en Marruecos, destacando, además del aceite, el contenido de fibra (54,2 g/100 g), principalmente celulosa. Con anterioridad, Sawaya *et al.* (1983) estudiaron la posibilidad de utilizar las semillas para alimentación animal, manifestando que tendrían cierto potencial, aunque limitado por su alto contenido de fibra. Todos los autores hacen notar que esta alternativa de utilización de las semillas, solo sería de interés en un contexto de utilización integral de esta especie, debido fundamentalmente a su bajo rendimiento de aceite (6 a 17 por ciento), comparado con otras oleaginosas de uso común.

Los cladodios con su alto contenido en fibra son actualmente una fuente importante de la misma, la que se obtiene por secado y molienda de los mismos. Este polvo o harina se destina tanto para la industria de alimentos como para la industria de complementos alimenticios, ligada en cierto modo a la industria farmacéutica. Las tabletas y cápsulas de nopal se encuentran en el mercado mexicano desde hace años y se ofrecen como un modo de controlar la obesidad y la diabetes. En México se han efectuado, sobre todo en la década de 1980, numerosos estudios al respecto, tanto en *Opuntia ficus-indica* como en *O. streptacantha*. Uno de los trabajos publicados en relación con el control de la diabetes se refiere a una evaluación del consumo de cápsulas comerciales de cladodios de *Opuntia-ficus indica* deshidratados en pacientes con *Diabetes Mellitus* (Frati-Munari *et al.*, 1992); los resultados indican que las dosis recomendadas (30 cápsulas diarias) son impracticables para lograr un discreto efecto; varios estudios de estos y otros autores indican resultados variables dependiendo de las dosis, el modo de ingerir el producto y el tipo de *Opuntia* que se utiliza; aparentemente son superiores los resultados logrados con *Opuntia streptacantha*. Otros autores como Trejo-González *et al.* (1996) también confirman evidencias de la acción hipoglicémica de los cladodios de *Opuntia fulginosa*. Hasta el año 2005 no se dispone de estudios concluyentes sobre el mecanismo de acción de los cladodios.

En los últimos años varios autores han encontrado otros efectos fisiológicos, que sugieren nuevos productos farmacéuticos en base a extractos de cladodios y también de la cáscara de los frutos: es el caso de los trabajos efectuados por Galati *et al.* (2002) acerca del poder protector de la mucosa gástrica, mediante el cual se podrían

prevenir las úlceras gástricas. Así mismo la actividad antiinflamatoria de un extracto de cladodios ha sido estudiada por Loro *et al.* (1999) y la actividad antioxidante ha sido reseñada por Lee *et al.* (2002). Por su parte Ahamd *et al.* (1996) estudiaron las propiedades antivirales de un extracto de *Opuntia streptacantha*. Últimamente, un producto elaborado en Estados Unidos de América, calificado como un suplemento de la dieta, y elaborado a base de un extracto deshidratado de la piel de frutos de *Opuntia ficus-indica*, en forma de gelatina, podría actuar moderando los efectos posteriores de la ingestión de alcohol (Wiese *et al.*, 2004). Todos estos estudios abren nuevos horizontes para los nopales en un área que es de especial y sensible interés para la humanidad como es la medicina.

Otro componente al que se ya se ha hecho mención por su importancia fisiológica son los mucílagos. Estos compuestos, se presentan tanto en los cladodios como en la cáscara y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda (1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5 por ciento en la cáscara y 1,2 por ciento en los cladodios. Estos hidrocoloides pueden ser interesantes porque se pueden extraer de las pencas maduras dándoles mayor utilidad o de pencas provenientes de la poda de plantas que se cultivan para producción de fruta. Estos hidrocoloides podrían integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica. Su poder viscosante está siendo actualmente estudiado (Cárdenas *et al.*, 1997; Medina-Torres *et al.*, 2000; Goycoolea *et al.*, 2000; Medina-Torres *et al.*, 2003; Sepúlveda *et al.*, 2003b) con resultados interesantes, por lo que -si se mejoran los rendimientos de extracción- podría competir con gomas de gran uso como la goma garrofín, el guar u otros agentes espesantes. Una amplia revisión acerca de estos compuestos fue publicada recientemente por Sáenz (2004).

También se atribuyen a los mucílagos propiedades como reemplazantes de grasas en diversos alimentos y también como un ligante del sabor [(McCarthy, citado por Cárdenas *et al.*, 1997)].

Por su parte en Israel, [Rwashda, citado por Garti (1999)] ha estudiado la capacidad como agente emulsionante de la goma o mucílago de *Opuntia ficus-indica*. El autor encontró que esta goma: «(1) reduce la tensión superficial e interfacial; (2) estabiliza emulsiones del tipo aceite-agua; (3) forma gotas de aceite pequeñas; (4) absorbe hacia la interfase aceite-agua y no contribuye a la viscosidad de los sistemas; (5) los sistemas no flocculan». Espinosa (2002) estudió la adición de dispersiones de mucílago de nopal en distintas concentraciones (0,5 y 0,8 por ciento) a espumas elaboradas con clara de huevo, demostrando que la adición de mucílago en las dos concentraciones aumentaba la estabilidad con respecto a un control sin adición de mucílago de nopal, lo que se manifestaba en una menor sinéresis y un mayor volumen luego de 48 horas de reposo.

Esta clase de ingredientes utilizados con frecuencia por su capacidad para mejorar la textura también se emplean para estabilizar emulsiones, para controlar la cristalización, como estabilizadores de suspensiones, para inhibir la sinéresis y para crear películas comestibles; algunos de ellos tienen la capacidad de formar geles.

Hasta hace poco tiempo, se consideraba que las gomas o hidrocoloides, no contribuían al valor nutritivo de los alimentos, por consiguiente sus calorías no aumentaban y no impartían ningún sabor ni aroma a los productos a los que se adicionaban. Actualmente, mientras se considera que la fibra insoluble de los alimentos contribuye con cero calorías, se entiende que la fibra soluble contribuye al valor calórico de los alimentos, si bien en forma variable. Para los fines del etiquetado, se considera que la fibra soluble aporta 4 cal/g de alimento. Por consiguiente, la porción insoluble puede ser -pero no necesariamente- restada de los hidratos de carbono totales del alimento y los gramos restantes de hidrato de carbono ser multiplicados por cuatro. Por lo tanto, la adición de fibra insoluble a los alimentos es un modo de reducir el aporte energético de los alimentos (Nelson, 2001).

Sin perjuicio de lo señalado en cuanto a las posibilidades de utilización de los nopales para producir alimentos o aditivos naturales, y abundando en los beneficios de su aprovechamiento integral, se conocen desde hace siglos otros usos populares a los que actualmente se les está estudiando su base científica, como la utilización de las pencas en la clarificación de aguas (López, 2000), su adición a la cal como adherente de la pintura (Ramsey, 1999) o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua (Gardiner *et al.*, 1999).

Esta amplia posibilidad de utilización se ve además incrementada debido a que los nopales son especies que crecen en zonas áridas y semiáridas con bajos requerimientos agronómicos y que pueden ser de provecho a los habitantes de dichas zonas.

Capítulo 3

Operaciones de campo para la utilización de los nopales

PRODUCCIÓN

En este Capítulo se abordan aspectos de los trabajos de campo relacionados con las tunas y los nopalitos. Debido a que los temas relativos a producción, fertilización y plagas, entre otros, han sido tratados *in extenso* en el texto de FAO sobre Agroecología, Cultivo y Usos del Nopal, aquí se hace referencia a ellos sólo de modo somero.

La información a nivel mundial sobre plantaciones comerciales de nopales para producción de fruta es escasa. Aunque se cultiva con este fin en todos los continentes, no existen estadísticas disponibles de países en los cuales hay plantaciones especializadas (Inglese *et al.*, 2004).

Para el establecimiento del cultivo de la tuna, especialmente para la producción de fruta, es necesario, en algunos casos, verificar la adecuación del terreno en cuanto a la fertilización y la presencia de malezas. De ello dependerá si se debe limpiar y fertilizar antes de la plantación. Lo más importante, como señala Inglese (1999), es determinar si existe un buen drenaje o preparar el terreno para ello. En general, hay escasa preocupación por los niveles de los macroelementos en el suelo y solo existen algunas recomendaciones sobreestimadas, como señala el mismo autor.

La principal especie utilizada en el mundo para la obtención de fruta es *Opuntia ficus-indica*. Sin embargo en México se utilizan también con este propósito *O. streptacantha*, *O. lindhemeiri*, *O. amyclaea*, *O. megacantha* y *O. robusta* (Pimienta Barrios y Muñoz-Urías, 1999).

La forma y la distancia de plantación, dependen del hábito de crecimiento de la variedad y de la posibilidad de efectuar riego, aunque sea ocasional. Lo más común en la actualidad es la plantación en hileras sobre camellones dando posibilidad a la entrada de luz a la planta, facilitando también la cosecha y limpieza tanto de malezas, y para la práctica conocida como «scozzolatura», consistente en el raleo de flores y pencas (Sudzuki *et al.*, 1993; Inglese, 1999)

El material que se utiliza para la plantación puede ser asexual a partir de pencas enteras o sus trozos, como también por medio de la micropropagación. Las plantas obtenidas por micropropagación (*in vitro*) generalmente vienen enraizadas y requieren

Horst Berger

Centro de Estudios en Postcosecha

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Chile

Armida Rodríguez-Félix

Área de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Hermosillo, Sonora, México

Ljubica Galletti

Centro de Estudios en Postcosecha

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Chile

un suelo mejor preparado para su establecimiento en el terreno, especialmente respecto a la humedad (Sudzuki *et al.* 1993). Por ello la fecha de plantación depende de las condiciones agroclimáticas a fin de que la planta tenga un buen enraizamiento y brotación.

La mayoría de las plantaciones de nopales en el continente americano y en otros lugares del área mediterránea, se desarrollan con un escaso manejo cultural. Sin embargo, para la producción de fruta es necesario proporcionar una cierta cantidad de agua durante la época seca a fin de aumentar la producción y obtener tunas de calidad (Mulas y D'hallewin, 1997). Estos mismos autores informan que, sin riego, algunas variedades (*Gialla, Sarda y Bianca*) aumentan los azúcares reductores sin afectar los sólidos solubles totales.

En algunos países hay dos épocas bien diferenciadas de floración que dan origen a cosechas de verano y de invierno; en otros de verano y otoño o sólo de verano. El cultivo también puede ser manejado de tal forma que la cosecha se distribuya en un período más largo.

Hay que destacar que la fruta obtenida de la cosecha de verano presenta un mayor número de semillas y cuando existe un riego adicional, estas son de mayor tamaño (Mulas y D'hallewin, 1997). Estos antecedentes se remontan a 1990, donde se recomiendan riegos y raleos de pencas para incrementar y, principalmente, regularizar la producción (Sudzuki *et al.*, 1993).

En cultivos más tecnificados y con la finalidad de obtener fruta, se está utilizando riego por goteo, más aún si es necesario realizar múltiples riegos al año como ocurre en Israel (Inglese *et al.*, 2004).

Las enfermedades del cultivo, se pueden clasificar en infectivas o bióticas y no infectivas o abióticas. Las primeras son causadas por patógenos como bacterias, hongos, fitoplasmas y virus, muchos de los cuales son patógenos desconocidos. Las segundas corresponden generalmente a daños del medio, atmosféricos o del suelo, a anomalías genéticas o causadas por el uso incorrecto de pesticidas. Una descripción detallada se encuentra en investigaciones realizadas por Granata y Sidote (2002).

Respecto a la producción de nopalitos, en México -que es prácticamente el único país en que se producen- casi toda la producción se comercializa en fresco en el mercado nacional; por ello, en la época de mayor producción la oferta supera a la demanda, con la consecuente saturación del mercado, ocasionando en algunos ciclos pérdidas hasta del 60 por ciento de la producción. Actualmente, el consumo *per capita* estimado en México es de 5,78 kg/año (SAGARPA, 2003) ya que forman parte de la dieta habitual de sus habitantes, siendo utilizados como ingredientes en una gran variedad de comidas, incluyendo cremas, sopas, ensaladas, guisos, salsas, bebidas y postres (Vigueras y Portillo, 1995), buscándose además sus efectos benéficos para la salud (Hegwood, 1990; Domínguez, 1995; Stintzing *et al.*, 2001).

En los Estados Unidos de América son considerados una verdura especial (Cantwell, 1999), y son consumidos principalmente por la población hispana como verdura cocida en la época de cuaresma y como una hortaliza marinada durante el resto del año (Russell y Felker, 1987). Sin embargo, su consumo y formas de preparación se han incrementado y pueden adquirirse durante todo el año en tiendas de comestibles, en mercados étnicos (McConn y Nakata, 2004) y en supermercados.

El nopal verdura como producto fresco, es un tejido vivo y está sujeto a cambios continuos entre el momento de la cosecha y su consumo. Estos cambios afectan su calidad y reducen su vida poscosecha, causando pérdidas considerables. En este capítulo se discuten algunos aspectos sobre la producción, fisiología, manejo poscosecha y calidad de los nopalitos.

De acuerdo a lo que señala Flores-Valdez (1999), en México se utilizan tres sistemas para la producción de nopal verdura: nopaleras silvestres, nopaleras en huertos familiares y plantaciones comerciales. Las nopaleras silvestres ocupan una superficie

de tres millones de hectáreas con diferentes especies, entre ellas: *Opuntia robusta*, *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. hyptiacantha* y *O. chavena* (Pimienta-Barrios, 1993). Las pencas tiernas se recolectan en primavera-verano y se destinan a consumo doméstico a excepción de *O. robusta* y *O. leucotricha*, cuyas pencas se comercializan frescas o procesadas. Se desconoce el área destinada al cultivo de nopal verdura en huertos familiares, cuya producción es para autoconsumo y comercialización en mercados regionales.

Las plantaciones comerciales de nopal verdura cubren, en México, una superficie de 9 710 hectáreas, con una producción de 563 443 ton/año, ocupando el sexto lugar en volumen de producción de hortalizas y el octavo lugar en valor de la producción después del tomate rojo, chile verde, papa, cebolla, tomate de cáscara o tomate verde, calabacita y espárrago. Las áreas de producción se localizan en 25 estados de la República, siendo Milpa Alta, D.F., la zona productora más importante del país con el 60 por ciento de la producción (SAGARPA, 2003).

En México, *Opuntia ficus-indica* es la especie cultivada de mayor importancia comercial para la producción de nopalito (Pimienta-Barrios, 1993) y en los Estados Unidos de América es *Nopalea cochenillifera* (Mick, 1991) (= *Opuntia cochenillifera*). Entre las variedades de *Opuntia* cultivadas comercialmente se encuentran *Milpa Alta*, *COPENA V-1*, *COPENA F-1*, *Atlixco* (Flores *et al.*, 1995), *Jalpa*, *Esmeralda* y *Blanco de Valtierra*.

Las plantaciones comerciales utilizan dos sistemas de producción: el sistema tradicional y el sistema de microtúneles o sistema intensivo. El sistema tradicional tiene densidades de plantación de 15 000 a 40 000 plantas por hectárea, plantando las pencas maduras (de 2 a 3 años de edad) en hileras a una distancia de 30 a 40 cm entre plantas y de 80 a 100 cm entre hileras. La altura de las plantas es de 1,0 a 1,5 m.

El sistema de microtúneles emplea densidades de plantación de 120 000 a 160 000 plantas por hectárea, utilizando camas de 1,2 a 2 m de ancho y de 40 a 47 m de largo, con una separación de 1 a 1,5 m entre camas. Las pencas se plantan a 20 cm entre ellas y 20 a 30 cm entre hileras. En los meses de invierno, con el fin de disminuir el riesgo de daños por heladas, las camas se cubren con plástico. Este sistema permite altos rendimientos y producción durante los meses más fríos del año, cuando la producción proveniente del sistema tradicional es escasa (Flores-Valdez, 1999; Pimienta-Barrios, 1993).

La producción se inicia rápidamente y la primera cosecha se efectúa a los dos o tres meses después de la plantación. Los rendimientos en el sistema tradicional varían de 30 a 80 ton/ha (Pimienta-Barrios, 1993), mientras que en el sistema intensivo, se han registrado de 179 a 263 ton/ha con los cv. *COPENA F1* y *COPENA V1*, respectivamente (Blanco-Macías *et al.*, 2002).

En el sistema tradicional los cultivos se fertilizan con grandes cantidades de estiércol bovino (más de 100 ton/ha) cada dos o tres años; en algunos casos se utilizan fertilizantes minerales como urea o sulfato de amonio. En el sistema intensivo, la aplicación de estiércol bovino, nitrógeno y fósforo se efectúa anualmente, en cantidades de 100 a 200 ton/ha, 100 a 200 kg/ha y 80 a 100 kg/ha, respectivamente (Flores-Valdez, 1999; Pimienta-Barrios, 1993). En el cultivo de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* cv. *C-69* bajo condiciones de riego por goteo, se recomiendan dosis de 161-60,7-91,4 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (Orona-Castillo *et al.*, 2004).

La mayoría de las plantaciones comerciales se ubican en regiones donde la precipitación pluvial durante el verano es de 600 a 800 mm, por lo que se aplica riego solo en primavera y en pequeños volúmenes tres o cuatro veces al año (Pimienta-Barrios, 1993). Sin embargo, debido al incremento en el cultivo de esta hortaliza, existen regiones que requieren riego. En los sistemas intensivos, la aplicación de 100 mm de riego por mes, durante la temporada seca (primavera), incrementa la producción del 10 al 25 por ciento (Flores-Valdez, 1999). La aplicación de riego por goteo, incluyendo la irrigación para el establecimiento de la planta mostró rendimientos de 108 ton/ha/



(a)



(b)

Lámina 3

(a) Plantación comercial de nopalitos

México, 2003.

(b) Tunas

Chile, 2000

año en *Opuntia ficus-indica* C-69 y de 65 ton/ha/año en *O. amyclaea* C-8 (Flores-Hernández *et al.*, 2004) (Lámina 4).

En México las enfermedades más importantes de este cultivo son las denominadas «engrosamiento del cladodio» y «proliferación de brotes», las cuales son causadas por un micoplasma y un espiroplasma, respectivamente. Entre las plagas más importantes se encuentran el gusano cebrá (*Olycella nephelasa* Dyar), el gusano blanco (*Lanifera cycladea* Druce) e insectos que causan daño en las areólas como el *Cylindrocopturus biradiatus* Champs y el amarillamiento del tejido por la cochinilla (*Dactylopius* spp.) (Pimienta-Barrios, 1993).

Cosecha

En Italia la planta florece una vez al año a diferencia de Chile, Estados Unidos de América e Israel, países en que florece dos veces. La época de cosecha es un factor importante a considerar.

En Italia se fuerza una segunda floración con el raleo de flores y pencas, como se señaló anteriormente (Inglese, 1999). Existen diferentes épocas de cosecha de acuerdo a la variedad, a las condiciones agroclimáticas y al manejo forzado de la floración (*scozzolatura*). En tunas cv. *Gialla* cosechadas en dos épocas del año, verano y otoño, Schirra *et al.* (1999) no observaron diferencias en sólidos solubles, acidez titulable y pH. El ácido ascórbico fue mayor en tunas de verano y el peso en las de otoño.

La cosecha de la tuna se inicia una vez que la fruta cumple con el tamaño acorde a la variedad y los sólidos solubles se encuentran a más de 12 °Brix. Para iniciar la cosecha es conveniente que la temperatura sea lo más baja posible, es decir temprano en la mañana, a fin de evitar el vuelo de las espinas y para que los frutos estén con baja temperatura lo cual reduce la deshidratación y los riesgos de infestaciones.

Es importante aclarar que indistintamente se hacen referencias a espinas y gloquidios; lo correcto es denominar espinas, sólo a las hojas modificadas en espinas de mayor tamaño en tanto que los gloquidios son más pequeños y se encuentran agrupados en racimos.

Para la cosecha se procede de diversas maneras; la más común es tomando el fruto con guantes haciendo presión para desprenderlo con una suave torsión; otra forma es

utilizar tijeras o cuchillos. En todos los casos hay que tener la precaución de no dañar la fruta ni la penca; incluso se han realizado pruebas cortando con cuchillos y dejando un trozo de penca en el fruto, el que posteriormente se desprende en forma natural. Este último sistema conlleva problemas posteriores de manejo de las pencas en la planta y también en la poscosecha para la eliminación de esos trozos. Existen distintas investigaciones que se inclinan por uno u otro método (Cantwell, 1999; Ochoa *et al.*, 1997; Martínez Soto *et al.*, 1999).

Las tunas se recogen en baldes o bandejas y se curan al sol para que se sequen las heridas y se suelten las espinas. Este último proceso puede ser hecho en el campo sobre camas de paja cubiertas con una malla de plástico tipo «*raschel*»; una vez que se secan, en el mismo día si hay sol, se procede al desespinado utilizando escobas de ramas largas y suaves.

La fruta, una vez desespinaada debe embalsarse a la brevedad posible y llevarse a un lugar fresco o refrigerado para un almacenaje más prolongado, evitando la deshidratación y el inicio de un posible desarrollo de hongos.

En cosechas masivas es común el desespinado con maquinaria que en algunos casos da lugar a una menor duración de la fruta (Sudzuki *et al.*, 1993). Algunos ejemplos de maquinarias se ilustran en el Capítulo 6.

Con relación al nopalito, la cosecha se realiza manualmente, utilizando un cuchillo y cortando la base de la penca (Cantwell, 1999). Se recomienda realizar esta operación de dos a tres horas después de la salida del sol con el fin de evitar un contenido alto de acidez, así como efectuarla de una forma cuidadosa, para evitar daños en la base del nopalito que pueden ser vías de entrada de microorganismos e incrementar la pérdida de peso durante el manejo posterior (Lámina 4).

Lámina 4
Cosecha de nopalitos,
México, 2005.



Generalmente, la cosecha de nopalitos para ser comercializados se inicia cuando alcanzan una longitud de 20-25 cm y pesan de 90 a 100 g (Cantwell, 1999; Pimienta-Barrios, 1993), aunque la norma de calidad CODEX STAN 185-1993, considera como tamaños comerciales las pencas con una longitud entre 9 y 30 cm (FAO-WHO, 1993). Los cladodios pequeños (12 cm) o grandes (cerca de 30 cm) se destinan a la elaboración de nopal mínimamente procesado (Rodríguez-Félix, 2002). Las pencas de *Nopalea cochenillifera* cv. 1308 se pueden cosechar cuando alcanzan un tamaño de 11 a 13 cm de longitud y pesan cerca de 40 g (Nerd *et al.*, 1997).

La cosecha se realiza durante todo el año aunque la productividad es mayor durante la primavera y se reduce a mediados del otoño y durante el invierno. Sin embargo, en los sistemas de producción intensiva que utilizan microtúneles, la productividad es alta durante los meses más fríos del año (Pimienta-Barrios, 1993).

MANEJO DE POSCOSECHA

La tuna es un fruto no climatérico que a 20 °C presenta una baja producción de etileno (0,2 nl/g/h), una baja tasa respiratoria (20 µl CO₂/g/h) y no es sensible al etileno (Cantwell, 1999).

En México la cosecha se realiza durante todo el año aunque la productividad es mayor durante la primavera y se reduce a mediados de otoño y en el invierno. Sin embargo, en los sistemas de producción intensiva que utilizan microtúneles, la productividad es alta durante los meses más fríos del año (Pimienta-Barrios, 1993).

Los primeros estudios realizados sobre conservación de frutos de tuna revelan que los principales problemas de poscosecha lo constituyen las pudriciones y la deshidratación (Berger *et al.*, 1978). Las técnicas usadas para reducir las pudriciones y pérdidas de peso incluyen la aplicación de fungicidas y ceras y envoltorios plásticos. Actualmente la termoterapia y el uso de ceras naturales y películas plásticas comestibles vuelven a tomar cada vez mayor importancia.

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso de la termoterapia para controlar pudriciones en poscosecha (Fallik, 2004; Lurie, 1998a; Schirra *et al.*, 1996). En respuesta a la demanda de los consumidores, la comunidad científica ha hecho últimamente, grandes esfuerzos por desarrollar o mejorar métodos físicos y tratamientos «seguros» que incrementen la vida de almacenamiento de los productos hortofrutícolas y que substituyan a los fungicidas (Fallik, 2004; Lurie, 1998a; Schirra *et al.*, 2000). Este tipo de tratamientos puede representar una alternativa viable al uso de fungicidas, ya que se ha demostrado que reducen la susceptibilidad a patógenos, incrementan la resistencia de la fruta al daño por frío y retardan el deterioro en poscosecha (Couey, 1989; Klein y Lurie, 1992; Lurie, 1998a; Lurie, 1998b; Paull y Chen, 2000; Schirra *et al.*, 2000; Wang, 1993).

La inmersión en agua caliente por corto tiempo se puede usar en ciertos frutos para reducir la carga microbiana sin dañar la fruta (Shewfelt, 1986). Los tratamientos de inmersión en agua caliente son efectivos para el control de varios patógenos debido a que las esporas e infecciones latentes están en su mayoría en la superficie o en las primeras capas superficiales de células de frutas u hortalizas. Estos tipos de tratamientos se aplican generalmente por pocos minutos, ya que sólo la zona superficial del producto requiere calentamiento. Muchos productos vegetales toleran exposición a temperaturas del agua de 50-60 °C por más de 10 minutos; basta una corta exposición a estas temperaturas para controlar muchos fitopatógenos que se pueden desarrollar en la etapa de poscosecha (Lurie, 1998).

En Italia, los tratamientos térmicos de prealmacenamiento, ya sea por inmersión de las tunas en agua caliente a 55 °C durante 5 minutos o con aire caliente a 38 °C durante 24 horas en ambiente saturado de humedad, mostraron la posibilidad de extender la vida de almacenamiento de tunas cv *Giulla* por lo menos a 4-6 semanas, sin necesidad de tratamientos químicos, dando así la posibilidad de tener un fruto de tuna de buena

calidad en un período en que la oferta en el mercado europeo es muy reducida (Schirra *et al.*, 1996; Schirra *et al.*, 1997a; Schirra *et al.*, 1997b).

En Chile, tratamientos de inmersión en agua caliente en combinación con fungicidas se realizaron en la década de 1970, disminuyendo la incidencia de pudriciones; sin embargo, fueron discontinuados por la falta de registros de los fungicidas para su uso en tunas (Berger *et al.*, 1978). En los últimos años, se han retomado estos estudios utilizando sólo agua caliente sin causar efectos perjudiciales sobre la firmeza, apariencia externa o aceptabilidad de tunas verdes y rojas. Los beneficios conferidos por el tratamiento de inmersión en agua a 55 °C durante dos minutos, permiten prolongar la vida de poscosecha, manteniendo la buena calidad de la fruta durante un mes (Berger *et al.*, 2002; Berger y Galletti, 2002).

D' hallewin *et al.* (1999) estudiaron el efecto del calor en la cera epicuticular de tunas cv *Giabella* y observaron al microscopio que los tratamientos térmicos con aire caliente (37 °C durante 12, 24, 48 o 72 horas) así como agua caliente (52 °C durante 3 minutos), producen un sellado de las heridas y fisuras que se presentan normalmente en fruta no tratada con estos medios, dejando una superficie relativamente homogénea como resultado de la fusión de capas de cera. Este cambio en la superficie de la tuna es favorable y la protegería del ataque de hongos.

El uso de ceras en frutos de *Opuntia* disminuye en forma considerable la pérdida de agua (Cantwell, 1999). En una investigación realizada por Berger y Galletti (datos no publicados) con uso de cera y películas plásticas, el tratamiento que logró mejores resultados generales fue la inmersión en agua caliente y luego el encerado, obteniéndose fruta de buen aspecto y turgente, disminuyendo la incidencia de pudriciones y daño por espinas. Resultados similares obtuvieron Ochoa *et al.* (1997) en Argentina, al aplicar cera a tunas variedad *Amarilla sin espinas*.

Al combinar un tratamiento térmico con un encerado, no se apreció visualmente la pérdida de peso; sin embargo, se intensificó el color y el brillo, mejorando la apariencia general externa (Berger *et al.*, 2002).

Se ha observado que la utilización de películas plásticas para el empaque de tunas, permiten una menor deshidratación (1,5 por ciento *vs.* 3,7 por ciento) y daño por frío (0,3 *vs.* 0,9) así como también una mejor apariencia con respecto a un testigo (Piga *et al.*, 1996). En tuna *Burrona*, Garcia-Vite *et al.* (2003), también obtuvieron menor deshidratación al utilizar películas plásticas.

Las aplicaciones de cloruro de calcio (CaCl_2) en la etapa de precosecha, orientadas a disminuir pudriciones, tuvieron un efecto negativo ya que promovieron el desarrollo de daño por frío, especialmente cuando se combinaba con tratamiento de agua caliente en poscosecha. Schirra *et al.* (1997a) trabajando con tunas con tratamiento precosecha de CaCl_2 , determinaron que no afectaba significativamente el desarrollo de daño por frío durante 42 días de almacenamiento a 6 °C, pero aumentaba la susceptibilidad durante el período de comercialización simulada; este efecto es más pronunciado cuando el tratamiento con CaCl_2 se combina con un tratamiento térmico prealmacenamiento con aire caliente.

En estudios posteriores, Schirra *et al.* (1999) observaron que las aplicaciones de CaCl_2 promovieron el desarrollo de daño por frío en tunas de verano; el daño estuvo directamente relacionado con el número de aplicaciones. En tunas de otoño se presentó daño por frío en el período de comercialización simulado, sólo al aplicar cuatro veces el tratamiento durante el desarrollo del fruto.

Con relación a los nopalitos, la velocidad de deterioro después de cosechados, sigue lo señalado por Kader (1992) quien indica que es proporcional a la tasa de respiración y dependiente de la temperatura. La tasa de respiración de los nopalitos varía dependiendo del tamaño de la penca, siendo menor en los cladodios más grandes. La tasa promedio en un período de siete días para cladodios de 10 cm de longitud es de 16 a 19, 38 a 42, 52 a 59 y 68 a 79 mg/kg/h a 5, 10, 15 y a 20 °C, respectivamente. Estos

valores disminuyen al avanzar el crecimiento de la penca, presentando valores 50 por ciento menores en cladodios de 20 cm (Cantwell, 2004).

Los nopalitos, presentan una producción de etileno muy baja, 0,05, 0,1 y 0,22 nl/g/h a 5, 10 y 20 °C, respectivamente. Estos valores son comparables a los del espárrago, la coliflor y las hortalizas de hoja (Cantwell *et al.*, 1992; Cantwell, 2004). El nopal no es muy sensible a la acción del etileno. Sin embargo, la exposición a este gas a temperaturas elevadas promueve la degradación del color verde y, como consecuencia, el amarillamiento del producto (Cantwell, 2004).

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Almacenar la fruta a baja temperatura es un método muy efectivo para reducir la pérdida de agua [(Cantwell, 1991, citado por Cantwell, (1999)]. Sin refrigeración, los frutos de tuna senescen rápidamente y comienzan a ser susceptibles a infecciones de microorganismos, especialmente *Penicillium* spp. y *Alternaria* spp.

La tuna es sensible al daño por frío y la temperatura que soporta está relacionada con la variedad, la época de cosecha y las temperaturas ambientales durante el período de crecimiento. La sintomatología descrita para el daño por frío es de manchas superficiales de color pardo rojizo que en Chile se suelen atribuir más al daño por espinas que al frío (Lámina 5).

En un estudio realizado en Chile por Berger *et al.* (1978), se indica que la fruta puede almacenarse en frío, por un período máximo de dos meses, a temperatura de 0 a 0,5 °C y humedad relativa de 85 a 90 por ciento, mientras que en Italia, Chessa y Barbera (1984), determinaron que la temperatura de conservación debería estar entre 6 y 9 °C, ya que a temperaturas inferiores se producía daño por frío y se incrementaban las pudriciones.

En Italia, el daño por frío en tunas cv *Gialla*, cosechadas en dos épocas del año (verano y otoño), y conservadas a 6 °C, fue mayor en la fruta cosechada en verano, con respecto a la de otoño. La pérdida de peso en tunas de verano fue 0,15 por ciento y 0,27 por ciento por día durante el almacenamiento y comercialización simulada, respectivamente, mientras que en la de otoño fue 0,08 por ciento y 0,23 por ciento, respectivamente (Schirra *et al.*, 1999).

Martínez-Soto *et al.* (1999) determinaron en tunas cv *Roja pelona* que la temperatura de conservación óptima es de 10 °C, lo que permite conservar la fruta durante 60 días.

Existen escasas investigaciones sobre almacenamiento de tunas en atmósfera controlada. En Chile, Galletti *et al.* (1997), utilizando dos por ciento de O₂ y cinco por ciento de CO₂ a 0 °C, lograron la menor incidencia de pudriciones hasta los 21 días y la mantención de las características organolépticas durante 42 días. En Italia, con condiciones similares de concentraciones de O₂ y CO₂ a 5 °C, se obtuvo una mejor conservación de la calidad con respecto a las conservadas en atmósfera normal (Kader, 2000).

Tanto para la conservación, como para la comercialización de la tuna, se utilizan cajas de cartón cuyo peso neto generalmente es de 5 kg; la fruta se dispone en forma tal que cada unidad queda separada de las otras ya sea anidada en papel, sobre una bandeja alveolada o separada por cintas de cartulina (Lámina 6). Sin embargo, para la cosecha en el campo y el traslado a mercados internos se suelen utilizar cajas de madera (Lámina 7).

Al igual que para los nopalitos, para la tuna se dispone de normas en el *Codex Alimentarius*



Lámina 5
Daño por frío en tuna cv. *Bianca*
Italia, 2005.

(CODEX STAN 186-1993), en las que se describen las disposiciones relativas a calidad, presentación, envases e higiene.

Con relación a los nopalitos, el oscurecimiento es un problema similar al que ocurre en la mayoría de las frutas y hortalizas que son dañadas mecánicamente durante el transporte o al ser cortadas. Generalmente, esta reacción causada por la enzima polifenoloxidasas (PPO) es considerada altamente indeseable. Esta enzima se reconoce como la más dañina con respecto a los cambios de color de alimentos de origen vegetal, ocasionando mermas de hasta el 50 por ciento en frutas tropicales y grandes pérdidas económicas en la mayoría de las frutas y hortalizas. El oscurecimiento afecta la apariencia, y puede ocasionar malos olores y reducción del valor nutritivo de los productos hortícolas (Vamos-Vigyazo, 1981; Whitaker y Lee, 1995).

Existen diferencias en el grado de oscurecimiento entre variedades de frutas y hortalizas debido a variaciones en el contenido y tipo de compuestos fenólicos y a diferencias en la actividad de PPO (Vamos-Vigyazo, 1981; Whitaker y Lee, 1995). En nopalitos, se han observado diferencias en la susceptibilidad al oscurecimiento y en la actividad específica de PPO entre variedades, observándose los valores mayores en el cultivar *COPENA F-1* y los menores en *Atlixco* (Rodríguez-Félix, datos no publicados).

El contenido de compuestos fenólicos totales en nopal cambia de acuerdo a la variedad y al estado de desarrollo de las pencas. Los nopalitos (*Opuntia ficus-indica*) de tamaño comercial (aprox. 20 cm) de las selecciones *COPENA F-1* y *V-1*, tienen un contenido promedio de 9,19 y 7,93 mg/100 g, respectivamente (Rodríguez-Félix, 1986).

Los nopalitos frescos de buena calidad son delgados, turgentes y de un color verde brillante. La presencia de espinas o gloquidios es notable en las primeras etapas de crecimiento en ciertas especies de *Opuntia* (Cantwell, 1999). Sin embargo, las pencas de *Nopalea cochenillifera* variedad 1308, son casi libres de espinas y gloquidios (Nerd *et al.*, 1997). La presencia de hojas verdes en la penca es un indicador de frescura. El engrosamiento de la cutícula y de la penca, son características indeseables de calidad. Existen diferencias en las características físicas de diferentes variedades, las cuales se reflejan en el peso y la longitud de los cladodios (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

Las características de calidad del nopal requeridas por la Norma de Calidad del *Codex Alimentarius* (CODEX STAN 185-1993), son las siguientes: deben presentar las características de la especie (forma, color), estar enteros, firmes, sanos, limpios y libres de espinas y de daños. Los grados de calidad incluidos en esta norma son: Clase Extra, Clase I y Clase II. El criterio utilizado para separar a los nopalitos en los distintos grados de calidad es en base a su apariencia, principalmente la presencia de defectos en forma y color y de daño mecánico. La clasificación se basa en el tamaño (longitud) del nopalito, estableciendo cinco categorías. Estas incluyen cladodios desde 9 cm hasta 30 cm de longitud (FAO-WHO, 1993).

En la comercialización del nopal verdura, especialmente para los mercados internacionales, al igual que en otras frutas y verduras, es importante la aplicación de estándares de calidad uniformes con el fin de hacerlo competitivo con otras hortalizas de mayor consumo (Caplan, 1995).



H. BERGER



Láminas 6-7
Tunas acondicionadas de distintas formas
Chile, 2003.

La vida de anaquel del nopalito se ve afectada por diferentes factores, entre los que se encuentran la forma de cosecha, el tipo de envase, la temperatura y humedad relativa de almacenamiento (Cantwell *et al.*, 1992; Nerd *et al.*, 1997; Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). La pérdida de peso (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997) y las pudriciones (Ramayo *et al.*, 1978), son los problemas que limitan su vida de anaquel durante el almacenamiento en condiciones simuladas de mercadeo (20 °C) mientras que los daños por frío son los principales problemas durante el almacenamiento refrigerado (10 ° a 12 °C o temperaturas inferiores) (Cantwell *et al.*, 1992; Nerd *et al.*, 1997).

Los cladodios con daño en la base causado por una cosecha inadecuada, deben comercializarse en un tiempo corto y no deben almacenarse o enviarse a mercados distantes ya que pueden sufrir hasta un 53 por ciento de pérdidas por pudriciones causadas por *Penicillium* spp, *Aspergillus* spp y *Alternaria* spp, en el almacenamiento durante 10 días a 15,6-21,1 °C (50-60 por ciento HR) (Ramayo *et al.*, 1978). La vida de anaquel de los nopalitos (*Opuntia* sp.) cosechados adecuadamente es de una semana a 20 °C (65-70 por ciento HR) (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). Los nopalitos de *Nopalea cochenillifera*, pueden mantener su calidad durante 12 días a 20 °C (85 por ciento HR) (Nerd *et al.*, 1997).

El almacenamiento refrigerado reduce la velocidad de respiración, la pérdida de agua por transpiración, el crecimiento de microorganismos y prolonga la vida poscosecha de los productos hortícolas (Mitchell, 1992). Los cladodios de *Opuntia* sp. envasados en bolsas de polietileno no selladas mantienen su calidad visual por dos semanas a 10 °C (90-95 por ciento HR) (Cantwell *et al.*, 1992) y los de *Nopalea cochenillifera* envasados individualmente en películas de PVC mantienen su calidad por tres semanas a 12 °C (Nerd *et al.*, 1997). Sin embargo, temperaturas inferiores a 12 °C ocasionan daños por frío en los nopalitos, los cuales se manifiestan como oscurecimiento o manchado de la cáscara y ablandamiento del producto (Ramayo *et al.*, 1978; Nerd *et al.*, 1997). La incidencia del daño por frío es mayor a menor temperatura, presentándose después de tres semanas a 10 °C (80-90 por ciento HR) y de dos semanas a 5 °C (85-90 por ciento HR) en cladodios de *Opuntia* sp. envasados en cajas de madera (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa 1997).

Algunas técnicas poscosecha que han mostrado reducir los daños por frío en productos hortícolas son el acondicionamiento de temperatura, el calentamiento intermitente, las atmósferas modificadas y controladas, los tratamientos químicos y la aplicación de reguladores de crecimiento. La reducción del daño por frío mediante el empleo de estas técnicas se atribuye a un incremento en la tolerancia del producto a las bajas temperaturas o al retraso en el desarrollo del deterioro (Wang, 1994).

El envasado en películas plásticas reduce los síntomas de daño por frío de los nopalitos. Resultados obtenidos por Cantwell *et al.* (1992), mostraron que los cladodios de *Opuntia* sp. envasados en bolsas de polietileno presentaron aparición de síntomas de daños después de tres semanas a 5 °C (90-95 por ciento HR), mientras que en los envasados en cajas de madera después de dos semanas a 5 °C (85-90 por ciento HR) (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). Los nopalitos de *Nopalea cochenillifera* son más susceptibles a los daños por frío que los de *Opuntia* spp., ya que los síntomas de daños se presentan en esta especie después de siete días a 4 °C en nopalitos no cubiertos con plástico. Sin embargo, el envasado en bolsas de polietileno retrasa la aparición de los síntomas hasta los 11 días de almacenamiento (Nerd *et al.*, 1997). Adicionalmente, Guevara *et al.* (2001), mostraron que el almacenamiento de cladodios de *Opuntia ficus-indica*, variedad *Milpa Alta*, en atmósferas modificadas pasivas (hasta 8,6 por ciento de O₂ y hasta 6,9 por ciento de CO₂) prolongó la vida de almacenamiento y mantuvo la calidad por 30 días a 5 °C, disminuyendo la pérdida de peso y de firmeza y los cambios en color. Estos beneficios se deben a la modificación atmosférica y no al incremento en la humedad relativa dentro del envase. Posteriormente, Guevara *et al.* (2003), concluyeron que la vida de almacenamiento del nopal verdura puede extenderse

hasta por 32 días a 5 °C mediante el empleo de atmósferas modificadas pasivas o semiactivas con una concentración inicial de CO₂ del 20 por ciento, estableciendo este valor como el límite de tolerancia del producto a este gas.

La acidez de los nopalitos de *Opuntia* spp. y de *Nopalea cochenillifera*, cambia durante el almacenamiento y estos cambios están influenciados por la temperatura y el envasado. Durante el almacenamiento a baja temperatura, el contenido de acidez se mantiene o se incrementa. En cambio, durante el almacenamiento a temperaturas superiores (20 °C), la acidez disminuye (Cantwell *et al.*, 1992; Nerd *et al.*, 1997). De acuerdo a estos autores, estos resultados coinciden con estudios fisiológicos realizados en otras plantas CAM, que muestran que los ácidos orgánicos son los principales substratos de la respiración de estos tejidos al ser mantenidos a altas temperaturas (Szarek y Ting, 1974) y que las bajas temperaturas favorecen la carboxilación a malato mientras que las altas temperaturas favorecen la descarboxilación de malato (Brandon, 1967).

La temperatura de almacenamiento también afecta el contenido de vitamina C de los nopalitos. Las bajas temperaturas (5 °C y 10 °C), retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997).

Respecto a la comercialización y transporte, en Milpa Alta, la principal región productora en México, (Lámina 8) los nopalitos cosechados se colocan en canastos para el consumo local, o se acomodan en empaques cilíndricos, denominados pacas, de 1 m de diámetro y 1,7 m de altura que contienen aproximadamente 3 000 pencas y pesan de 250 a 300 kg. Las pacas se transportan en camiones a los mercados mayoristas de la ciudad de México, donde se almacenan a temperatura ambiente hasta su venta. Esta se realiza durante los primeros tres días después de la cosecha. Para mercados distantes de las zonas de producción, se empacan en cajas de madera de 20 kg o en cajas de cartón de 5 a 10 kg y se transportan en camiones enfriados a 10 °C (Cantwell, 1999; Flores *et al.*, 1995). Los nopalitos envasados en cajas de cartón o de madera a menudo presentan heridas ocasionadas por las espinas, las cuales se oscurecen (Cantwell, 1999).



A. RODRIGUEZ-FELIX



Lámina 8
Transporte de nopalitos y tunas
México, 2005 y 2004.

Capítulo 4

Utilización de los frutos del nopal en productos alimenticios

SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

Gran parte de las frutas y hortalizas son estacionales y perecederas como en el caso de la tuna; los nopalitos, aunque no son estacionales, como materia prima fresca con alto contenido de agua son también perecederos. Para disponer de ellos durante un tiempo más prolongado, es imprescindible someterlos, al igual que los frutos de los nopales a tecnologías de conservación que eviten su deterioro.

Este deterioro que sufren las materias primas vegetales, se produce por varias causas, a saber: por cambios enzimáticos, que muchas veces afectan la textura, por cambios químicos, que afectan características sensoriales como color, aroma y sabor, por cambios que conllevan una pérdida del valor nutritivo, por cambios físicos como la deshidratación. Sin duda los cambios más dañinos son los cambios biológicos, ya sea microbiológicos, por ataques de bacterias u hongos o debidos a ataques de insectos o roedores, ya que comprometen la inocuidad de los alimentos y como consecuencia estos se transforman en un peligro para la salud de los consumidores.

Para evitar este deterioro existen un sinnúmero de tecnologías que se encuentran disponibles para ser aplicadas también a la tuna y a los nopalitos; algunas de ellas son conocidas y utilizadas desde hace mucho tiempo y otras desarrolladas solo a nivel experimental de planta piloto o laboratorio tienen expectativas promisorias de aplicación industrial.

Entre los sistemas de conservación que se pueden aplicar a los nopales se encuentran tecnologías que se basan en métodos físicos, químicos o bioquímicos. Entre los métodos físicos se encuentran aquellos que utilizan la transferencia de calor como medio de preservación, por ejemplo la esterilización comercial (enlatado), el congelado, la deshidratación y la concentración; estos tres últimos métodos están basados en la reducción de la actividad del agua (a_w). Además existen los sistemas de irradiación y otros de desarrollo reciente, como la aplicación de altas presiones y los pulsos eléctricos. Entre los métodos químicos, se encuentran el salado, la adición de azúcares, la acidificación y el uso de conservadores químicos. Por último, entre los métodos bioquímicos, las fermentaciones, ya sean lácticas o alcohólicas.

El microorganismo que limita las condiciones de seguridad en un alimento envasado en un recipiente hermético es el *Clostridium botulinum*, una bacteria anaerobia, que esporula y produce una toxina de alto poder letal, la botulina; es controlada por el pH ya que la bacteria no se desarrolla a $\text{pH} < 4,5$. Los procesos de esterilización se diseñan para que, como mínimo, sean capaces de destruir este microorganismo.

Carmen Sáenz

*Depto. de Agroindustria y Enología
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
Chile*

CUADRO 12
Clasificación de alimentos y pH

Clasificación	pH	Ejemplos
Poco ácidos	$\geq 4,5$	Arvejas, poroto verde, tuna, nopalitos
Ácidos	4,0–4,4	Tomates, piña, pera
Muy ácidos	$\leq 4,0$	Limón, naranja

Fuente: modificado por los autores en base a Cheftel *et al.* (1983).

En el Cuadro 12, se observa la clasificación de alimentos de acuerdo a su pH.

En general, para los alimentos con $\text{pH} < 4,0$, basta un calentamiento moderado; por el contrario, los alimentos de $\text{pH} > 4,5$ requieren tratamientos más severos que aseguren la destrucción del *Clostridium botulinum*.

Otro proceso de conservación utilizado desde tiempos remotos es la deshidratación, quizá una de los métodos más antiguos de conservación de alimentos, basado en la disminución del contenido de agua de una materia prima y más concretamente en la reducción del a_w . El concepto de a_w es de gran utilidad en la conservación de alimentos tal como lo explican Barbosa-Cánovas *et al.* (2003). Es un hecho conocido que cada microorganismo tiene un a_w crítico bajo el cual no puede crecer y desarrollarse; por ejemplo, los microorganismos patógenos no pueden prosperar en medios con $a_w < 0,86$; y los hongos y las levaduras aunque son más tolerantes a bajas a_w , no se desarrollan en $a_w < 0,62$. Muchas reacciones de deterioro de los alimentos se ven retardadas con bajos a_w , de modo que su reducción es una manera segura de prolongar la vida útil de los alimentos.

La relación que existe entre el a_w y la velocidad de deterioro de un alimento ha sido descrita en el texto de Barbosa-Cánovas *et al.* (2003). Se observa una estrecha relación entre el valor de a_w y el deterioro de los alimentos: se conserva mejor y por más tiempo un producto con menor a_w . Las frutas y hortalizas frescas tienen un a_w cercano a 1,00; por ello son muy susceptibles a los ataques microbianos.

Otro método de conservación que se basa en la reducción del a_w es la evaporación o concentración, la que causa varios efectos en el producto. El primero y más importante es la salida del agua; sin embargo esta salida del agua generalmente va acompañada con la pérdida de compuestos volátiles, que son los responsables del sabor y aroma de la materia prima, por lo que un producto concentrado, suele tener un aroma menos intenso y, además, diferente del producto original. Esto, sin embargo, se puede corregir, por ejemplo mezclando el concentrado con una parte de alimento líquido y sin tratamiento térmico, ya sea de la misma fruta o utilizando otras especies más aromáticas, hasta obtener la concentración de sólidos deseada; también se puede corregir recuperando las sustancias volátiles por condensación de la fase gaseosa, con una posterior destilación fraccionada y reincorporando el condensado al producto.

Otro efecto consecuencia de la evaporación, es la reducción de volumen del líquido, lo que constituye una ventaja para el almacenamiento y el transporte del producto. También es interesante desde el punto de vista del consumidor tener un producto concentrado ya que es más cómodo su uso, ocupa menos espacio, se conserva a temperatura ambiente y se consume la porción que se desea, pudiéndose guardar el resto sin problemas de conservación.

Continuando la búsqueda de minimizar los efectos adversos producidos por la aplicación de algunos procesos de conservación, se han desarrollado intensamente en los últimos años los llamados *métodos combinados* de conservación de alimentos. Este sistema se basa en la utilización conjunta de diversos métodos de conservación de alimentos que por si mismos disminuyen o controlan la carga microbiana como es la disminución del a_w , la disminución del pH, el calentamiento suave, la aplicación de conservantes y otros de modo que tengan una acción sinérgica y se evite la aplicación de un único proceso que, en forma más drástica, pudiera alterar la calidad de los alimentos.

Los jugos concentrados obtenidos por evaporación, generalmente mediante ebullición del líquido extraído de los frutos, tienen la ventaja de que el alimento permanece como un fluido; sin embargo, se conserva mejor -se ha reducido su a_w - aunque a la vez han cambiado varios de sus componentes y características (el contenido

de agua; la viscosidad; la concentración de otros componentes presentes, como ácidos, vitaminas, o pueden haber variado, en mayor o menor grado, algunas características organolépticas, como la apariencia o el color).

La aplicación de frío también es útil para conservar alimentos procesados; la congelación, es uno de los sistemas que mejor conserva las características de un alimento, ya que el frío en general frena o al menos disminuye, la velocidad de las reacciones de deterioro.

A diferencia de la esterilización, la congelación no conserva los alimentos por destrucción microbiana, sino que crea condiciones adversas para el desarrollo de los patógenos. Esta diferencia fundamental entre ambos procesos, influye en la necesaria y rigurosa higiene y buena calidad de la materia prima con que se cuente. En todos los casos debe ser de buena calidad y no se deben utilizar materias primas dañadas, contaminadas o con carga microbiana peligrosa; estos requerimientos se acentúan al tratarse del congelado, ya que este no destruye los microorganismos.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE PRODUCTOS A PARTIR DE FRUTOS DEL NOPAL

Con la variedad de tecnologías disponibles se pueden obtener una amplia gama de productos tanto de la tuna como de los nopales tiernos o maduros.

Una de las tecnologías más antiguas y quizá más fácil de implementar y de menor costo es la deshidratación; la tuna no suele consumirse deshidratada, sin embargo, la pulpa de la tuna se puede deshidratar en capas finas (láminas o pieles), quitando previamente las semillas de modo de tener un producto masticable, natural; estas láminas consumidas en los países árabes y en los Estados Unidos de América, entre otros, se ofrecen en el mercado elaboradas a partir de diferentes frutos (damascos, cerezas, fresas y bayas en general). Son productos más atractivos que se han desarrollado a partir de la pulpa de tuna, si bien no se han llevado aún a escala industrial (Sepúlveda y Sáenz, 1988; Sepúlveda *et al.*, 2003c). En México se están llevando a cabo, en la Universidad de Sinaloa, investigaciones de laminillas de pulpa de tuna en mezcla con guayaba, mango y otras frutas tropicales (Trejo, Comunicación personal)¹. Una ventaja de los productos deshidratados, es que no se suelen utilizar aditivos, por lo que se consideran alimentos naturales con las ventajas de inocuidad que eso conlleva.

Un tipo especial de deshidratado son los confitados o glaseados, que se pueden elaborar a partir de cladodios maduros trozados o de fruta; en Francia se elaboran tunas enteras glaseadas y se consumen como postre.

Entre los productos concentrados se encuentran los jugos concentrados y los néctares; cuando se utilizan tunas de colores para su elaboración, presentan especial atractivo. En Namibia se elabora un concentrado de *Opuntia stricta* muy llamativo. En California se encontraban en el mercado hasta hace pocos años, néctares de tuna roja, en mezcla con otros jugos; sin embargo, este producto se discontinuó y ahora se ofrece un puré congelado de tuna roja de 22-24 °Brix. En Chile se consume ampliamente el jugo de tuna fresco, sin procesar, ya sea a nivel doméstico o en restaurantes de tipo naturista. Debido a que es un mercado interesante, algunas industrias chilenas están efectuando ensayos de elaboración de pulpas de tuna congelada para suministrarlas a hoteles y a industrias elaboradoras de helados.

Las mermeladas de tuna se encuentran también entre los productos concentrados; estas son producidas en Argentina, Estados Unidos de América, Italia y México; recientemente se ha iniciado su producción industrial en Chile.

También se elaboran mermeladas de nopal y jaleas de tuna; estas últimas se producen a nivel comercial en Estados Unidos de América, Italia y México, tanto a partir de tunas como de nopalitos. En México, la «melcocha», un tipo de mermelada típica artesanal obtenida de *Opuntia streptacantha* (Corrales y Flores, 2003); también se producen

¹ Martín Trejo B., Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México



Lámina 9

(a) Licor de fico d'India producido en Italia.

Italia. 2005.

(b) de *O. xocanostle* en México. México. 2004.

mermeladas de otras especies de nopales. En Estados Unidos de América se comercializan también caramelos masticables de diversos colores (*cactus pear jelly candies*) elaborados con el jugo de frutas.

Los jarabes o arropes se utilizan para acompañar postres; se elaboran en Argentina, Estados Unidos de América y otros países.

El llamado «queso» de tuna es el producto concentrado, más importante, de la industrial artesanal de la tuna de México; se elabora con *Opuntia streptacantha* y se considera un producto de humedad intermedia, que se conserva bien a temperatura ambiente y se comercializa solo o, para obtener otro sabor, con piñones, cacahuets o nueces. (López *et al.* 1997; Corrales y Flores, 2003).

La tuna enlatada, al igual que las salsas de tuna elaboradas con el jugo o con la cáscara de *Opuntia xocanostle*, son todos productos esterilizados comercialmente envasados en frascos de vidrio u hojalata, elaborados tanto en México como en el sur de Estados Unidos de América. En Chile se efectuaron hace muchos años atrás, algunas experiencias de tunas enlatadas cuyos resultados merecen una mayor investigación (Sáenz, 1999).

Entre los productos fermentados, uno de los más conocidos en México es el «colonche», una bebida alcohólica de baja graduación, elaborada a partir del jugo de *Opuntia streptacantha*. La elaboración de vino y aguardiente de tuna elaborada a partir del jugo es otra alternativa conocida desde hace años en este país. Una industria artesanal cercana a ciudad de México elabora licores de tunas de colores de una presentación muy atractiva, que se obtienen por maceración de la pulpa en alcohol de alta graduación. En Italia hay varias empresas que elaboran licores; según Russo (Comunicación personal)² se macera la pulpa en alcohol, luego de varios días se filtra y se agrega agua y azúcar; el licor es de 28 °G.L. (Lámina 9).

El vinagre de tuna ha sido obtenido con éxito, a nivel artesanal, por productores de tuna de la región de Til Til, en Chile; también existen algunas experiencias en Argentina.

FRUTAS FRESCAS

El modo más tradicional y antiguo de consumir la tuna es como fruta fresca, con la ventaja de que mantiene intacto su valor nutritivo si ha sido bien conservada. Los cuidados que hay que tener para que la fruta se mantenga sin problemas luego de la cosecha, se describieron anteriormente.

En la Lámina 10 se observa la venta de tunas de colores en un mercado de México.

En el ámbito del consumo doméstico hay que tener especiales precauciones en el pelado de la fruta por la presencia de numerosos gloquidios; aunque la fruta haya sido desespina en el huerto, siempre quedan algunas espinas que se pegan a la piel con las consiguientes molestias.

Una vez pelada la fruta, utilizando las medidas de higiene adecuadas (limpieza de manos, utensilios, uso de agua potable), debe ser consumida o guardada en frío, por no más de dos o tres días, ya que no resiste más tiempo debido a la baja acidez y el alto pH que posee; esto hace que fermente fácilmente.

La fruta fresca a nivel doméstico se suele consumir como jugo o en postres, ya sea sola o combinada con otras frutas.

Una tendencia actual entre los consumidores de muchos países, tanto desarrollados

² Alessandro Russo. Distilleria F.lli Russo snc. Italia.

como en vías de desarrollo, es la necesidad de disponer de productos listos para su consumo debido a la falta de tiempo para preparar los alimentos en la casa; se pueden encontrar en los supermercados de muchos de países, frutas y hortalizas frescas envasadas en películas plásticas y conservadas en frío, que se conocen como alimentos mínimamente procesados (López y Moreno, 1994).

Esta tecnología se basa en conservar, al máximo, las características de «fresca, natural, nutritiva e inocua» de una fruta u hortaliza, utilizando operaciones que protejan estas cualidades, manteniendo los vegetales en una atmósfera modificada, mediante el uso de películas de permeabilidad selectiva al O₂ y al CO₂. Durante el almacenamiento de estos productos, generalmente disminuye el O₂ y aumenta el CO₂, logrando bajar la ocurrencia de procesos degradativos tanto en frutas como en hortalizas con mínimo procesamiento (Lee *et al.*, 1996). Los llamados «métodos combinados» incluyen tratamientos tales como irradiación, refrigeración, atmósfera modificada, fermentación y métodos de empaque (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003).

Uno de los puntos más importantes en la preparación de estos productos se refiere a las condiciones higiénicas de las operaciones. Se recomienda, para todo el proceso, un ambiente con aire limpio y bajas temperaturas (5-6 °C) y una higiene especialmente cuidada en los operarios ya que los productos no llevan ningún tratamiento térmico que reduzca la carga microbiana.

Otro punto importante se refiere a la permeabilidad de las películas utilizadas para envasar los productos, debido a los cambios en la tasa respiratoria que sufren los mismos.

Según Cantwell y Suslow (2002), algunos de los factores más importantes que determinan la calidad final de los productos mínimamente procesados son: las temperaturas del procesamiento y del almacenamiento, la calidad inicial del producto, las condiciones sanitarias, el tipo de película que se utiliza como envase, la especie, variedad y período de refrigeración, entre otros. En el Capítulo 5 se profundiza acerca de esta tecnología.

El procesamiento mínimo, en el caso de la tuna, comienza con la fruta previamente desespínada, la cual se lava (con agua potable, si es posible clorada) y se pela. A fin de lograr la mejor calidad e inocuidad del producto se han efectuado diversos estudios y tratamientos. Es así como Coronado (2001) comparó el comportamiento de tunas (*Opuntia ficus-indica*) cortadas en rodajas, envasadas en bolsas de polímeros plásticos de diferente permeabilidad a los gases, observando que en general, las rodajas exudaban gran cantidad de líquido mucilaginoso dando a la fruta una apariencia desagradable.

Oyarce (2002) evaluó el comportamiento de tunas (*Opuntia ficus-indica*) peladas y enteras en diferentes estados de madurez (con diferente color y firmeza). La fruta se conservó en una cámara a $5 \pm 0,5$ °C y 85 por ciento HR. Se evaluó, además, el efecto de una inmersión en ácido cítrico de distinta concentración (0,25 por ciento, 0,50 por ciento, 1,00 por ciento) como preservante. A fin de comparar el efecto del ácido cítrico, se utilizaron como testigos tunas sumergidas solamente en agua. Los resultados indicaron que los frutos de tuna enteros pelados, se pueden conservar en buenas condiciones microbiológicas y organolépticas hasta un período de 14 días, al cabo de los cuales el recuento total de aerobios mesófilos se mantiene entre $0-5 \times 10^4$ ufc/g; este recuento se encuentra dentro de los límites de la reglamentación vigente en Chile para alimentos preparados, por lo que este producto puede ser considerado inocuo. El efecto del ácido cítrico como preservante, no fue determinante en la calidad organoléptica, pero se observó su acción a nivel microbiológico, obteniendo un resultado positivo respecto al control y a la proliferación de microorganismos dentro del envase. Los distintos grados de madurez ensayados no influyeron en la calidad final del producto, aunque sí en el



C. SAENZ

Lámina 10
Venta de tunas de colores
en una feria de frutas
México. 2003.

sabor, siendo mejor evaluada la fruta más madura. La aceptabilidad en general, fue bien evaluada, siendo mejor a los siete días de conservación.

En ambos estudios el material utilizado para envasar la fruta y el que dio mejores resultados y presentó los siguientes valores de transmisión (a 1 atm y 5 °C): $\text{CO}_2 = 60 - 160 \text{ ml/m}^2/\text{d}$ y $\text{O}_2 = 3-6 \text{ ml/m}^2/\text{d}$ (corresponde al material denominado BB4/CRIOVAC).

Corrales *et al.* (2004) en un estudio efectuado en *Opuntia amyclaea*, probaron, en frutos pelados, enteros y en mitades, tres tipos de película plástica: poliolefina de 19 micrómetros de espesor (PO 19), polipropileno coextruido y biorientado de 25 y 35 micrómetros de espesor (PPB 25 y PPB 35, respectivamente). La fruta envasada se almacenó a 4 °C y se observó que la vida útil de las tunas cortadas en fresco (enteras o en mitades), se puede prolongar hasta por 20 días sin demérito de su calidad.

La mejor película plástica resultó ser PPB 25, ya que fue la que causó la menor pérdida de peso, mantuvo mayor brillantez de las tunas y menor producción de etanol; sin embargo, con esta película se registró mayor porcentaje de jugo drenado. El grado de fraccionamiento de la fruta afectó solamente la pérdida de peso y jugo drenado.

Piga *et al.* (2003) evaluaron los cambios en el contenido en ácido ascórbico, polifenoles y capacidad antioxidante de tuna cv. *Gialla* (cultivada en Italia), mínimamente procesada; el producto se mantuvo en buenas condiciones a 4 °C por 9 días. Coincidente con otras investigaciones, el pH y la acidez cambiaron significativamente durante el almacenamiento, sin que se notaran cambios sensoriales, hasta los seis días. El recuento microbiano se mantuvo bajo y no se observó visualmente crecimiento de hongos.

Corbo *et al.* (2004) efectuaron un estudio sobre la vida útil de *Opuntia ficus-indica* cv. *Gialla*, mínimamente procesada, cortada en rodajas y envasada en bolsas de plástico (nailon/polietileno, 102 μm) con una permeabilidad al CO_2 y O_2 de $3,26 \times 10^{-19}$ y $9,23 \times 10^{-19} \text{ mol/m}^2/\text{s}^{-1}/\text{Pa}^{-1}$, respectivamente, bajo aire y atmósfera modificada (65 por ciento de N_2 , 30 por ciento de CO_2 y 5 por ciento de O_2). El producto se almacenó a diferentes temperaturas (4, 8, 12 y 20 °C) y se evaluó el crecimiento de diferentes tipos de microorganismos y la calidad sensorial. Se encontró que la mejor temperatura de conservación era 4 °C, observando que a los 14 días a 4 °C el recuento total de bacterias no llegaba a los límites permitidos por la legislación francesa para este tipo de productos, bajo cualquiera de las atmósferas ensayadas. Sin embargo, las diferentes atmósferas influyeron en el tipo de flora que se desarrolló en los productos, por lo cual son recomendables mayores investigaciones en este tema.

JUGOS, BEBIDAS Y CONCENTRADOS

Una de las tecnologías más frecuentemente utilizadas para conservar frutas y hortalizas es la obtención de jugos. Los jugos son apreciados por su valor nutritivo y porque gracias a las modernas tecnologías disponibles y a las BPM, son actualmente más similares a las materias primas de las cuales provienen. Con razón se los ha denominado «fruta líquida» (Sáenz y Gasque, 1999; Sáenz y Sepúlveda, 2001b).

Los jugos son en general buenas fuentes de azúcares, vitaminas y minerales. La tendencia actual hacia el consumo de dietas saludables hace que los jugos sean una alternativa natural, importante, que aumenta la disponibilidad de compuestos nutritivos en la dieta. Los jugos de frutas y hortalizas pueden jugar una importante función para mejorar la salud humana.

En algunos países, por ej. Chile, el jugo de tuna se consume a nivel doméstico, en restaurantes de tipo naturista o en locales de comida saludable (Sáenz y Sepúlveda, 2001b). Tan extendido está este modo de consumo que los productores locales están interesados en el desarrollo de tecnologías que permitan obtener jugos y pulpas de tuna de alta calidad, a nivel comercial. Sin embargo, algunas de las características de la fruta ya señaladas anteriormente (alto pH, baja acidez, alto contenido de azúcares) y el delicado aroma (Di Cesare *et al.*, 1991; Di Cesare *et al.*, 1993) que fácilmente se

deteriora con los tratamientos térmicos, han hecho más difícil la puesta a punto de estas tecnologías. Debido a que existen nopales que producen frutos de diversos colores, esto hace muy atractivo el desarrollo de las tecnologías para producción de jugos (verdes, rojos, anaranjados, púrpuras).

Hace ya más de 30 años se efectuaron en México los primeros ensayos para diseñar líneas de procesos conducentes a la obtención de jugos de tuna pasteurizados; los resultados de esos estudios fueron contradictorios: algunos autores reseñaban el carácter agradable en sabor y aroma de los jugos obtenidos y otros indicaban las dificultades encontradas desde el punto de vista de la estabilidad microbiológica y la imposibilidad de frenar la fermentación acética del jugo, aún bajando su pH con jugo de limón, lo que impedía su conservación.

Carrandi (1995), evaluó el comportamiento microbiológico y las características químicas y sensoriales de jugo tuna de color verde. Los tratamientos aplicados al jugo incluían dos tipos de aditivos: 200 ppm de Kilol (extracto natural obtenido de las semillas del pomelo) y 500 ppm de sorbato de potasio, aditivo artificial, generalmente aceptado por la legislación alimentaria de muchos países. El jugo se pasteurizó en un sistema HTST (98-100 °C, 20-22 s), se envasó inmediatamente en botellas de vidrio y se selló en una cámara de luz UV. Luego de enfriado se almacenó a 0-5 °C por 15 días. Este autor concluye que los aditivos evaluados no fueron eficientes para asegurar la estabilidad microbiológica, ya que se observó a los 2-3 días -independientemente del conservador utilizado- fermentación ácido-láctica producida por *Lactobacillus*. En otro ensayo destinado a mejorar la estabilidad microbiológica del jugo, se efectuó un tratamiento térmico más drástico (100 °C por 20 min), envasando en botellas de vidrio. Los resultados mostraron que la estabilidad y seguridad microbiológica era buena, sin embargo, el producto final no recordaba un jugo fresco de tuna debido a los cambios sufridos de color y aroma. Por ello, en los países en que se acostumbra consumir jugo fresco, las tecnologías de conservación, para ser exitosas, deben ser tales que el producto se asemeje lo más posible al original recién obtenido.

Los cambios de color que ocurren en jugos de tuna pasteurizados y concentrados fueron estudiados por Carrandi (1995) y Sáenz *et al.* (1993). El tratamiento térmico produce un deterioro en la clorofila y una pérdida del color verde brillante del jugo recién obtenido, debido precisamente a los cambios sufridos por la clorofila, volviéndose de color blanco-lechoso y por tanto más opaco. Lo mismo se observó en jugos concentrados (68,8 °Brix) almacenados a diferentes temperaturas (2, 10, 20, 27 y 37 °C); además el jugo mantenido a temperatura ambiente se oscurece con el tiempo, lo que se refleja en el aumento del parámetro de color a^* (desde -2,84 a -0,57) que según la notación CIELAB indica la contribución de verde o rojo, según sea el valor positivo o negativo, respectivamente. Estos resultados indican que las características de color de los jugos de tuna verde, tanto concentrados como sin concentrar, se ven claramente influenciadas por la temperatura y tiempo de almacenamiento, lo que hay que tener en cuenta al diseñar las líneas de flujo en una producción industrial y en las recomendaciones para el almacenamiento de los productos.

En estudios posteriores efectuados en jugos de tuna púrpura, Sáenz *et al.* (1997a), observaron el efecto de diferentes pH (5,2 y 4,0) y del tratamiento térmico (80 °C durante 10 minutos) en el color del jugo de tuna y concluyeron que presentaba una alta estabilidad tanto a los cambios de pH como de temperatura: una clara ventaja frente a los jugos de tuna verde. Los autores probaron tres tratamientos: 1) un jugo natural, sin modificación del pH (pH = 5,2) y sin tratamiento térmico; 2) sin modificación del pH (pH = 5,2) y con tratamiento térmico y, 3) con modificación del (pH = 4,0) y con tratamiento térmico (80 °C durante 10 minutos). Concluyeron que los parámetros a^* y b^* (b^* corresponde a la contribución de amarillo o azul, según sea el valor, positivo o negativo) podrían influir en el tono (color) de los jugos; sin embargo, los tres tratamientos dieron como resultado un color rojo-púrpura, y algunos de ellos

aparecieron más rojizos. La acidificación de los jugos, así como el tratamiento térmico aplicado para su conservación y estabilidad microbiológica causó un cambio evidente de color, pero el color púrpura-rojizo característico de la fruta permaneció.

Sáenz y Sepúlveda (1999), efectuaron ensayos de mezclas para elaborar una bebida refrescante utilizando jugo de tuna púrpura, jugo de piña, agua y azúcar; con ello se lograba, por una parte, bajar el pH y asegurar una mejor conservación y por otra disminuir la viscosidad del jugo de tuna, que a algunas personas les parece poco agradable para ser consumido sin diluir. Sin embargo, a pesar de que el jugo de piña aumenta la acidez, su aroma y su sabor afectan el delicado aroma y sabor del jugo de tuna; como resultado, fue calificado, por el panel de degustadores, con nota más baja que el jugo de tuna puro y solamente diluido. Una alternativa que dio mejor resultado fue utilizar directamente ácido cítrico para aumentar la acidez, lo que logra bajar el pH a 4,2 y mantener la misma aceptabilidad que el jugo de tuno natural diluido, ya que no altera su aroma y su sabor.

Otros autores han efectuado ensayos de clarificación, para lograr más fácilmente una mayor concentración. El uso de enzimas pectinolíticas ha sido probado en tratamientos a 40 °C durante 48 horas, con adición de ácido cítrico para una mejor acción enzimática. El jugo se envasó en envases de hojalata y de vidrio y se sometió a diferentes tratamientos térmicos. Ambos ensayos mostraron cambios en el color debidos a la pasteurización, el cual fue corregido por aplicación de colorantes artificiales (Yagnam y Osorio, 1991). Usando un preparado enzimático (Pectinex AR), constituido por una mezcla de enzimas pectinolíticas con una alta actividad de arabanasa, Sáenz *et al.* (1997b, 1998) clarificaron exitosamente jugos de tuna, habiendo probado previamente una gran variedad de enzimas de diferente procedencia.

Thomas (1998) describe en detalle un diagrama de flujo para la producción de puré de tuna roja, natural, obtenido por congelación rápida. El autor informa < 3 ufc/g de coliformes, bacterias ácido lácticas y *Escherichia coli*, así como < 10 ufc/g de microorganismos aerobios, levaduras y hongos. El mismo autor informa de la obtención de un puré concentrado (65 °Brix), deshidratado al vacío, producto utilizado, al igual que el puré natural, como saborizante para helados dulces, y salsas para acompañar postres o frutas.

Almendares (1992), estudió la obtención de jugos concentrados de tuna de pulpa verde, utilizando la disminución del a_w como una protección para evitar el crecimiento microbiano y poder así extender la vida útil del producto. Los jugos se concentraron hasta 63 - 67 °Brix, en un equipo evaporador centrífugo al vacío a 40 °C; la estabilidad de los jugos al ataque microbiano fue buena, pero el análisis sensorial indicó una aceptabilidad baja por parte de los evaluadores que calificaron el jugo reconstituido con un puntaje de 5,0, en una escala de 1-9 puntos. Esta baja calificación se debió tanto al deterioro del color, como a la aparición de un aroma herbáceo después del proceso de concentración (Sáenz *et al.*, 1993; Sáenz, 1996).

Barbagallo *et al.* (1998b) obtuvieron un puré ligeramente concentrado (37 por ciento) de tuna cv. *Gialla* y compararon el producto con pulpa natural, encontrando que tanto el color, como el aroma y el sabor del producto concentrado, eran similares al natural. La acidez fue modificada con ácido cítrico hasta pH = 4,0. Los autores concluyeron que el puré ligeramente concentrado, puede ser un buen ingrediente para la industria de confites y de productos semiprocesados.

Ruiz-Cabrera *et al.* (2004) efectuaron ensayos para obtener jugo deshidratado, mediante secado por atomización de jugo de *Opuntia streptacantha*. Aunque no indican detalles acerca de la conservación y las propiedades de rehidratación del producto, señalan que la pérdida de vitamina C fue significativa, variando desde 23,65 mg 100 ml en el jugo fresco a 10,28 mg 100 ml en el jugo deshidratado.

Un producto típico de México es la «melcocha», similar a una miel; se elabora a partir del jugo de *Opuntia streptacantha* y es un producto artesanal que últimamente

ha recibido atención, ya que según lo señalado por Corrales y Flores (2003), se está utilizando actualmente para relleno de empanadas ampliando su mercado.

Un producto artesanal cotizado en algunas zonas de México y elaborado por pequeños campesinos, es el llamado «queso» de tuna; quizá reciba este nombre por su color pálido cuando está recién preparado, su textura y su modo de presentación. Es un producto concentrado obtenido a partir del jugo concentrado («melcocha») de tuna cardona silvestre (*Opuntia streptacantha*). López *et al.* (1997), señalan que el queso de tuna se obtiene sometiendo a un fuerte amasado la «melcocha»; lo que se efectúa en una piedra grande, redonda y plana; sobre la piedra humedecida se levanta y deja caer la masa unas 150-200 veces, hasta que al levantar la pasta esta no se adhiera a la piedra. Mientras más se golpee la pasta el «queso» será más duro y claro (color oro). Esta pasta se coloca en moldes de 1-20 kg y se deja reposar durante 24 horas, luego se saca de los moldes y se deja al aire otras 24 horas. La consistencia corresponde a la de un gel semisolidificado, se vende en trozos de diversos tamaños y puede conservarse a temperatura ambiente por períodos largos (Corrales y Flores, 2003). Para lograr otros sabores se pueden añadir esencias de anís, vainilla, piñones, nueces, cacahuets, almendras o avellanas. Dado que esta es una industria artesanal simple, López *et al.* (1997) recomiendan la transferencia de tecnologías y la capacitación de los productores para mejorar las condiciones sanitarias de estas pequeñas agroindustrias y por tanto de los productos, ya que no hay hasta ahora en México, ninguna industria que elabore el queso de tuna en condiciones de sanidad adecuadas (Corrales y Flores, 2003). Recientemente, Alvarado y Díaz (2003) estudiaron algunas variables para mejorar las características de este producto, así como su presentación. Probaron cocción en recipientes de cobre y acero inoxidable, obteniendo mejores resultados con este último; regularon las temperaturas de cocción evitando así el sobrecalentamiento del producto y con ello el deterioro del color. Los productos ensayados presentaron una concentración similar a los productos comerciales (86-93 °Brix) y contenidos de betalaína mayores, 4,3-6,2 con respecto a 2,2-2,6 g/100 g de los productos artesanales.

PRODUCTOS CONGELADOS

La congelación es una de las mejores tecnologías disponibles para conservar el color, el aroma y las características nutritivas de los alimentos presenta la ventaja de que al fijar el agua como cristales de hielo se disminuye la a_w lo cual, unido a las bajas temperaturas, ayuda a conservar mejor los alimentos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la congelación es una tecnología costosa y que además debe contar con una cadena de frío desde el productor hasta el consumidor ya que es el único modo de asegurar que se mantenga la calidad e inocuidad del producto.

Sáenz *et al.* (1988), efectuaron los primeros ensayos de obtención de tunas congeladas en rodajas (0,625 mm) y en cuartos pelados y sin pelar. La congelación se efectuó en un túnel de lecho fluidizado a -40 °C y el producto se almacenó a -20 °C. Los resultados no fueron satisfactorios ya que se produjo, a pesar de la rapidez del proceso de congelación, un alto porcentaje de exudación al descongelar el producto. Este hecho junto a la pérdida de textura, causó una caída de la aceptabilidad en todas las muestras. Posiblemente el uso de crioprotectores como jarabes o azúcar podría mejorar los resultados de este proceso. En el año 2000, en un proyecto conjunto entre el CIAD (Sonora, México) y la Universidad de Chile, se estudió la aplicación de crioprotectores (soluciones de sacarosa de diversa concentración) en tuna congelada; se concluyó que no se logra un producto de buena calidad, aunque se observa un claro efecto al aplicar como crioprotector una solución de sacarosa al 30 por ciento; se deberían continuar los estudios, ya que es necesario encontrar un crioprotector más efectivo a fin de conservar mejor la textura.

Bunch (1996) informa acerca de la producción y comercialización de puré de tuna púrpura congelado, en Estados Unidos de América, y considera dicho producto como

muy versátil y estable. Es un producto que se puede utilizar en una gran variedad de bebidas y comidas.

La elaboración de puré o jugos de tuna congelados es una alternativa muy interesante de procesamiento. Actualmente está siendo experimentada por una empresa chilena productora de pulpas congeladas de frutas tropicales, la cual ha instalado una pequeña plantación de tuna en un fértil valle al norte de Santiago a fin de efectuar las investigaciones. La elaboración consiste en lavar y pelar manualmente la tuna, quitarle la semilla en una tamizadora, envasarla en bolsas plásticas y congelarla en un túnel a -30°C ; una vez congelada se almacena a -18°C y se transporta a la misma temperatura. Este producto podría tener un amplio mercado, ya que las pulpas congeladas de otras frutas, como chirimoya y frutilla, tienen un nicho exitoso, por lo que podrían estar interesados en ella los restaurantes y locales de comida sana. Actualmente estos establecimientos compran fruta para extraer ellos mismos el jugo, lo que se vería facilitado con un producto congelado de buena calidad, al cual sólo habría que diluirlo y agregarle azúcar para venderlo al igual que el jugo fresco. Otros posibles interesados podrían ser las empresas elaboradoras de helados, las empresas de productos lácteos para agregar a los yogur y a otros postres, las empresas productoras de pasteles y confites y otras.

PRODUCTOS DESHIDRATADOS Y CONFITES

Existen escasos antecedentes sobre la deshidratación de la tuna entera; en México se elaboran a nivel artesanal las llamadas «tunas pasas», sin semillas, y hervidas en miel de tuna; se ponen a secar al sol, girándolas con frecuencia para lograr un secado homogéneo (Borrego y Burgos, 1986). Una de las pocas referencias disponibles es la de Mohamed-Yasseen *et al.* (1996), quienes mencionan que algunos grupos de indígenas deshidrataban la tuna entera antes de que estuviera madura, para luego cocinarla con carnes u otros alimentos. En el mercado de varios países se ofrecen láminas deshidratadas de distintas frutas, las que por varios motivos son atractivas: son elaboradas con pulpas naturales de frutas, sin aplicación de conservadores, son masticables por lo que son especialmente llamativas para los niños y en la cultura alimenticia actual, estos productos que son lo contrario de la comida «chatarra», pueden contribuir a una dieta saludable. En los países anglosajones se les conoce como «fruit sheets» o «fruit leathers».

Varios autores han efectuado investigaciones en el desarrollo de este tipo de productos. Ewaidah y Hassan (1992) en Arabia Saudita, considerando que en los países islámicos ya existía la costumbre de consumir este tipo de productos en base a damascos (*Kamar-Eddin*), particularmente para la festividad religiosa del Ramadan,

desarrollaron láminas deshidratadas de tuna cv. *Taifi*, encontrando que la fórmula más aceptada era la descrita en el Cuadro 13.

Por su parte Sepúlveda *et al.*, (2000), desarrollaron láminas deshidratadas de tuna en mezcla con pulpa de membrillo (*Cydonia oblonga*) en distintas proporciones, para proporcionarle acidez en forma natural y tratar de evitar la adición de ácido cítrico. Se probaron distintas proporciones de pulpa de tuna y pulpa de membrillo: F1 = 100 por ciento de pulpa de tuna y 1,1 por ciento de ácido cítrico; F2 = 75/25 tuna/membrillo y 0,7 por ciento de ácido cítrico y F3 = 50/50 tuna/membrillo, sin adición de ácido cítrico; el resto de los ingredientes se mantuvo constante para las tres formulaciones (10 por ciento de

CUADRO 13
Fórmula base de láminas deshidratadas de tuna cv.
Taifi

Ingrediente	Cantidad (g)
Pulpa de tuna	1 400
Azúcar	140
Ácido cítrico	15,4
Metabisulfito de sodio	2,1
Aceite de oliva	7,0
Leche en polvo	140
Aromatizantes	
Canela	1,8
Jengibre	1,4
Cardamomo	0,6
Clavo	1,0
Vainilla	0,6

Fuente: Ewaidah y Hassan (1992)

CUADRO 14

Características físicas y químicas de láminas deshidratadas de pulpa de tuna y membrillo

Formulación	pH	Acidez (% ácido cítrico)	Vitamina C (mg/100 g)	Color			Humedad (%)	a _w
				L*	a*	b*		
F1	3,7a	3,44a	32,65a	36,5a	-0,5a	14,8a	16,0a	0,55a
F2	3,8a	2,81b	24,48b	40,7b	-0,4a	19,4b	15,7a	0,57ab
F3	4,2b	1,32c	15,86c	43,6b	0,6a	21,3b	15,0a	0,60b

Fuente: Sepúlveda *et al.*, (2000)*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

(L*,a*, b*: según notación CIELAB)

azúcar, 0,5 por ciento de aceite de oliva, 0,1 por ciento de metabisulfito de sodio y 0,1 por ciento de canela). En el Cuadro 14 se observan las características de las distintas formulaciones ensayadas.

Las formulaciones presentaron entre 320-327 kcal/100 g; para algunos segmentos de mercado puede interesar que sea menor, por lo que se puede disminuir eliminando el agregado de azúcar de modo que el aporte de este provenga sólo de la fruta.

La aceptabilidad de las láminas fue buena en las tres formulaciones, sin embargo, el panel de degustadores encontró muy ácida la formulación F1; cabe hacer notar que la formulación más preferida en Arabia Saudita fue con acidez equivalente a la F1 (Ewaidah y Hassan, 1992) elaborada en Chile, lo que indica los distintos gustos de los consumidores, dependiendo de los países y la necesidad de ajustar las formulaciones de acuerdo a las costumbres de la población.

Últimamente, Sepúlveda *et al.* (2003c) han desarrollado láminas de distintos ecotipos de tunas con diversos colores de pulpas: púrpura, anaranjada y verde, en mezcla con manzana. En todos los casos, los resultados han sido promisorios, siendo las láminas elaboradas con fruta de pulpa anaranjada y manzana, la mejor clasificada de las tres; este es uno de los productos, que requiriendo tecnologías sencillas, podría ser implementado en cualquier país productor de tuna.

MERMELADAS Y GELES

Uno de los productos de consumo masivo más conocidos y aceptados en el mundo son las mermeladas; son de fácil elaboración, existen de diversos tipos y se elaboran en base a distintas frutas.

Se obtienen por concentración mediante ebullición de la pulpa, con azúcar, pectina y ácido cítrico, para asegurar un cierto grado de gelificación. Es uno de los productos cuya conservación, al igual que los deshidratados, se basa en la reducción del contenido de agua (y, por lo tanto, reducción de la actividad del agua, a_w). Generalmente se le adicionan conservadores (sorbato de sodio y/o benzoato de potasio), principalmente para asegurar su conservación una vez abierto el envase.

Numerosos autores han efectuado estudios sobre la elaboración de mermeladas de tuna; algunos de los más recientes son los efectuados por Vignoni *et al.* (1997) quienes probaron dos formulaciones, una a la que se le agregó 55 por ciento de azúcar, jugo y cáscara de limón y otra sólo con 55 por ciento de azúcar, no encontrándose diferencias sensoriales entre los dos tipos.

Anteriormente, Aguirre *et al.* (1995) probaron distintas especies de nopales y diferentes formulaciones de mermeladas, utilizando la tuna entera con y sin cáscara, o sólo la pulpa, agregándole azúcar, ácido cítrico y pectina, envasadas en frascos de vidrio. Los resultados indicaron que la mejor calificada fue la mermelada elaborada utilizando tuna entera con cáscara (lo que es una ventaja para el proceso ya que evita la operación de pelado de la fruta que suele ser manual); debido a que la pulpa lleva incorporadas las semillas, se utiliza un molino de piedras para lograr una finura adecuada y agradable; esta etapa debe ser mecanizada.

Corrales y Flores (2003) resumen el proceso general para la obtención de mermelada de tuna cardona (*Opuntia streptacantha*). La tuna sin cáscara, se somete a un tamizado, para separar las semillas; este «jugo espeso» se mezcla con azúcar, pectina, ácido cítrico, conservadores (benzoato de sodio) y se concentra en un evaporador (o en una marmita abierta) hasta 65-67 °Brix; se envasa en caliente en frascos de vidrio, los que una vez fríos se etiquetan.

La mermelada de *Opuntia xocostle* (tuna ácida) se comercializa actualmente en México y entre sus atributos destaca su atractivo color.

Los productos esterilizados comercialmente, como tunas enlatadas, no han dado los resultados esperados, ya que la textura y el color sufren cambios que desmerecen la calidad sensorial del producto; ambos aspectos deben ser más estudiados, ya que son los puntos más complejos de lograr (Sáenz, 1999). En Sudáfrica, Joubert (1993) estudió los cambios de textura de la fruta, de diversos cultivares (de distintos colores), cuando esta era sometida a enlatado; el proceso consistía básicamente en pelar la fruta y colocarla en envases de hojalata con un almíbar de 20 °Brix acidificado con ácido cítrico (para bajar el pH a 4,2) y tratamiento térmico a 100 °C durante 15 minutos. El producto perdía textura, sabor y color. El deterioro de la textura se vio mejorado por adición de CaCl₂ de 0,25 por ciento al almíbar. Los ensayos efectuados en tunas en almíbar a las que no se les agregó ácido cítrico mostraron formación de gas en el interior del envase en pocos días, lo que corrobora la importancia del control del pH en este tipo de productos y en particular al tratarse de este fruto.

Los frutos de *Opuntia xocostle* en almíbar se comercializan actualmente en México; cabe recordar que esta es una tuna ácida que tiene ventajas para hacer más suaves los tratamientos térmicos durante el proceso de enlatado.

En América Latina es muy común el consumo de dulces de frutas elaborados con pulpas adicionadas de azúcar, gelificados. Se conocen comercialmente, de varias frutas: membrillo, alcayota (*Cucurbita ficifolia*), algunas bayas, manzana y otras. Sáenz *et al.* (1997c) efectuaron estudios para el desarrollo de geles de pulpa de tuna, utilizando para ello *Opuntia ficus-indica* de frutos con pulpa verde. Para ello agregaron a la pulpa (35-40 por ciento), azúcar y un agente gelificante (carragenina); probaron dos niveles de pH: 3,5 para prevenir el crecimiento microbiano y 6,1 (pH original de la pulpa). Observaron un notorio cambio de color al bajar el pH, debido a la transformación de las clorofilas en feofitinas, pero el producto mantuvo sus características químicas, físicas y sensoriales por más de 14 días, en refrigeración (4-6 °C). Si se aumenta la concentración de azúcar se podría evitar la refrigeración, que es lo que ocurre con estos productos en forma comercial.

PRODUCTOS FERMENTADOS

El uso de *Opuntia streptacantha* (tuna cardona) para la obtención de bebidas alcohólicas se conoce en México desde tiempos prehispánicos; el producto más tradicional es el «colonche», elaborado a partir del jugo de esta especie. Según Corrales y Flores (2003) este producto se prepara, en forma artesanal, en ollas de barro, usando como fermento cepas de *Saccharomyces* sp.; el jugo fermenta rápidamente y a las pocas horas del trasiego está listo para el consumo; en este estado dura dos o tres días.

Es una bebida de baja graduación alcohólica (4-6 por ciento), que se consume mientras está en proceso, dulce aún, por la presencia de azúcares sin fermentar; presenta cierto grado de viscosidad, se produce solamente en tiempo de cosecha y sufre muy rápidamente alteraciones bacterianas (Díaz, 2003a).

También hay algunas experiencias acerca de la elaboración de vinos y aguardientes de tuna. Flores (1992) llevó a cabo ensayos para obtener vino y aguardiente de tuna, utilizando *Opuntia streptacantha* y *O. robusta*. En el caso del vino se llegó a 11,6 °G.L., partiendo de jugo de *Opuntia streptacantha* concentrado a 20 °Brix (con jugos normales, sin concentración, el grado alcohólico a que se llega es apenas superior a 6 °G.L.) y en el

caso del aguardiente, elaborado a partir del vino obtenido de *Opuntia streptacantha*, se llegó a 56,2 °G.L. Los vinos tuvieron, para las dos especies, características similares, con marcada semejanza en su aroma: afrutado, agradable y fino. El vino de *Opuntia streptacantha* obtuvo las mejores calificaciones, con armonía y fineza comparables con las del vino de uva de buena calidad. Por su parte el aguardiente, se cataloga tanto o mejor que el vino. Sin embargo, es recomendable efectuar estudios más detallados, que simulen las características de producción de vino y aguardiente comercial, ya que los resultados obtenidos indicarían buenas perspectivas para estos productos.

Díaz (2003b), ha efectuado algunos ensayos para optimizar el proceso tanto de obtención de colonche como de vino de tuna; para ello estudió diversas variables como la eliminación de semillas, de carnaza, la adición de ácido, el sulfatado o la adición de levadura, concluyendo que el mejor tratamiento es aquel en el que se procesa la tuna con carnaza, sin acidificar, con adición de sulfitos y de levadura.

Otro producto para el que puede ser interesante perfeccionar las tecnologías de elaboración, ya que existen algunas experiencias para su fabricación, es el vinagre. Pérez *et al.* (1999) realizaron ensayos para la preparación de vinagre de tuna anaranjada. Para ello utilizaron dos tipos de sustrato para la fermentación acética, (A) un mosto con fermentación alcohólica previa hasta 13,5 °G.L. y (B) un jugo de tuna adicionado de azúcar hasta 22 °Brix; para el primero se utilizó *Acetobacter pasteurianus* y para el segundo *Acetobacter xylinum*. En el Cuadro 15 se presentan las características de ambos productos.

El vinagre presentó en ambos casos un color amarillo ámbar intenso, limpio y brillante, con aroma fresco y de franca acidez acética; sensorialmente resaltó la acidez y un grato gusto a sal de origen natural. La mayor rapidez de fermentación del sustrato B (jugo azucarado) indicó que este sería el más apropiado.

Considerando que existen nopales de diversos colores, la obtención de vinagres diversificaría y podría hacer más atractivo el desarrollo de este tipo de productos, por lo que habría que continuar los estudios con ensayos comparativos que permitan evaluar los productos, tanto desde el punto de vista químico como sensorial.

De la gran variedad de productos descritos, se puede concluir que existe una amplia gama de alternativas para consumir y para dar valor agregado a los frutos de los nopales, aspecto positivo tanto para la mejor utilización de los frutos de estas especies como para el progreso de la agroindustrias existentes y el desarrollo de otras, que ofrezcan nuevos y atractivos productos; el aprovechamiento e inclusión de estos productos en la dieta de muchos habitantes de diversas regiones, podrían contribuir a desarrollar productos distintos al solo consumo como fruta fresca.

CALIDAD E INOCUIDAD

Si el sector industrial, en general, está cada día más consciente de que la calidad de sus productos es esencial para su supervivencia, esto se aplica con más razón al sector agroindustrial productor de bienes alimenticios.

Los consumidores son cada día más exigentes en cuanto a la importancia, no sólo de la calidad de los alimentos, sino también de su inocuidad, por lo que el concepto de control de calidad ha dejado paso al concepto de aseguramiento de la calidad, de significado mucho más amplio, que ha hecho pasar del mero control a la prevención.

CUADRO 15

Análisis físicos y químicos de dos tipos de vinagre de tuna

Característica	Vinagre (sustrato A)	Vinagre (sustrato B)
Densidad (g/l)	1,013	1,0127
Acidez volátil (%)	6,71	9,8
Acidez fija (%)	0,0132	0,0181
Extracto seco (%)	5,33	4,27
Cenizas (%)	0,982	0,832
Alcalinidad de las cenizas (%)	0,374	0,567
Cloruros (%)	0,768	0,27
Índice de oxidación (%)	1 112	1 204
Aldehidos totales (%)	0,625	0,0006
Ácido acético final (%)	6,7	9,8
Tiempo total de fermentación (días)	183	40

Fuente: Pérez *et al.*, (1999).

Este sistema implica muchas veces un cambio de mentalidad en las personas, ya que se trata, no solo de efectuar un trabajo en la agroindustria, sea esta pequeña, mediana o grande, sino de efectuarlo de la mejor manera, teniendo en cuenta que ello redundará en beneficios importantes para el consumidor final y, por lo tanto, para la propia empresa. Cada uno de los actores que trabajan o se relacionan con ella (proveedores, distribuidores), debe hacerse responsable de cómo y cuándo se hacen las cosas, único modo de prevenir errores a tiempo, de modo que si se producen, sea -en lo posible- una sola vez. Sin embargo, para que se aplique correctamente un sistema de aseguramiento de calidad, todos deben estar capacitados y motivados (Fellows *et al.*, 1995).

El impacto que han causado las enfermedades transmisibles por alimentos ha llevado a darle la importancia que se merece, en primer término, a la higiene con que se procesan los alimentos; esta abarca los operarios, el agua, los utensilios, los equipos, los envases, la infraestructura, los sistemas de distribución y prácticamente todos los elementos de la cadena.

En el caso de la tuna, aunque es un vegetal, presenta características que no son comunes a la mayoría de ellos y que hacen más riesgoso su procesamiento, como su alto pH y su baja acidez (salvo excepciones de algunas especies) y el alto contenido de azúcar. Por estas razones los procesos de elaboración deben ser cuidados especialmente para evitar que los productos derivados de esta especie mantengan su calidad y no sean vehículo de enfermedades.

La inocuidad de un alimento está relacionada no solo con la materia prima y el modo de prepararla, si este es a nivel doméstico, o con el proceso de producción, si se trata de un nivel industrial, sino con otros aspectos relacionados con procesos químicos, físicos y microbiológicos que intervienen en el mismo proceso de manufactura. Es importante, por ejemplo, conocer que aditivos se pueden utilizar en los alimentos; saber que cuando se preparan alimentos, ya sea en la planta productora o a nivel doméstico, los ingredientes deben conservarse en sectores distintos a los insecticidas o detergentes; que la madera no es un buen material para fabricar utensilios o equipos para la industria de alimentos, ni recipientes para prepararlos o transportarlos directamente, ya que fácilmente se desprenden pequeñas astillas; además es un material poroso que se contamina con microorganismos al absorber humedad y albergar microorganismos. En una palabra, en la elaboración de alimentos, hay que aplicar, a cualquier nivel y como mínimo, las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).

Los alimentos deben ser, además de seguros e inocuos (que no transmitan enfermedades, libres por tanto p. ej., de *Shigella* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia coli*), de calidad. Esta calidad abarca tanto las características nutritivas, como las sensoriales, aspectos que van unidos al concepto de calidad total. Los alimentos frescos y procesados deben tener la calidad esperada y declarada en las etiquetas; esto es un aspecto ético fundamental que hace que la confianza entre el productor y el consumidor se mantenga y no quede restringida solo a la primera compra. Para esto son de especial utilidad los estándares de calidad desarrollados en cada país para una gran cantidad de productos alimenticios, muchos de ellos similares o siguiendo la guía del trabajo que efectúa la Comisión Conjunta FAO/OMS del *Codex Alimentarius*.

MERCADEO

Los productos antes detallados se encuentran desde el punto de vista de la comercialización en distintas etapas de desarrollo; algunos de ellos están en el comercio, aunque las tecnologías que se aplican y la sanidad con que se elaboran debe mejorarse, por ejemplo en el caso del «queso de tuna». Otros están sólo en etapa de investigación, como las láminas de tuna, el azúcar de tuna y los jugos concentrados. Otros se comercializan actualmente, pero debe afianzarse el nicho que tienen en el mercado y ampliar su distribución; es el caso de las mermeladas, de los diversos productos derivados de xoconostle (salsas, mermeladas), de los néctares y jugos, entre otros.

Si se piensa en el desarrollo de pequeñas agroindustrias rurales, además de que se procurará ofrecer al consumidor productos de calidad, inocuos y bien presentados, se deberá abordar asimismo, uno de los mayores problemas que se ha detectado en ellas que es la escasa capacidad para hacer coincidir la oferta con la demanda. Hay numerosos ejemplos de pequeñas empresas que son capaces de elaborar productos de alta calidad a un precio competitivo, sin embargo tienen poca experiencia y capacidad para encontrar los mercados que deseen comprarlos. Por estos motivos, la investigación de mercado (identificación, segmentos de mercado de interés, distribución y promoción de los productos) y el desarrollo de estrategias efectivas de comercialización son componentes esenciales para establecer y poner en marcha agroindustrias procesadoras (Fellows, 1997).

Un aspecto que puede ayudar a la comercialización de los productos alimenticios derivados de los nopales, ya sea provenientes de las agroindustrias rurales o de empresas más desarrolladas, es marcar la diferencia que estos tienen con respecto a otros similares que ya existen en los mercados de los diferentes países y que están elaborados con especies frutales más conocidas o, en algunos casos, mejor aceptadas; este es un punto, sin duda, favorable y atractivo para los consumidores. Conviene, por lo tanto, resaltar los componentes diferenciadores de estas especies, tanto nutritivos como funcionales (vitaminas, fibra, antioxidantes, minerales), que hacen de sus productos algo distinto de los existentes. En este contexto, cabe destacar a la vez la procedencia de la materia prima (zonas áridas o semiáridas poco contaminadas); su contribución al mantenimiento natural de los ecosistemas de los cuales provienen; el uso de aguas limpias en el riego y todas las ventajas que este cultivo posee para la protección del ambiente y el control de la erosión. Son aspectos que se pueden dar a conocer a través de campañas de comercialización especiales o utilizando las mismas etiquetas de los productos, a fin de que los consumidores valoren el aporte -más allá de la nutrición- que hacen los nopales.

Capítulo 5

Uso de los cladodios del nopal en productos alimenticios

DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE PRODUCTOS

Conservar los productos hortofrutícolas en buen estado durante más tiempo para poder acceder a mercados diversos y distantes, obtener productos de mayor valor agregado y mayor potencial de comercialización, ampliar la vida de anaquel y la disponibilidad del producto a lo largo de todo el año, regular los precios en caso de sobreoferta en el mercado del producto en fresco, así como generar empleo son, entre otros aspectos, las principales ventajas y razones de ser de la industrialización de la producción agropecuaria (Corrales y Flores, 2003).

El procesamiento e industrialización del nopal resulta de gran interés, dado que es tecnológicamente posible y que puede ser económicamente viable y rentable dependiendo de algunos factores mercadotécnicos y organizacionales; además constituye un beneficio para los productores agrícolas marginales de las zonas áridas.

En este Capítulo se aborda la experiencia existente en la transformación y uso del nopal para producción de alimentos, utilizando tanto los cladodios tiernos (nopalitos) como los cladodios maduros. Los principales productos de la industria alimentaria asociada al nopal en el Sur de Estados Unidos de América y México son los nopalitos (nopal verdura) preparados en salmuera o en escabeche, salsas de nopalito, otros alimentos con nopalitos, mermeladas y dulces de nopalito, bebidas y harina de nopal. Los nopalitos en salmuera o escabeche son los de mayor antigüedad, su producción industrial se inicia aproximadamente en la década de 1970 y son los más importantes por los volúmenes procesados y consumidos. Más adelante se describen estos productos.

Las salsas de nopalitos son productos elaborados a base de nopalitos molidos con adición de chiles, tomate, cebolla, vinagre y especias en diferentes proporciones y en ocasiones con adición de un conservante. El cocimiento de los nopalitos antes del envasado es opcional. Los ingredientes varían; algunas empresas adicionan otros vegetales o ingredientes, como vino blanco, concentrado de limón u otros. Las salsas pueden presentarse con nopalitos en trozos o molidos, según sea la preferencia del mercado al que se destina.

Recientemente, en México ha surgido una serie de alimentos procesados a base de nopal, como los siguientes:

- nopalitos en salsa: son nopalitos enlatados con diversas salsas, como nopalitos en salsa de chile o ají picante

Joel Corrales-García

*Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma de Chapingo
México*

Carmen Sáenz

*Departamento de Agroindustria y Enología
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
Chile*

- paté 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
- nopalitos con atún: es una ensalada denominada «Azteca» que contiene atún, frijoles, nopalitos y chiles o ajíes picantes tipo jalapeño; la presentación comercial de este producto es enlatado
- los nopalitos en salsa, con atún, champiñones, embutidos o verduras, forman un grupo de productos que se pueden denominar nopalitos adicionados con alimentos, presentaciones que ya están aceptadas por el mercado mexicano
- cereal con nopal: es un peletizado de harina y salvado de trigo y polvo de nopal deshidratado, con maltodextrinas, cuyo principal aporte es fibra hidrosoluble; se envasa en polietileno y cajas de cartón
- harina de cereal y nopal: es un polvo fino, resultado de la molienda del 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, galletería 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 las personas afectadas por estreñimiento y el nopal es una fuente importante de este tipo de fibras.

CLADODIOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Los productos hortofrutícolas mínimamente procesados -como el nopalito-, se preparan y manejan para mantener su condición fresca, pero al mismo tiempo para dar importantes ventajas al usuario o consumidor final. Si bien son más caros que el producto a granel, los productos mínimamente procesados -actualmente de gran éxito- a menudo son más económicos debido al menor consumo de energía y a la mejor utilización de la materia prima. Tal como se indicó anteriormente, los productos mínimamente procesados también se conocen con otros términos como «productos cortados frescos», «ligeramente procesados», «parcialmente procesados», «procesados frescos» o «pre-preparados».

La preparación de los productos mínimamente procesados, implica operaciones de limpieza, lavado, recortado, rebanado, cortado en tiras y otros pasos del procesamiento, muchos de los cuales incrementan la perecibilidad de los vegetales. Los consumidores esperan que los productos mínimamente procesados sean visualmente aceptables y apetitosos.

Acerca de las características generales de estos productos hay amplia información publicada que hace mención a ello (Kader y Rolle, 2004; Barbosa-Cánovas *et al.*, 2003; Cantwell y Suslow, 2002; Wiley, 1997); aquí se indicarán brevemente algunas consideraciones que se juzgan de especial interés para comprender esta tecnología aplicada, en este caso, a los nopalitos.

Los vegetales mínimamente procesados presentan por lo general mayores tasas de respiración que los productos originales, lo que indica un metabolismo más activo y, por lo general, una tasa de deterioro más acelerada. El incremento de la demanda de oxígeno debido a las mayores tasas de respiración, implica la necesidad de películas de empaque con suficiente permeabilidad al oxígeno para prevenir la fermentación y malos olores. La selección de la película plástica como material de empaque implica el logro de un balance entre la demanda de oxígeno del producto (consumo de oxígeno por respiración) y la permeabilidad de la película al oxígeno y al bióxido de carbono. En la práctica, las películas a menudo se seleccionan en base a la tasa de transmisión de oxígeno (expresada en unidades de $\text{ml}/\text{m}^2/\text{día}/\text{atm}$). En la selección de la película de empacado es necesario considerar varios factores inherentes al producto: la tasa de

respiración y específicamente la tasa respiratoria del mismo producto pero cortado, la cantidad de producto, y las concentraciones de equilibrio de O₂ y CO₂ deseables. Las características de la película plástica que se necesitan considerar incluyen: 1) la permeabilidad al O₂, al CO₂ y al agua de un determinado tipo y espesor de película plástica y a una determinada temperatura; 2) el área superficial total del empaque sellado; 3) el volumen libre dentro del empaque.

El daño físico y las lesiones causadas por la manipulación incrementan la respiración y la producción de etileno en pocos minutos, con incrementos asociados de otras reacciones bioquímicas responsables de cambios en color (incluyendo el oscurecimiento), de sabor, de textura, y de calidad nutricional (contenido de azúcares, ácidos y vitaminas). El grado de procesamiento y la calidad del equipo (p. ej., el filo de las cuchillas), afectan significativamente la respuesta al daño.

Para minimizar las elevadas tasas de respiración y de actividad metabólica de los productos mínimamente procesados se requiere la conservación en frío con un estricto control de temperatura. En general, todos los productos mínimamente procesados se deben almacenar dentro del rango de 0 - 5 °C para mantener su calidad, seguridad y vida de anaquel y dentro de lo posible a 0 °C; esto también se aplica a productos hortofrutícolas sensibles al frío como los nopalitos.

Los conceptos sobre la higiene de procesamiento de los frutos de nopal mínimamente procesados son válidos también para el caso de los nopalitos mínimamente procesados. Además, durante la distribución y exposición del producto puede subir inadecuadamente la temperatura con lo que algunos microorganismos peligrosos pueden crecer y desarrollarse aún bajo condiciones de refrigeración y atmósferas modificadas (Corrales *et al.*, 2004).

Por otra parte, los microorganismos difieren en su sensibilidad a las atmósferas modificadas. Las atmósferas con bajo contenido de oxígeno (1 por ciento) generalmente tienen poco efecto en el crecimiento de hongos y bacterias. Para tener efectividad en el control del crecimiento microbiano, generalmente se necesitan niveles de concentración de CO₂ de 5-10 por ciento. Altas concentraciones de CO₂ pueden afectar indirectamente el crecimiento microbiano retardando el deterioro (ablandamiento, cambios en la composición) del producto. Las atmósferas con alta concentración de CO₂ pueden tener un efecto directo al bajar el pH celular y afectar el metabolismo de los microorganismos. Los hongos generalmente son muy sensibles al CO₂, mientras que las levaduras son relativamente resistentes a este gas.

Los materiales de los envases influyen sobre la humedad y la composición atmosférica que rodea a los productos mínimamente procesados y pueden afectar el contenido microbiano. Las atmósferas modificadas causan cambios en la composición de la microflora de los productos mínimamente procesados. Por ejemplo, es posible suprimir el avance del deterioro bacteriano común mediante el empaque en atmósfera modificada; sin embargo, esto no se logra con ciertos patógenos como *Listeria monocytogenes* que puede desarrollarse a temperaturas muy bajas en atmósferas modificadas.

Las atmósferas modificadas pueden prolongar, desde el punto de vista visual, la vida de anaquel de los productos cortados frescos reduciendo el deterioro causado por microorganismos comunes. Sin embargo, microorganismos como *Listeria monocytogenes* que no provocan síntomas evidentes de deterioro, se podrían desarrollar a niveles altos al final de la vida visual de anaquel en productos empacados con atmósferas modificadas.

Rodríguez-Félix y Soto-Valdés (1992) estudiaron el comportamiento de nopalitos mínimamente procesados, envasados en bolsas de polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), con y sin vacío y en almacenamiento a diferentes temperaturas (5 °C y 20 °C). La permeabilidad de estas películas era para el LDPE 3,367 ml O₂/m²/día/atm y para el HDPE 3,626 ml O₂/m²/día/atm, la primera con un espesor de 0,057 mm y

la segunda de 0,0273 mm. Los cambios en la calidad de los nopalitos indican que se produce un oscurecimiento superficial, exudación de mucílago y un cambio de color de la superficie desde un verde brillante a un verde-pardo que limita la vida de anaquel a 1-3 días a 20 °C y a 6-8 días a 5 °C. Para mejorar la vida útil de almacenamiento de nopalitos mínimamente procesados, Cantwell (1999) recomienda mantener limpia y seca la superficie cortada y almacenar los trozos a bajas temperaturas (0 a 5 °C).

En el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma de Chapingo se han hecho algunos estudios preliminares (Corrales *et al.*, 2004) sobre vegetales mínimamente procesados, específicamente en nopal verdura, tunas y pitayas (Cactáceas). En relación al procesamiento mínimo de nopalitos, a continuación se presentan los resultados más relevantes.

FRUTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

En nopalitos (*Opuntia ficus-indica*) cv. *Milpa Alta* mínimamente procesados, se evaluó el efecto de dos temperaturas de refrigeración: 4 °C ± 1 °C y 10 °C ± 1 °C y tres películas plásticas para el embolsado: polietileno de 35 µm (PE 35), polipropileno de 25 µm (PP 25) y polipropileno de 50 µm (PP 50). De los resultados, se concluyó que:

- los menores contenidos de etanol (38,8 y 12,4 mg/100 g) se presentaron a 10 °C con PP 25 y PP 50, respectivamente, y a 4 °C con PE 35; el menor cambio de color ($\Delta E = 5,6$) se observó a 4 °C con PP 25 y el mayor ($\Delta E = 32,2$) a 10 °C con PP 50. Cabe señalar que el ΔE se refiere al cambio total de color del producto para lo cual, y de acuerdo con Hunter y Harold (1987) y Calvo (1989), se toman los valores iniciales y finales de color, ya sea con respecto a un patrón o a la misma muestra al inicio del almacenamiento, y se aplica la siguiente expresión:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

- en general, los mejores resultados (menor producción de etanol, menor cambio de color, menor cambio de firmeza) se obtuvieron a 4 °C con bolsas selladas de PP 25.
- del análisis factorial se concluyó que no hubo interacciones entre factores, no hubo efecto significativo del tipo de película en pérdida de peso, de acetaldehído ni ángulo de tono. El mayor contenido de etanol y acidez titulable se presentó con la película PE 35, el mayor cambio de color y penetración (ablandamiento) con PP 50 y la mayor luminosidad con PP 25 (Cuadro 16).

El factor temperatura no tuvo efectos significativos en la producción de acetaldehído y etanol, en la luminosidad ni en la penetración (ablandamiento); sin embargo, los mayores registros de pérdida de peso, cambio de color, amarillamiento (menor ángulo de tono) y pH (menor acidez), se presentaron a 10 °C (Cuadro 17).

CUADRO 16

Efecto del tipo de película plástica sobre diferentes variables: respuesta en nopalitos mínimamente procesados y refrigerados a 4 °C y 10 °C

Variable	Tipo de película			Condición inicial
	Polietileno de 35 µm	Polipropileno de 25 µm	Polipropileno de 50 µm	
Pérdida de peso (%)	0,327 a	0,25 a	0,241 a	
Acetaldehído (mg/100 g)	5,60 a	3,32 a	3,10 a	2,47
Etanol (mg/100g)	158,84 a	95,87 ab	90,62 ab	14,67
Cambio de color (ΔE)	13,30 b	9,33 b	25,21 a	
Ángulo de tono (°)	103,7 a	107,36 a	102,3 a	119,17
Luminosidad (L*)	49,24 ab	51,94 b	41,6 c	57,0
Penetración en pulpa (mm)	6,0 b	5,59 b	10,0 a	6,06
pH	5,53 b	6,18 a	5,97 a	5,2
Acidez titulable (% ácido málico)	0,295 a	0,240 b	0,26 b	0,387

Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0,05$)

Fuente: Corrales *et al.* (2004).

CUADRO 17

Efecto de la temperatura sobre diferentes variables: respuesta en nopalitos mínimamente procesados después de 15 días de refrigeración

Variable	Temperatura (°C)		Condición inicial
	4	10	
Pérdida de peso (%)	0,130 b	0,459 a	
Acetaldehído (mg/100 g)	3,88 a	4,05 a	2,47
Etanol (mg/100 g)	117,12 a	110,69 a	14,67
Cambio de color (ΔE)	9,71 b	20,87 a	
Ángulo de tono (°)	114,3 a	94,62 b	119,17
Luminosidad (L*)	48,9 a	46,28 a	57,0
Penetración en pulpa (mm)	7,26 a	7,13 a	6,06
pH	5,68 b	6,10 a	5,2
Acidez titulable (% ácido málico)	0,384 a	0,242 b	0,387

Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Fuente: Corrales et al. (2004).

Es importante partir de nopalitos de la más alta calidad y contar con instalaciones adecuadas para realizar los procesos de manera aséptica.

JUGOS Y BEBIDAS

El jugo de nopal es el extracto obtenido de la molienda y prensado de los nopalitos. El proceso de obtención del jugo de nopal consiste en moler en un equipo industrial o doméstico (licuadora) los nopalitos previamente desespinaados y cortados; para facilitar el proceso se adiciona agua y el licuado obtenido se filtra para separar los sólidos en suspensión del líquido.

En México el jugo de nopal es producido por una empresa que lo mezcla con jugo de guayaba y lo comercializa en el mercado nacional y de exportación. Además, se encuentra en el mercado un producto denominado «agua de nopal», bebida elaborada con jugo de nopal y azúcar.

Otros productos de interés, son los jarabes de nopal, que se elaboran en base a jarabe de sacarosa (55-75 °Brix) a los que se adiciona jugo de nopal. En Texas, Estados Unidos de América, existe una empresa que produce jarabes de zarzamora y arándano, adicionándoles mucílago de nopal.

Rodríguez (1999) evaluó varias formulaciones de una bebida a base de nopal, utilizando nopalitos previamente escaldados a 95 °C, licuados y filtrados. Observaron que la mejor formulación era aquella en la que el licuado estaba diluido en agua al 30 por ciento adicionado de ácido cítrico hasta pH 3,5 y aspartamo, como edulcorante, en concentración de 1 g/335 ml. El producto se pasteurizó a 76 °C durante 15,2 minutos, con escaso daño a los nutrientes o a otros compuestos termolábiles del producto.

MERMELADAS Y DULCES

La mermelada de nopalito se elabora en base a nopalitos molidos y cocidos, con una concentración variable de azúcar, pectina y conservadores. El detalle de su elaboración se presenta en el Capítulo 6. En términos generales, su procesamiento consiste en picar el material previamente escaldado y después someterlo a cocción y a molienda; luego se calienta para agregar gradualmente el azúcar a partir del punto de ebullición. Antes de terminar de agregar el azúcar se adiciona pectina, benzoato de sodio y ácido cítrico en diferentes proporciones, se mezcla y se termina de agregar el azúcar. La mezcla se calienta hasta una concentración de 65 °Brix y la pectina se agrega disuelta en un jarabe. Si no hay una buena formación de gel, se puede incrementar la relación pectina-ácido cítrico.

En México se han efectuado pruebas de elaboración de mermelada de nopal con distintas proporciones de tejocote (*Crataegus pubescens*), lográndose con una proporción nopal:tejocote de 4:1 una formulación agradable, con buena gelificación

y un a_w de 0,895. De modo similar a lo señalado anteriormente, se adiciona ácido cítrico hasta pH 3,2, pectina y se concentra hasta 65 °Brix. Los autores señalan que la aceptación del producto fue superior al 95 por ciento en aroma, sabor, apariencia y textura (Sánchez *et al.*, 1990).

En ensayos efectuados en Chile por Sáenz *et al.* (1995b), país en el que no se acostumbra a consumir el nopalito bajo ninguna forma, se obtuvo una buena aceptación de una mermelada de nopal elaborada en mezcla con jugo y cáscara de limón. Se utilizaron cladodios de un año escaldados y pretratados con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a fin de mejorar la textura y disminuir el contenido de mucílagos. Teniendo en cuenta que el cladodio posee sabor y aroma levemente herbáceo, se incorporó en la formulación jugo y corteza de limón, que además contribuye a incrementar la baja acidez natural de esta materia prima. Debido a que el cladodio no aporta pectinas y no se logra la consistencia adecuada para la mermelada, se adicionó carragenina en una proporción de 0,3 por ciento. La mermelada presentó 67 °Brix, un pH de 3,8, un a_w de 0,82 y una consistencia de 2,9 cm/min, parámetro importante en la calidad de este tipo de productos. El análisis sensorial de la mermelada de nopal, presentó una aceptabilidad de 7,5 en una escala de 1 a 9, lo que es auspicioso para un producto nuevo; dentro de sus características de calidad el panel de catadores indicó una apariencia buena, una consistencia moderada, un sabor agradable, color, acidez y dulzor normales.

Otro tipo de productos son los llamados en México dulces de nopalito, en los que se incluyen los cristalizados o confitados; todos estos productos, con algunas variantes, se obtienen luego de un proceso cuyo ingrediente principal es el azúcar, con la adición en algunos casos de otros alimentos como los frutos secos. La diversidad de dulces de nopal es muy grande, así como sus procesos de elaboración, incluso los nombres con los que se conocen un mismo tipo de dulce varían según la región. Los principales son: caramelos, jaleas, gomitas, laminillas, confitados, palanquetas de nuez con mucílago de nopal, almíbares y otros. Acerca de los confitados, y por el especial interés que pueden tener en el uso de los nopales en variadas zonas del mundo, en el Capítulo 6 se analizan los fundamentos de esta tecnología.

Un proceso básico para la elaboración de nopal cristalizado, de acuerdo con Pérez (Comunicación personal)¹, utiliza nopalitos desespinaados, lavados con agua y cortados en porciones rectangulares de aproximadamente 1 cm de lado; luego se escaldan a 80 °C (2 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 previamente con una solución de hidróxido de calcio al 5 por ciento durante 24 horas, después se lavan con agua corriente para eliminar la cal y se escurren. A continuación se someten a un 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) la que, según la tradición popular, ayudaría a mantener la textura de los nopalitos debido, probablemente, al calcio que supuestamente aporta la misma. Los nopalitos se agregan al jarabe para someterlos a un tratamiento térmico de 80 °C durante 20 minutos al término del cual los nopalitos se retiran del jarabe y se incrementa su concentración 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 bandejas 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 envase.

Villarreal (1997), utilizando una metodología similar a la descrita antes, pero con un deshidratado osmótico más lento (inicio con jarabes de 40 °Brix hasta jarabes de 70 °Brix, aumentando la concentración del jarabe en 10 °Brix por día), probó diferentes mezclas de azúcares para elaborar los jarabes (100 por ciento de sacarosa; 80:20 =

¹ Mario Pérez. Ingeniero Químico. Secretaría de Desarrollo Social. Delegación Tlaxcala, México. 2003.

sacarosa:glucosa y 70:30 = sacarosa:glucosa), concluyendo que el mejor tratamiento se lograba con jarabes con 100 por ciento de sacarosa. El nopal, trozado en cubos fue tratado previamente con una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al dos por ciento, a fin de mejorar su textura y eliminar el mucílago. Luego del tratamiento osmótico los trozos de nopal se deshidrataron hasta llegar a una humedad aproximada de 15 por ciento. El producto final tenía las características siguientes: 88,4 por ciento de sólidos totales, 11,6 por ciento de humedad, 75,6 ° Brix, 0,27 por ciento de ácido cítrico, 0,63 por ciento de cenizas y un a_w de 0,59; presentaba, además, un marcado color verde ($L^* = 27,1$, $a^* = -2,4$, y $b^* = 3,6$). Estos productos son altamente energéticos (289 kcal/100 g), similar a las uvas pasas (259 kcal/100 g) y a los higos deshidratados (250 kcal/100 g). La aceptabilidad de este producto fue de 6,5 en una escala de 9 puntos; la textura fue calificada como buena en la misma escala (Lámina 11). Durante el almacenamiento del producto (tres meses a 15 - 18 °C), se observó una disminución en la textura, debido probablemente a problemas derivados de cierto grado de recristalización por la alta concentración de sacarosa.



C. SÁENZ

Lámina 11
Cladodios confitados
Chile, 1997

NOPALITOS EN ESCABECHE Y EN SALMUERA

El procesamiento de los nopalitos, para cualquier presentación (nopalitos en salmuera o en escabeche), se inicia con la recepción y el acondicionamiento de la materia prima; los nopalitos, deben ser de la mejor calidad y estar ya desespinaados. 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 (Sáenz *et al.*, 2002a). El escaldado se puede hacer pasándolo por un cilindro con vapor durante 10 minutos o directamente, sometiendo el nopalito a cocción, hirviéndolo en agua durante 30 minutos. Es importante ajustar el tiempo y la temperatura de proceso a las características de la variedad de nopalito de que se disponga (Sáenz *et al.*, 2002a).

El nopalito del nopal silvestre como el tapón (*Opuntia robusta*) soporta mayores temperaturas y tiempo de cocción que el nopalito cultivado, como el de la variedad *Milpa Alta* (*Opuntia ficus-indica*) (Corrales y Flores, 2003).

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 eliminar el mucílago adherido (Corrales-García, 1998).

NOPALITOS EN ESCABECHE

Son nopalitos escaldados y conservados en vinagre, aromatizados con especias con un máximo de dos por ciento de ácido acético, solos o combinados con verduras y/o condimentados. El proceso consiste básicamente en cortar o picar (manual o mecánicamente) los nopalitos previamente acondicionados (limpios y desespinaados), 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 por ciento de ácido acético), plantas aromáticas y aceite. 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 hervir 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 pelados 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,

CUADRO 18
Etiquetado nutricional de nopalitos en escabeche comercial

Característica	Valor
Energía	27 Kcal
Proteína	1,7 mg
Grasa	0,3 mg
Hidratos de carbono	5,6 mg
Calcio	81 mg
Hierro	2,34 mg
Tiamina (vitamina B)	0,02 mg
Riboflavina	0,08 mg
Niacina	0,24 mg
Ácido ascórbico	12,30 mg
β Caroteno	0,25 mg

Fuente: Instituto Nacional de Nutrición, México

Dos marcas presentes en el mercado, indican (Cuadro 18) que una porción de 100 g de su producto contiene o aporta:

NOPALITOS EN SALMUERA

Son nopalitos escaldados y conservados en solución salina (máximo 2 por ciento de NaCl), en cuyo proceso de producción se suelen utilizar los nopalitos ya acondicionados; algunas empresas los salan con salmuera al 12 por ciento. Los nopalitos pueden permanecer en estos recipientes desde 10 días hasta varios meses. Durante este período 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 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 por ciento) y, en ocasiones, conservante. El producto también puede comercializarse a granel, sin desalar (Sáenz *et al.*, 2002a; Corrales y Flores, 2003). Estos nopalitos en salmuera se pueden emplear en la preparación de diferentes platos.

El rendimiento del proceso desde nopalitos con espinas hasta nopalitos en salmuera para la venta es de alrededor de 57 por ciento, dependiendo del proceso y de su desempeño.

Los productos son de apariencia muy variable y abundan aquellos que han perdido el color verde brillante original de los nopalitos debido a la degradación de la clorofila por los tratamientos térmicos o la acidificación a que se ha sometido el producto. Por ello, algunas investigaciones apuntan a mejorar este aspecto (Montoya *et al.*, 2001), introduciendo algunas variantes a los procesos de obtención tradicionales.

Al igual que en el caso de los nopalitos en escabeche, la oferta en el mercado mexicano es variada; existen más de 20 marcas de nopalitos en salmuera y también hay fábricas en Texas, Estados Unidos de América. La presentación es en frascos de vidrio y latas. Una de las empresas elaboradoras ofrece, además, un puré de nopalito.

Dos marcas presentes en el mercado mexicano de nopalitos en salmuera y en escabeche declaran el contenido del producto en su etiqueta que se presenta en el Cuadro 19.

La marca B incluye además en la etiqueta, el contenido de sodio (940 mg o 39 por ciento del aporte diario requerido) y colesterol (0); esto último es lógico en un producto vegetal.

La información que aparece en las etiquetas es variable, pero se tiende a dar a conocer al consumidor cada vez con más detalle las características de los productos que consume y del aporte que estos significan a la dieta diaria.

se escurren hasta secarse y luego se etiquetan (Sáenz *et al.*, 2002a; Corrales y Flores, 2003).

En el mercado mexicano se puede encontrar una gran variedad de nopalitos en escabeche; existen actualmente más de 25 marcas diversas, las que se elaboran con diferentes especies y se ofrecen envasadas en bolsas plásticas, en latas o en frascos. En Texas (Estados Unidos de América) también se prepara este tipo de productos, el que se presenta como *Sweet & hot cactus* o *Kosher dill cactus*.

Varias presentaciones comerciales de nopalitos en escabeche incluyen en su etiqueta la información nutricional correspondiente. A continuación se presentan algunos ejemplos.

CUADRO 19
Etiquetado nutricional de nopalitos en escabeche comerciales

Componente	Contenido Marca A	% Valor diario requerido*	Contenido Marca B	% Valor diario requerido
Kcal de grasa	0	0	0	0
Carbohidratos totales	2,03 g	0,67	5	2
Fibra dietética	2 g	18,79	2	8
Azúcares	0 g	0	1	-
Proteína	0,6 g	-	1	-
Vitamina C		3		
Hierro		8		

Elaborado por los autores en base a lo declarado en las etiquetas de los productos.

*Los valores de los porcentajes diarios están basados en una dieta de 2 000 Kcal. Sus valores pueden ser más altos o más bajos dependiendo de sus necesidades calóricas.

En la Lámina 12 se observan diversos productos presentes en el mercado mexicano a base de nopalitos.

Una experiencia interesante es la realizada en la Universidad de Chile conjuntamente con investigadores del CIAD (Hermosillo, México). Teniendo en cuenta que los nopalitos son una hortaliza que puede presentar beneficios si se incluyera en la dieta de países que no acostumbran a consumirlos como es el caso de Chile (Sáenz y Montoya, 1999), se efectuaron estudios preliminares para la introducción de este vegetal en la dieta. Se evaluó para ello, la aceptabilidad sensorial de nopalitos en salmuera utilizando un panel de catadores. El nopalito que se evaluó se preparó de acuerdo a lo propuesto por Montoya *et al.* (2001) y cuya tecnología que se detalla en el Capítulo 6. Sin embargo, vale la pena indicar algunos resultados de la evaluación sensorial de este producto, desconocido para los consumidores chilenos y que logró en el panel de



Lámina 12
Nopalitos en escabeche y salmuera
(a, b, c) México, 2005. (d) México, 2005.

catadores, una aceptación de 11 en una escala de 15 puntos. El producto se presentó a los evaluadores bajo la forma de una ensalada, formulada de acuerdo a la tradición del país (Sáenz *et al.*, 2000). Cabe señalar que dos de los atributos que podrían haber repercutido negativamente en la aceptación de los productos, eran el aspecto y la textura mucilaginoso. Estos elementos, si bien los jueces detectaron diferencias significativas entre un control (nopalito cocido a 100 °C por 10 minutos) y los nopalitos procesados, no influyeron en la aceptabilidad, atributo en el cual no se detectaron diferencias, lográndose una buena calificación. Estos resultados son alentadores, teniendo en cuenta que muchas zonas del mundo, con escasez de alimentos podrían verse beneficiadas por la introducción de los nopalitos en su dieta alimenticia.

HARINAS

La harina de nopal se obtiene por deshidratación y molienda de los cladodios, los que pueden ser de distintas edades; esto influirá en sus características. Esta harina tiene aplicación reciente en la industria panificadora en la preparación de galletas, pastas, cremas y postres o bien en la de fibras dietéticas peletizadas. Esta última aplicación resulta importante, en virtud de que el consumo de fibras de tipo soluble, representa una mejoría significativa de los procesos digestivos con problemas de estreñimiento y el nopal es una fuente importante de este tipo de fibras.

Sáenz *et al.* (1997d) informaron sobre algunas características químicas y físicas de una harina de nopal preparada utilizando una mezcla de cladodios de distintas edades (1, 2 y 3 años) (Cuadro 20). Este producto presentó 43 por ciento de fibra dietética total, de la cual 28,45 por ciento es fibra insoluble y el 14,54 por ciento es soluble, su a_w es baja, su color es verde pálido brillante, de baja intensidad, 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 (IAA = 5,6 ml/g) lo que explica el efecto de satisfacción que provoca su consumo.

En el aporte de minerales de la harina, se destaca la contribución de calcio (3,4 mg/g) y de potasio (2,1 mg/g) y es muy baja en sodio (0,02 mg/g). El contenido de calcio es bastante alto, considerando que la ingesta diaria recomendada para un adulto es de 800 mg; sin embargo, hay que tener en cuenta lo señalado anteriormente respecto a su biodisponibilidad. En relación al aporte energético, este fue de 145,3 kcal/100 g. Este valor es más bajo que el de las harinas de trigo y leguminosas que oscila entre 325-357 kcal/100g (Schmidt-Hebbel *et al.*, 1990). Respecto al análisis microbiológico, el recuento total fue de 3,3 ufc/g y el recuento de hongos y levaduras 4,6 ufc/g. Además cabe destacar, que la harina de nopal no se consume en forma directa, sino incorporada a otros productos que generalmente se someten a tratamientos térmicos.

Esta harina se ha ensayado a nivel experimental para enriquecer con su aporte de fibra productos como sopas de verduras, postres tipo flan y galletas. Esto es de especial interés, teniendo en cuenta que en general las dietas de muchos países son bajas en fibra y que este compuesto es altamente saludable.

Un punto a tener en cuenta, cuando se incorpora este producto a alimentos líquidos o semilíquidos como sopas o cremas y flanes o postres que tienen cierto grado de gelificación, son las características de viscosidad o reológicas que posee la harina, ya que podrá influir significativamente en las características, principalmente sensoriales, de los productos a los que adiciona. Lecaros (1997) efectuó un estudio en el que consideró dispersiones modelo de harinas de nopal a distintas concentraciones (2,5, 5,0 y 7,0 por

CUADRO 20

Características de la harina de nopal

Análisis	Valor
a_w	0,53
Color	
L*	73,37
a*	-5,20
b*	26,1
IAA (ml/g)	5,6

Fuente: Sáenz *et al.*, (1997d).

ciento) y pH (4,0, 6,0 y 7,0); esto último, a fin de cubrir el rango en que se encuentran, en general, los alimentos. Observó las modificaciones de la viscosidad a diferentes temperaturas (10, 20, 40 y 70 °C) ya que los alimentos se procesan o consumen luego de un tratamiento térmico, después del cual, en algunas ocasiones dependiendo del tipo de producto se enfrían para su consumo. La mayor influencia la ejercen la temperatura y la concentración, no así el pH, que es el que menos hace notar su efecto. Las condiciones en que la dispersión alcanza la mayor viscosidad, es con 7,0 por ciento de concentración, pH 7,0 y a 10 °C, llegando en estas condiciones a 2 307,0 mPa s. Estos datos son de interés para la formulación de alimentos.

Otros factores que influirían sobre las propiedades reológicas, y que han sido poco estudiados hasta ahora, son, por una parte el efecto que tiene la temperatura de secado de los cladodios sobre estas propiedades. Existen antecedentes de que secados a temperaturas de 75 - 80 °C hacen que las suspensiones de harinas disminuyan su viscosidad lo que haría posible aumentar la proporción de la harina en los alimentos formulados (Lecaros, 1997). Sin embargo, habría que verificar los cambios sufridos por la fibra dietaria.

El otro factor, relacionado con el manejo agronómico de la especie, podrían ser las variaciones en el contenido de mucílago que experimenta la planta. Nobel *et al.* (1992) señalan que la temperatura ambiente puede influenciar el contenido de mucílago de los cladodios; es posible que también influyan el riego y la lluvia.

Al formular una crema de verduras con harina de nopal (Sáenz, 1997; Sáenz *et al.*, 1999), utilizaron los mismos ingredientes que llevan los productos comerciales (harina de trigo, espinaca deshidratada, cebolla, leche descremada, azúcar, cloruro de sodio, saborizantes) y se reemplazó parte de la harina de trigo que normalmente llevan estas formulaciones por un porcentaje de harina de nopal (entre 15 - 25 por ciento). Se observó que el grado de reemplazo influye significativamente sobre las características sensoriales de la crema de verduras, de modo que la sopa con 15 por ciento de reemplazo fue la mejor calificada en cuanto a aceptabilidad (puntaje 7 en una escala de 1 - 9); a su vez, los parámetros sensoriales de apariencia, color, aroma, fueron bien calificados, pero, sin embargo, la viscosidad fue considerada alta. Este atributo tiene una gran influencia en la aceptabilidad del producto, por lo que si se mejorara esta característica, se podría mejorar a su vez la aceptación de la crema. Con ese porcentaje de reemplazo y comparando el producto en su aporte de fibra con sus similares comerciales presentes en el mercado, se observó que esta formulación presenta 5,5 veces más fibra dietética que una formulación comercial y su aporte calórico es menor (Albornoz, 1998).

El uso de harina de nopal en formulaciones de postres o flanes (Sáenz *et al.*, 2002b) se efectuó adicionando a una formulación base diferentes porcentajes de harina de nopal (16 - 18 por ciento) y los ingredientes comúnmente empleados en este tipo de polvos para preparar en forma doméstica, [leche descremada, espesantes (carragenina, goma guar), edulcorante, saborizante, sal]; la elección del saborizante y aromatizante es de especial importancia, teniendo en cuenta que la harina tiene un aroma herbáceo que puede no ser agradable para algunos consumidores.

El flan en polvo presentó una actividad de agua de 0,48, lo que asegura una buena conservación desde el punto de vista microbiológico. Su composición química se observa en el Cuadro 21.

De la fibra presente, el 6,1 por ciento es fibra dietética soluble y 3,7 por ciento fibra insoluble, lo que estaría influenciado por la

CUADRO 21

Composición proximal del flan en polvo (g/100g)

Parámetro	Promedio
Humedad	5,72
Proteína	27,2
Extracto etéreo	2,0
Cenizas	12,7
Fibra	9,8
Extracto no nitrogenado	42,6

Fuente: Sáenz *et al.*, (2002b).

² Teresa Arellanos, Gente Latina y Desarrollo, SA de CV, México, 2005

goma guar y la carragenina, además de lo que aporta la harina de nopal. Una porción de 100 g de postre reconstituido aporta 1,2 g de fibra dietética, lo que es superior a otros productos similares presentes en el mercado. Este producto es bajo en calorías (40,3 kcal/porción), ya que fue formulado con un edulcorante no calórico; un flan con azúcar aporta cerca de 90 kcal/porción.

Estos polvos, tanto el formulado para preparar cremas de verduras como para postres, son sólo algunos de los modos en que se podría aprovechar la harina de nopal en la formulación de alimentos; sin embargo, en el primero de ellos, por ser líquido, influye más la presencia del mucílago de nopal. Como ya se indicó, se considera necesario continuar los estudios para mejorar este aspecto.

Entre los productos secos a los que se puede incorporar harina de nopal, se encuentran las galletas (Sáenz *et al.*, 2002c). Este tipo de productos presenta especial interés para la utilización de la harina de nopal, ya que en el mercado existen numerosas formulaciones de galletas tipo integral que los consumidores buscan por considerarlas más naturales y con un mayor aporte de fibra. Es por tanto un producto conocido, que ya tiene un nicho en el mercado; sin duda, queda el desafío de competir con otros productos ya bien aceptados. Fontanot (1999), efectuó diversos estudios acerca de las proporciones en que se puede mezclar harina de nopal con harina de trigo para preparar galletas. Las proporciones fueron un reemplazo entre 15 y 25 por ciento del total de la harina de trigo utilizada en las formulaciones. La formulación base estaba formada por harina de trigo, azúcar flor, manteca, huevo, leche en polvo, sal, bicarbonato de sodio, con el agregado de canela y avena, a fin de dar un sabor similar a algunas galletas ya conocidas por los consumidores. La galleta más aceptada fue la que tenía un reemplazo del 15 por ciento; las mayores limitantes son el sabor y el dejo herbáceo así como la sensación mucilaginoso al momento de degustarlas. Es conveniente continuar los estudios, tanto en lo referente a las características de la harina en cuanto a su aporte de mucílago y a la formulación misma, aumentando quizá la proporción de avena y canela y adicionando otros saborizantes que enmascaren de mejor forma el sabor de la harina.

En México, en el año 2003 se encontró en el mercado la oferta de tortillas con una proporción de harina de nopal (o de nopal fresco) agregada a la tradicional harina de maíz con la que se elaboran estos productos que son de consumo masivo en el país. El producto elaborado con nopal fresco ha tenido buena aceptación en el país (Arellanos, comunicación personal)² y actualmente se comercializa en varios estados de México (Aguascalientes, Jalisco, Zacatecas). En el año 2001 el proyecto para desarrollar este producto ganó el premio de la Red Nacional para el Desarrollo Sustentable de dicho país.

CALIDAD E INOCUIDAD

Los conceptos de calidad a los que se ha hecho mención hasta ahora, rigen también para los productos derivados de nopales y nopalitos.

Para evaluar la calidad de productos o procesos se pueden utilizar indicadores extrínsecos o intrínsecos. Cuando el consumidor es capaz de evaluar un producto mediante sus sentidos o percepciones usa indicadores intrínsecos; aquellos atributos que no pueden ser evaluados directamente por los sentidos o percepciones del consumidor deben ser evaluados mediante otro tipo de indicadores extrínsecos. Dentro de los atributos que no pueden ser evaluados directamente por los consumidores se encuentran, por ejemplo la inocuidad, el valor nutricional, la forma de producción, la protección del medio ambiente y el origen del producto, entre otros. Resulta lógico que estos atributos deban ser evaluados mediante indicadores extrínsecos, como por ejemplo sellos, marcas y certificaciones otorgadas por terceros especialistas (FAO, 2000; 2003).

De acuerdo con Corrales (1994) los programas para el aseguramiento de la calidad e inocuidad se basan en procesos de normalización, control de calidad, inspección,

certificación y acreditación; estos procesos se basan, a su vez, en fundamentos teóricos, cuya discusión escapa a los objetivos de esta publicación.

La normalización es una actividad que fomenta la colaboración entre actores de la cadena, busca la supresión de obstáculos a los intercambios, permite diferenciar la calidad de los productos, bienes o servicios y garantiza protección a los consumidores.

Para el caso de los nopalitos existe la norma *Codex Alimentarius*: CODEX STAN 185-1993. Esta norma rige para los nopalitos acondicionados, envasados y comercializados en fresco. Pero para los nopalitos procesados industrialmente, por ejemplo en salmuera o en escabeche, no existen normas internacionales. Sin embargo, en México existen algunas normas que pueden ser usadas como referencias, por ejemplo la norma mexicana NMX-F-121-1982 sobre «Alimentos para humanos – Envasados Chiles Jalapeños o Serranos en Vinagre o Escabecha» o bien la norma NMX-F-150-S-1981 sobre «Alimentos para Humanos - Determinación de Cloruro de Sodio en Salmueras».

En síntesis, la preocupación permanente para garantizar la calidad ha dado origen a la ejecución de programas de aseguramiento de la calidad e inocuidad con el objetivo de garantizar y certificar los atributos deseados en cualquier producto en general, mediante la elaboración de normas y documentos normativos, la inspección de la aplicación de las normas y finalmente otorgando garantía de estos atributos a través de una marca, un sello o una certificación (FAO, 2003). Sin embargo, para el caso del nopal verdura comercializado en fresco en México, estos programas aún están en etapas primarias, no así para los nopalitos procesados industrialmente.

Las Normas del *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2003) abarcan los principales alimentos, ya sean estos elaborados, semielaborados o crudos. Se incluyen además las sustancias que se emplean para la elaboración posterior de los alimentos, es decir, las materias primas o producción primaria (de la producción al consumo), en la medida que estas sean necesarias para alcanzar los principales objetivos mencionados en el *Codex*: proteger la salud de los consumidores y facilitar prácticas justas en el comercio de alimentos. Por ello, para los alimentos aquí mencionados y sobre los que no existen en particular normas del *Codex Alimentarius*, son útiles las normativas acerca de aditivos y otros aspectos involucrados en la producción de alimentos derivados de los cladodios de los nopales que aborda dicho cuerpo normativo. Es sin embargo deseable, continuar avanzando en estos temas, en beneficio de los consumidores y de la transparencia del comercio mundial.

MERCADEO, SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE CADA PRODUCTO

De acuerdo con Corrales y Flores (2003) se presentan a continuación comentarios sobre la situación actual, las perspectivas de la industria y del mercado de los productos del nopal, enfatizando en aquellos con mayor potencial.

Los nopalitos en salmuera y en escabeche se producen en los Estados Unidos de América y en México; sin embargo, tanto en el estado de Texas como en el de California se cultivan principalmente variedades menos espinosas pero que presentan una cutícula más gruesa, por lo que la aceptación de nopalitos de las primeras nombradas es menor. De acuerdo con Corrales y Flores (1996) en México existen poco más de 20 empresas que elaboran nopalitos en salmuera y en los Estados Unidos de América al menos tres. En México existen más de 25 empresas que fabrican nopalitos en escabeche y al menos una en los Estados Unidos de América. La tendencia de la industria y del mercado de estos productos es al crecimiento, en la medida en que más consumidores de otros países aprecien la comida mexicana y con ella los nopalitos. Además, si se dan a conocer los atributos nutritivos y para la salud de los nopalitos (que son un excelente factor de balance del sabor en ensaladas y alimentos muy condimentados), su mercado podría expandirse.

Con respecto a las salsas de nopalito, se han identificado 15 marcas comerciales, todas en los Estados Unidos de América (nueve en Texas, cinco en Arizona y una

en California), lo que se atribuye a la expansión del mercado de la comida mexicana. En México, las amas de casa que acostumbran a consumir las salsas de nopalitas las elaboran el mismo día, con ingredientes frescos y pocas veces las adquieren ya elaboradas en el mercado. Para los mercados de América del Norte y de 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 probablemente sería conveniente disminuir el contenido de chile picante en las salsas, además de implementar campañas de mercadotecnia.

Por su parte, la estrategia que han seguido algunas empresas para introducir la harina de nopal al mercado, es la de combinar la fibra del nopal con las fibras tradicionalmente usadas.

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 con otras frutas.

Las mermeladas de nopalito se fabrican en Estados Unidos de América y en México. En México existen al menos cuatro empresas y en Estados Unidos de América al menos dos. En este último país existe una empresa en Texas que obtiene el mucílago (mediante molido y filtrado) del nopalito el cual utiliza para mejorar la consistencia de mermeladas 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) en almíbar.

El mercado mundial de las mermeladas de nopalito podría expandirse si se elaborara mezclando el mucílago del nopal con otras frutas y si se promoviera su uso haciendo énfasis en los beneficios sobre la salud que conlleva su consumo. En México, el potencial del mercado de la mermelada de nopalito se considera 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 por ciento del mercado); el resto del mercado se distribuye entre las mermeladas de otras frutas, como piña, durazno, chabacano, zarzamora y naranja, por lo que la demanda de mermelada de nopalito es mínima.

En México se presenta la mayor diversidad de dulces de nopal, desde el nopalito en almíbar a los cristalizados de pulpa de nopal (tejido parenquimatoso), además de las gomitas, bombones (malvaviscos) y caramelos de nopal.

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

Capítulo 6

Producción de alimentos para consumo humano por la pequeña industria

DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS

Existen una gran variedad de alternativas para utilizar la tuna, los nopalitos y los nopales maduros y transformarlos en diversos tipos de alimentos. Algunos de los productos mencionados se han elaborado durante muchos años a nivel doméstico y requieren tecnologías simples y conocidas. Es el caso de los productos concentrados, como las mermeladas, las cuales se preparan tanto a partir de tuna como de nopalito; de los escabeches y salmuerados, principalmente a base de nopalitos y de los productos deshidratados, ya sea de pulpa de tuna o nopalitos para elaborar harinas y otros obtenidos por fermentación del jugo de tuna.

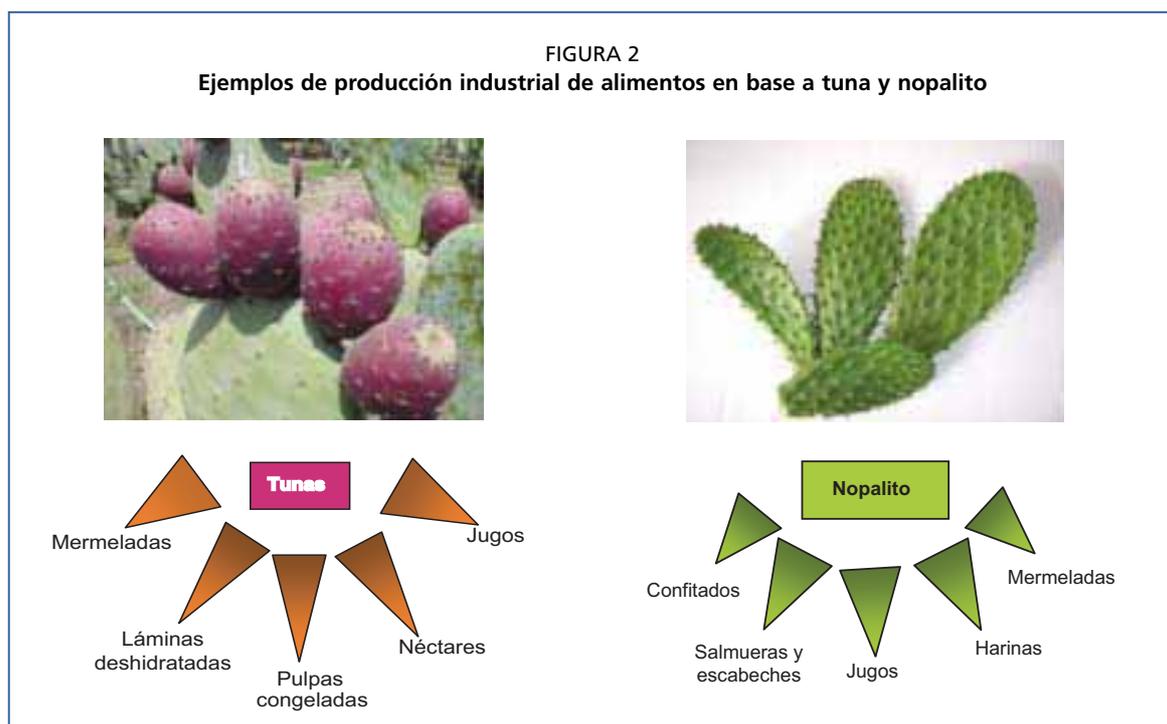
La finalidad con que se elaboran estos alimentos a nivel doméstico, es bien diferente de aquella de los que sufren un proceso industrial. Entre otros objetivos se pretende conservar la tuna y los nopalitos -ambos vegetales perecibles- y evitar que se pierdan por pudriciones o plagas, disponer de ellos fuera de época y especialmente en tiempos de carestía o beneficiarse con una dieta más balanceada. Para la preparación de estos alimentos a nivel doméstico, no se requieren grandes inversiones de capital -del que muchas veces no se dispone- ya que se utilizan tecnologías simples y equipos sencillos disponibles para cocinar en forma corriente e insumos de bajo costo (agua, azúcar, sal).

Hay zonas donde existen nopales silvestres o cultivados, cuyos habitantes, aún conociendo la tuna como cultivo, desconocen otras alternativas de transformación. Por lo tanto, es más probable que en el ambiente rural se comience por aquellos modos de uso o de transformación ya conocidos, porque ya son utilizados en la conservación de otros vegetales. El aprender a utilizar, consumir o transformar una «nueva» especie, siendo concientes de su valor nutritivo y beneficios, suele ser más fácil que introducir nuevas tecnologías, que además de desconocidas, pueden requerir inversiones que no son factibles.

La producción industrial, ya sea a pequeña, mediana o gran escala, difiere no sólo por el objetivo de la transformación a nivel doméstico, sino también por las tecnologías utilizadas, los equipos requeridos y la necesidad de instalaciones e infraestructura adecuadas.

Difiere también en la escala de producción, los requerimientos de mano de obra, la necesaria homogeneidad de la calidad para llegar al mercado y la alta competitividad

Carmen Sáenz y Elena Sepúlveda
Departamento de Agroindustria y Enología
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile
Chile



requerida. Estos factores hacen que las habilidades y los medios que se requieren para una producción a nivel doméstico sean insuficientes en una producción de tipo industrial.

En este Capítulo se abordará la producción de tipo industrial de algunos alimentos derivados de los nopales; para ello se han seleccionado los productos aparentemente más promisorios y atractivos para los consumidores pero cuyas tecnologías son variables en dificultad de su aplicación y de las inversiones necesarias. Algunas de ellas se pueden implementar sin mayores dificultades para distintos niveles de producción y otras requieren mayor infraestructura y, por lo tanto, más capital.

En la Figura 2 se observan los tipos de productos seleccionados, cuyas líneas de procesamiento se explicarán más adelante.

La ventaja que tienen los productos seleccionados, es que las líneas de producción que se implementen para los mismos se pueden utilizar con leves modificaciones para otras especies. La tuna, más que los nopalitos, es un producto estacional por lo que la infraestructura, el equipamiento y el sistema industrial corren el riesgo de ser subutilizados, con la consiguiente pérdida económica.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

A continuación se detallan los requerimientos de materias primas, equipos y otros aspectos a tener en cuenta para la implementación industrial de diversos procesos aplicados a la tuna y a los nopalitos para la obtención de alimentos.

Materias primas

Una de las primeras condiciones requeridas para poder instalar una agroindustria es contar con el suministro de materia prima necesario para su funcionamiento. Esta materia prima, ya sea tuna o nopalito, deberá cumplir con algunos requisitos básicos para ser útil para una transformación agroindustrial: deberá ser de calidad adecuada para el proceso al que será destinada ya que no toda la materia prima es apropiada para cualquier proceso y estar disponible el máximo tiempo a lo largo del año para permitir un funcionamiento lo más constante posible y poder estar presente permanentemente

CUADRO 22

Características de calidad industrial de tuna y nopalito para procesamiento industrial

Tipo de Producto	Características				
	Rendimiento (pulpa o trozos)	Color	°Brix	Acidez	Textura
Láminas deshidratadas	✓		✓		✓
Mermelada	✓		✓		✓
Jugos	✓	✓	✓	✓	
Néctares	✓	✓	✓	✓	
Pulpa congelada	✓	✓	✓	✓	
Nopalito					
Salmuerados	✓	✓		✓	✓
Mermeladas	✓	✓		✓	✓

en el mercado. Para ello habrá que contactar a los posibles proveedores, tener en cuenta la distancia a que se encuentran de la planta industrial, analizar el tipo de materia prima que ofrecen, su calidad y homogeneidad, el manejo que le dan al huerto, la sanidad del mismo y otros elementos similares.

En el Cuadro 22 se señalan los parámetros de calidad de mayor interés de la materia prima.

Como todo producto agrícola la tuna y los nopalitos tienen variaciones en su composición y, por lo tanto, en su aptitud industrial. Esto depende de la especie, estado de madurez, del huerto de proveniencia (clima, suelo) y de las prácticas agrícolas, entre otras cosas. Estas variaciones deberán ser tenidas en cuenta para satisfacer a los consumidores. Es conocido el caso, por ejemplo, de jugos de naranja rotulados como no provenientes de concentrado, en los que se detectan claras variaciones en el dulzor; esta variación es bien acogida por los consumidores, ya que se asume que no se le añade azúcar y que las naranjas tienen fluctuaciones naturales en los sólidos solubles totales. Esto, que podría verse como una desventaja desde el punto de vista de la homogeneidad en la calidad de un producto, para ciertos mercados pasa a ser una ventaja -siempre que se mantenga dentro de ciertos límites- ya que es un signo de «natural», o sea, no se le haya añadido azúcar para corregir este defecto o carencia de la materia prima. Por lo tanto, dependiendo del producto que la industria quiera elaborar será el tipo de materia prima que utilizará.

Equipos

Una pequeña y mediana empresa incluirá equipos mecánicos o automáticos, y puede mantener a la vez algunas operaciones manuales. El sistema modular, con equipos portátiles, útiles en distintas líneas de producción es una ventaja que abarata los costos y da flexibilidad a la producción.

La disposición del equipamiento seguirá la lógica dentro de la línea de flujo de producción, ahorrando espacio y evitando su establecimiento en puntos vulnerables de contaminación (cercanía a desagües, puertas de acceso de baños, oficinas, y en general de acceso de personas ajenas a la planta).

Un punto clave para la calidad de los productos que se elaboran, es la limpieza y el mantenimiento de los equipos. La limpieza debe ser cuidadosa y por lo menos diaria, ya que los equipos con restos de vegetales son un foco seguro de contaminación.

Instalaciones

Los conceptos señalados, entre otros, por las normas del *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2003) y por Fellows (1997), han sido complementados con la experiencia de las autoras, respecto a los aspectos a tener en cuenta para decidir en forma correcta donde instalar una planta procesadora de alimentos, los requisitos de esas instalaciones y las normas básicas de higiene de los operarios. Cabe hacer notar que muchos países

poseen regulaciones propias, no sólo acerca de la composición e inocuidad de los alimentos, sino de las plantas procesadoras y de las condiciones de los locales de venta de alimentos. Esto suele estar a cargo del Ministerio de Salud respectivo o de otras reparticiones oficiales y habrá que regirse por dichas normativas cuando sea el caso.

Idealmente, las instalaciones de una planta procesadora de alimentos deben ser construidas especialmente para ello; sin embargo, ocurre con frecuencia, que se adapta un edificio ya construido. Si es posible llegar a una adaptación adecuada, aunque constituye un costo extra, se puede disponer de una unidad apropiada para el procesamiento de alimentos. Esta inversión en la adaptación de los locales debe estar bien estudiada, ya que el costo debería ser inferior al que tendría una construcción nueva; si no fuera así y de ser posible, sería preferible desechar la adaptación y optar por una construcción nueva.

La elección del lugar donde se instalará la agroindustria es un punto importante a tener en cuenta. Para ello se contará en primer término con las facilidades de suministro o acceso a la materia prima; con la cercanía y la calidad de los caminos de acceso a los mercados a los que se quiere llegar; con la disponibilidad de mano de obra; con las facilidades de agua potable, electricidad y otros insumos y de limpieza del entorno (insectos, roedores, olores, aguas estancadas, basurales) en que se ubicará la planta. Cuevas (2004b) revisa una serie de factores para la selección del sitio y su efecto sobre la calidad del producto con la competitividad de la pequeña industria alimentaria.

En una planta procesadora de alimentos, quizá más que en otro tipo de edificios, la apariencia externa del mismo es muy importante, ya que es la primera imagen que tienen los clientes y es un indicador del buen manejo interno de la industria. Sin embargo, y aunque la fachada es importante, la planta debe estar limpia y pintada tanto externa como internamente e, idealmente, es deseable que esté rodeada por césped para atrapar el polvo del aire.

En el interior de la planta, todas las paredes deben estar pintadas de color claro, con pinturas resistentes al agua (impermeables y atóxicas), ya que se deben lavar frecuentemente. Las paredes deben estar cubiertas preferentemente por azulejos hasta una altura de por lo menos 1 a 1,5 m sobre el nivel del piso. Si esto fuera demasiado costoso se puede azulejar solamente alrededor de los lavaderos y las paredes que suelen salpicarse durante el procesado de los alimentos, o al menos deberán ser lisas y sin grietas hasta una altura de 1,8 m.

Un punto de especial importancia para mantener la higiene, se refiere al modo en que las paredes se unen al piso; los ángulos rectos son difíciles de limpiar y acumulan suciedad, por lo que es recomendable que el piso enfrente la pared con ángulos curvos. Lo mismo ocurre con las ventanas; se debe evitar que acumulen polvo y sean focos de contaminación. Es preferible que los marcos sean rectos de modo de facilitar la limpieza y mantener los accesos de las ventanas libres. Conviene colocar mallas para evitar la entrada de insectos y otras plagas.

Los pisos deben contar con sistemas de drenaje para eliminar en forma eficiente las grandes cantidades de agua que se utilizan en las plantas procesadoras. Un punto importante a tener en cuenta es construir el suelo con cierto declive, de modo que el agua fluya suavemente a un drenaje central. Este estará cubierto por una rejilla fácilmente removible para facilitar la limpieza del canal de desagüe. Debido a que estas canaletas son rutas de acceso de roedores e insectos, se deben mantener con rejillas que impidan su paso. El piso de la planta se deberá lavar cuidadosamente en forma cotidiana y evitar que queden aguas estancadas ya que son fuente de contaminación.

Además de las ventanas, es necesario tomar otros cuidados necesarios para evitar la entrada de insectos, pájaros y roedores tales como eliminar los huecos que pueden aparecer en las paredes o en las juntas del techo con las paredes. Otros puntos por donde pueden entrar las plagas son las tuberías de los cables de electricidad, por lo que convendrá colocar dentro de ellas elementos que impidan su paso.

Los lugares de aseo y baños deben estar separados de la sala donde se procesan los alimentos. En el ingreso a la planta y a la salida de los servicios higiénicos debe haber un lavamanos en el que, en lo posible, la grifería se abra de un golpe (con el brazo o con el pie) de modo de no tener que tocarla directamente con las manos y evitar la recontaminación antes de ingresar a la planta. La existencia de una pequeña pileta en el piso para lavar el calzado, en la puerta de acceso a la sala de procesos, mantenida con agua y por la que obligadamente deben pasar los operarios (calzados con botas de goma) ayuda a conservar la higiene de la planta.

Fuera de la planta se efectúan en ocasiones algunas operaciones de preparación de la materia prima, como la selección y lavado; este lugar debería estar techado para un trabajo en mejores condiciones, sobre todo en lugares calurosos.

En ocasiones, dependiendo del lugar donde se ha edificado la planta, convendrá que este espacio esté cercado, para evitar el ingreso de animales mayores y robos. Para ello se pueden utilizar cercos vivos, por ejemplo utilizando plantas de nopal.

Servicios

Entre los servicios más importantes de una planta procesadora de alimentos se encuentra la disponibilidad de agua. Toda planta procesadora consume una gran cantidad de agua; esta se requiere para diversos fines como:

- mantener la higiene de la planta (lavado de equipos, pisos, paredes), punto fundamental para asegurar la inocuidad y calidad de los alimentos producidos
- la limpieza de los operarios, que garantiza, así mismo, la inocuidad de los alimentos
- el lavado de la materia prima, punto de partida de un buen producto
- el lavado de algunos insumos, tales como botellas, tapas de envases y otros
- ingrediente para elaborar algunos productos; este punto es de gran importancia ya que el agua pasa a formar parte del producto.

Por estos motivos es indispensable contar con agua limpia, potable y de buena calidad.

En varias partes del mundo, sobre todo en las zonas rurales, en algunos casos no es posible contar con suministro de agua de buena calidad, por lo tanto, será necesario purificarla de modo de poder disponer en cantidad suficiente para trabajar y asegurar que el producto elaborado será seguro para su consumo. El uso de cloro puede ser un modo de purificar el agua si no se cuenta con filtros u otros sistemas eficientes. El agua que forma parte de un proceso como ingrediente, si no es potable, debe ser cuidadosamente tratada, sobre todo si el producto no va a ser calentado después de la adición del agua. A pequeña escala, además del calor o por medio de agentes químicos, como el hipoclorito de sodio, hay otras maneras de tratar el agua como la filtración y el uso de luz ultravioleta (Fellows, 1997). El tratamiento con hipoclorito de sodio es un método rápido para sanitizar el agua. El agua de limpieza debe contener 200 ppm de cloro y el agua que se usa como ingrediente un máximo de 0,5 ppm para evitar que el fuerte olor de este producto pase al alimento.

La energía es otro aspecto a considerar entre los servicios necesarios para el funcionamiento de un agroindustria, sea esta de cualquier nivel de producción. Se requiere energía eléctrica para el funcionamiento de algunos equipos y energía térmica (calor, vapor) para otros procesos. Esta energía puede obtenerse de diversas fuentes.

La pequeña y mediana agroindustria obtiene la energía eléctrica, ya sea directamente de la red de electricidad, si esta llega hasta el lugar, o la electricidad es generada por otros biocombustibles, como el gas licuado (propano), petróleo, carbón, leña u otra biomasa.

Aunque las microempresas funcionan, en general, con equipos manuales que no requieren energía eléctrica, hay algunos procesos como la cocción, la pasteurización o la esterilización que requieren energía eléctrica o energía proveniente de otras fuentes. Cuevas *et al.* (2004) y Cuevas (2004a), indican que la energía es un elemento estratégico

para el desarrollo de la agroindustria rural y no debe ser subestimado, por cuanto un mejor acceso a los servicios energéticos, especialmente los destinados a apoyar la agroindustria, pueden ayudar a disminuir la pobreza.

Entre las fuentes de energía provenientes de biomasa, con las que puede contar la agroindustria, está la leña; si se dejan secar las pencas maduras de los nopales, queda un esqueleto lignificado cuyo valor energético como biocombustible pudiera ser interesante, particularmente para la agroindustria asociada a esta especie. Habría que efectuar estudios acerca de su producción como materia prima (biocombustible) y su poder calorífico. Hay antecedentes en algunos países de África de su utilización como combustible doméstico.

En la planta procesadora, la red eléctrica, deberá estar dispuesta de modo que esté protegida del ataque de roedores u otros animales. Los interruptores estarán colocados al menos a 1,5 m del suelo, alejados de las zonas húmedas.

Otros servicios necesarios para la agroindustria son los relacionados con la distribución de los productos; los medios de distribución y comercialización pueden ser propios (camiones, locales de venta) o contratados. La distribución se verá facilitada por un buen acceso a los centros comerciales.

La compra de insumos (azúcar, envases, aditivos) y las facilidades relativas a servicios de mantenimiento del equipo, sobre todo si este es de tecnología compleja o moderna, son otros aspectos a tener en cuenta para un buen funcionamiento de la agroindustria.

Cuanto más desarrollado sea un proceso requerirá, normalmente, una mayor cantidad y diversidad de servicios, los cuales inciden en los costos y en la rentabilidad (Cuevas, 2004a, b).

Mano de obra

Si bien la materia prima ha sido mencionada como un punto principal para la elaboración de alimentos sanos y seguros, la mano de obra, los operarios y, en general, el factor humano, es sin duda mucho más importante. Se podría afirmar que en una agroindustria lo que más importa son las personas que laboran en ella. Por lo tanto, contar con mano de obra calificada será un punto importante no sólo para que sea sostenible en el tiempo, sino para el éxito de la agroindustria. Si no se cuenta con mano de obra calificada, porque no está disponible o porque esta sea de tipo familiar y muy pequeña, habrá que recurrir a una asesoría para capacitar al personal.

La capacitación debe dirigirse a todos los integrantes de la planta procesadora, aunque el trabajo que desempeñen sea muy simple. No hay que olvidar que la producción de alimentos forma parte de una cadena y que el aseguramiento de la calidad pasa por el trabajo cuidadoso y bien hecho de cada uno de los actores de la cadena alimentaria de la empresa. La conciencia de cada trabajador de estar contribuyendo de modo importante a que de la línea de producción de la cual forma parte salga un alimento inocuo y nutritivo para los consumidores, es un aspecto que se debe tener siempre en cuenta. El hecho de que cada uno de los operarios se sienta responsable de la pequeña parte de trabajo que le corresponde en la línea de producción, exigiendo, a la vez, calidad en lo que recibe dentro de la línea, actuando, por lo tanto, como «consumidor interno», lo llevará a crecer en la cadena de responsabilidad por la calidad y, por lo tanto, a hacer su trabajo lo mejor posible.

Toda capacitación en este sentido tendrá en cuenta temas relacionados con aspectos técnicos del trabajo que a cada uno le toca desarrollar, con aspectos de higiene, de relaciones personales, de responsabilidad, de otras virtudes humanas (honestidad, laboriosidad, lealtad, compromiso) que hagan, además, del trabajo y del lugar donde se trabaja, algo no sólo seguro para la producción, sino agradable para la convivencia humana, ya que todos conviven en la planta muchas horas al día.

Sobre estos últimos aspectos existe un gran número de publicaciones que pueden servir de guía. Acerca de la higiene de los operarios, se pueden consultar los textos

de Fellows *et al.* (1995), Fellows (1997) y Enachescu (1995) y las Normas del *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2003, 2004), así como los reglamentos propios de los países acerca de los requisitos de instalación de las empresas de alimentos, las normas de higiene para los establecimientos, para el personal, para la elaboración y la venta de alimentos (FAO/OMS, 2003; Chile, 1997) entre otros. Sobre relaciones interpersonales puede ser de utilidad el texto de Goleman (1999).

Capital de operación

De acuerdo al nivel o escala de la agroindustria, de las posibilidades de financiamiento externo para materias primas, insumos y servicios, serán las necesidades de capital de operación que esta requiera.

En el entendido que se ha dispuesto del capital y/o financiamiento para las instalaciones de la planta, ya sea terreno, construcciones, maquinaria y equipos con sus repuestos respectivos, será necesario contar con un capital de operación que considere, principalmente, las materias primas e insumos que deben adquirirse, los servicios de mano de obra a contratar y los insumos básicos (p. ej., energía, agua) necesarios, antes de obtener ingresos por la venta del producto elaborado en la planta. Los fondos serán desembolsados por estos conceptos antes de la venta de los productos y el importe ingrese a la empresa y determinarán el capital de operación. Una vez en marcha, el capital de operación representa principalmente el financiamiento de los inventarios y de las cuentas a cobrar, en la medida que excedan el financiamiento que los proveedores puedan otorgar a la empresa.

Hoy en día existen variadas fuentes de financiamiento que combinadas en forma adecuada pueden rebajar los requerimientos de capital de trabajo el cual termina siendo proporcionado, a un cierto costo, a terceros. Es así como, aparte del financiamiento bancario, el *factoring*, por ejemplo, permite anticipar la cobranza de facturas reduciendo la necesidad de destinar fondos propios a capital de operación.

Para distinguir entre los tipos o niveles de empresas, se suelen tomar en cuenta, por lo general, diversos criterios, entre ellos el número y nivel de capacitación de los trabajadores, el nivel de tecnología utilizado, la inversión de capital comparada con el uso de mano de obra, el tamaño de la inversión, la escala de operaciones, la capacidad anual y los sistemas de organización, entre otros.

Otras definiciones indican a microempresas a las que cuentan hasta con cinco trabajadores; pequeña empresa aquella que cuenta con seis a 20 trabajadores y mediana, aquella en la que trabajan entre 21 y 100 personas (Higuera, 2004).

PREPROCESAMIENTO

Las operaciones previas al procesamiento son de especial interés, ya que luego de la cosecha de la tuna o de los nopalitos, el manejo de la materia prima incidirá más directamente en la calidad del producto final.

La cosecha de la tuna y de los nopalitos, y el manejo postcosecha deben ser cuidadosos, para evitar daños y contaminaciones y asegurar la calidad sanitaria desde el punto de partida de la línea de proceso. El abastecimiento a la planta convendrá programarlo con los productores, de modo de poder almacenar las materias primas en buenas condiciones, teniendo en cuenta que el almacenamiento al aire libre no es el más adecuado. Si por las características de la agroindustria no se cuenta con instalaciones adecuadas para el almacenamiento refrigerado o por lo menos en un local de almacenamiento, la materia prima se podrá mantener al aire libre bajo techo o malla, el mínimo tiempo posible antes de entrar a proceso. La materia prima se recibirá en cajas adecuadas y no a granel y de ningún modo se dejarán la fruta o los nopalitos en el suelo a la espera de entrar a la sala de procesos.

Una vez que la materia prima llega a la planta procesadora se recepciona formalmente controlando, al menos, los siguientes puntos:



C. SAENZ

Lámina 13
Tunas a la llegada a la planta
elaboradora
México, 2004.

- la sanidad y el estado de madurez de la fruta
- el buen estado físico y ausencia de defectos de los materiales
- la homogeneidad de tamaño y la frescura de los nopalitos
- la homogeneidad de las variedades de tuna recibidas
- el peso de la fruta o de los nopalitos recibidos (indicando la procedencia: productores contratados, huertos propios)

En algunos casos, dependiendo del proceso a que se destinará la fruta, será de interés efectuar algunos análisis de laboratorio de rutina (acidez, °Brix, pH); el control de azúcares (°Brix) se puede hacer fácilmente con un refractómetro manual.

En general, luego de la cosecha los nopalitos no reciben ningún acondicionamiento y su transporte, aún cuando existen diversas modalidades, debe ser cuidadoso, evitando que las pencas se dañen en el trayecto a la planta procesadora. Se recomienda por tanto su transporte en cajas. Uno de los modos de transportar los nopalitos en los mercados locales de México son las conocidas «pacas», estructuras cilíndricas de cerca de 2 m de alto por 1 de diámetro, en las que se colocan de 2 500 a 3 000 nopalitos; la forma en que se confecciona esta modalidad de transporte está descrita por Corrales y Flores (2003). Debido a que se trasladan así una gran cantidad de nopalitos, puede ser una opción para su traslado a la planta procesadora; sin embargo no deben dejarse por muchos días a temperatura ambiente sin desempacar, ya que como todo vegetal puede alterarse debido a su respiración. Además, si van sueltos en cajas, los golpes y el daño por las espinas hace que se rompan, oscurezcan y pierdan marcadamente su calidad industrial. En la Lámina 14 se observan dos modos de transportar los nopalitos.

REMOCIÓN DE ESPINAS

En el caso de la tuna, la remoción de espinas puede ser manual o mecánica; generalmente la remoción en forma manual se efectúa en el campo, inmediatamente después de la cosecha, tal como se observa en la Lámina 14. Para ello se utiliza una cama de paja sobre una malla o se coloca directamente la paja sobre el suelo, se barren las tunas suavemente con una escoba, de modo de ir volteándolas y quitándole las espinas, cuidando de no



A. RODRÍGUEZ-FÉLIX



Lámina 14
Tipos de sistemas para el
transporte de nopalitos (cajas y
«paca»)
México. 2005 y 1999.



C. SAENZ Y E. CHESSA

Lámina 15
Barrido de la tuna
(eliminación de espinas)
Chile, 2002 y México, 2004.

dañar la epidermis para evitar su contaminación y su posterior eliminación en la operación de selección.

El desespinado mecánico de la tuna se puede efectuar al aire libre. En países muy calurosos se puede cubrir este recinto con alguna malla para sombreado y hacer más agradable el lugar de trabajo, evitando al mismo tiempo que la fruta se caliente.

Para el desespinado se utilizan diversas maquinarias especialmente diseñadas para ello. En general se podrán utilizar las mismas máquinas que se ocupan en el envasado de tuna para exportación en fresco, ya que la finalidad en estas primeras etapas es la misma.

Las máquinas desespadoras trabajan haciendo rodar la tuna sobre rodillos cubiertos de pelo (cerdas de nailon, de crin de caballo o de telas, gruesas, firmes pero no muy ásperas), no muy duros, de modo de terminen de eliminar en forma suave las espinas (Lámina 16) y no dañen la fruta.

Las espinas eliminadas pueden ser succionadas por aire mediante un dispositivo especial colocado en la parte superior del equipo y acumuladas en un recipiente cerrado, para evitar que vuelen y causen daño a los operarios (las espinas de las tunas, por lo delgadas y pequeñas, se pegan en la piel, en los ojos y en la ropa, causando molestias que pueden llegar a ser severas).

En la Lámina 17 se muestra otro tipo de equipo utilizado para el desespinado de la tuna, en el cual se observan en la parte superior los succionadores de aire, que absorben las espinas.



C. SAENZ

Lámina 16
Desespinado mecánico
de las tunas
México, 2004.



C. SAENZ

Lámina 17
Equipo mecánico para el desespinado de la tuna
 México, 1991.



A la entrada de la máquina, se efectúa una selección en forma visual y manual. Será conveniente que los operarios tengan las manos protegidas con guantes, de modo de evitar que las espinas que hayan podido quedar se les introduzcan peguen en la piel. En el caso de los nopalitos, la remoción de espinas es la primera operación que se hace cuando estos llegan a la planta procesadora, lo que se detalla más adelante como parte de la limpieza.

SELECCIÓN Y LAVADO

La selección de la fruta se efectuará de acuerdo al proceso al cual será destinada. En todo caso, cualquiera que este sea, se eliminará la fruta dañada, podrida, verde o fuera de la madurez adecuada.

En la Lámina 18 se observa un sistema sencillo para efectuar la operación de selección de la fruta.

Luego de la selección y antes de entrar al proceso, la fruta debe ser lavada, con agua limpia, en lo posible clorada (200 ppm). Esto puede efectuarse en estanques de plástico u otro material fácilmente lavable y no contaminante. De acuerdo al tamaño de la planta y, por lo tanto, a la escala de producción, será la selección del equipamiento necesario para su funcionamiento. Las líneas de producción de una microempresa están conformadas, en general, por equipos sencillos, manuales, siempre fáciles de limpiar. En lo posible no se trabaja con equipos y utensilios de madera ya que es un material poco adecuado para estar en contacto directo con los alimentos; se utilizan preferentemente equipos de material plástico o acero inoxidable.

El agua debe cambiarse con frecuencia dependiendo de la cantidad de fruta lavada, para mantenerla siempre limpia y evitar contaminaciones. Esta es la última operación antes del pelado de la fruta, que se hace generalmente en forma manual con cuchillos afilados y limpios. El modo más fácil de pelar la tuna es cortar los extremos y hacer una incisión longitudinal, quitando de una sola vez la epidermis. Con esto se elimina una parte de la cáscara (que se encuentra bajo la fina epidermis), que en algunos procesos se podría incorporar para aumentar el rendimiento, sin perjuicio del sabor u aroma del producto; sin embargo, las dificultades que



C. SAENZ

Lámina 18
Selección de las tunas
 México, 2004.

(b)



C. SAENZ.



C. SAENZ Y E. SEPULVEDA

(a)

Lámina 19

Desespinado (a), México, 1999 y corte de nopalitas (b), Chile, 1999.

comporta quitar sólo la epidermis delgada hacen que sea muy difícil pelar la tuna de otra manera.

La operación de pelado debe efectuarse con las manos higienizadas, al igual que todas las operaciones que se efectúan en contacto directo con el alimento, tal como se observa en la Lámina 17. Se utilizarán además, guantes y en esta etapa los operarios ya tendrán colocadas sus mascarillas y gorros. Los operarios adquieren, al cabo del tiempo, una gran destreza en esta operación, haciéndola con rapidez.

De lo indicado se desprende que es necesario continuar con las investigaciones sobre diseños de maquinaria para el pelado de la tuna. Algunas experiencias efectuadas en la Universidad de Chile, probando máquinas abrasivas similares a las que se utilizan para pelar papas (superficie corrugada giratoria y agua que elimina la cáscara) no dieron los resultados esperados.

En el caso de los nopalitas, al igual que en el caso de la tuna, la remoción de las espinas forma parte de la limpieza. Esta se lleva a cabo en forma manual, con cuchillos afilados y operarios que con el tiempo adquieren gran destreza para realizar esta operación; de igual modo ocurre con el pelado manual de la tuna.

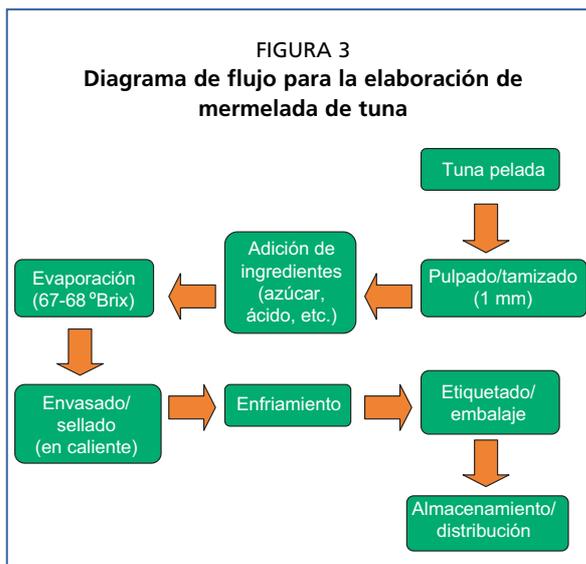
Luego del desespinado y dependiendo del proceso al que se destinará el nopalito, se quitan los bordes con un cuchillo y se troza de diferentes formas (Lámina 19).

Luego se lavan en agua clorada, lo que tiene un doble propósito; el agua protege los tejidos de la oxidación, evitando que se oscurezcan y además limpia de la suciedad, dejando el producto listo para entrar a proceso.

PROCESAMIENTO DE TUNAS

Algunos de los productos a que se hará mención ya se encuentran en el comercio en algunos países, otros aparecen como promisorios y factibles de implementar a diferentes escalas de producción, otros sin embargo, requieren tecnologías más complejas y mayores estudios.

Con frecuencia tanto las formulaciones de alimentos a base de tunas como las condiciones de procesamiento están protegidas por patentes; en este Capítulo se señalarán con el máximo detalle posible las líneas de flujo. En algunas ocasiones se indicarán sólo rangos dentro de los cuales, si se desea implementar el proceso a nivel industrial (de cualquier nivel); será necesario efectuar algunos ensayos previos a fin de corroborar que la fruta que se utiliza es adecuada para la formulación planteada y que el producto sea bien aceptado por los consumidores los que, por lo tanto, estarían dispuestos a adquirirlo. No basta ofrecer lo que en otros lugares del mundo es aceptado con agrado, porque los gustos y costumbres son altamente variables.



Fuente: A.Rodríguez-Félix. México, 1999 y 2005.

La mayoría de las tecnologías de transformación que se pueden aplicar a la tuna, se aplican a también a otras especies. Algunas de ellas se indican a continuación.

Mermeladas de tuna

Aunque existen diversas variables y formulaciones para elaborar mermeladas de tuna, en la Figura 3 se presenta una línea de flujo en la que se detallan las operaciones principales que involucra el proceso para la elaboración de este tipo de productos.

Antes de comenzar la elaboración de la mermelada, y esto rige para la elaboración de cualquier producto, convendrá efectuar análisis de rutina para conocer características importantes de la materia prima que harán o no necesario el ajuste tanto de los procesos,

como de las formulaciones (p. ej. adición o no de pectinas de acuerdo al contenido normal de la fruta, adición de colorantes, de preferencia naturales, para reforzar este atributo si fuera necesario).

Se parte con la tuna entera y pelada la que se lleva a una pulpadora o tamizadora provista de un tamiz de 1 mm de diámetro (mecánica o manual, dependiendo del nivel de producción de la planta procesadora) a fin de separar las semillas (Lámina 20 a, b). Existen varios modelos de tamizadoras manuales para separar semillas; pueden ser útiles para esta operación las que se utilizan para separar las semillas del tomate y las que se usan a nivel doméstico para elaborar jugos (tamiz centrífugo).

La pulpa sin semillas se recibe en un tanque de paso, donde se adicionan los ingredientes secos (azúcar: 55-60 por ciento; ácido cítrico: 0,8-1,0 por ciento; pectina, si fuera necesario, de acuerdo con las características de la fruta de que se dispone), los conservantes, por ej. benzoato de sodio: 1 g/kg u otros conservantes se agregarán de acuerdo a las dosis permitidas según las legislaciones para alimentos vigentes en cada país. Desde aquí, la pulpa se bombea a un tanque de paso, doble fondo o marmita, alimentado con vapor y de allí, dependiendo del volumen de producción de la planta



C. SÁENZ.

(a)



F. MARRÓ.

(b)

Lámina 20
Pulpadora mecánica (a) y manual (b) para separar las semillas Chile, 2005.

y de las disponibilidades de equipos, puede pasar a un evaporador a vacío (en el cual las bajas temperaturas de funcionamiento protegen las características organolépticas del producto) o concentrarse directamente en el tanque con doble fondo a presión atmosférica, hasta un nivel de 67-68 °Brix. Si no se dispone de red de vapor, se puede concentrar mediante calentamiento directo cuidando de agitar continuamente para evitar que el producto se adhiera a las paredes y se quemé.

El producto concentrado se descarga a la tolva de alimentación de la máquina llenadora.

El producto puede ser envasado en frascos de vidrio de diversa capacidad y contenido (300-500 g), los que han sido previamente lavados y esterilizados, o en bolsas plásticas (300 g – 1 kg o más). Los frascos se tapan en caliente (85-90 °C), utilizando para ello tapas de rosca o similares y se «autopasteuriza» la tapa, manteniéndolos invertidos durante 10-15 minutos.

Cuando el envasado se efectúa en bolsas plásticas, el sellado térmico se realiza en equipos diseñados para ello, que pueden ser manuales o estar colocados a la salida de la llenadora de modo de formar una línea continua -envasado, llenado y sellado- lo que aumenta la rapidez del proceso y disminuye los puntos de contaminación y la manipulación. Esto dependerá del volumen de producción de la planta.

Luego del llenado, los frascos pasan al sistema de enfriamiento, para evitar el sobrecalentamiento y consiguiente deterioro organoléptico y nutritivo del producto, se enfrían bajo un chorro de agua hasta 30 - 40 °C, temperatura suficiente para que los frascos se sequen antes de las siguientes operaciones.

Posteriormente se etiquetan, se embalan en cajas de cartón y se almacenan hasta su comercialización en una cámara especialmente diseñada para ello. En los países de clima cálido, hay que tener especial cuidado de que las temperaturas de almacenamiento no sean superiores a los 20 - 22 °C, ya que temperaturas mayores deterioran los productos al acelerar las reacciones bioquímicas y el desarrollo microbiano; con ello aumenta la velocidad de pérdida de calidad del producto. Estas condiciones de almacenamiento se aplican no sólo a las mermeladas, sino a cualquier tipo de alimento procesado.

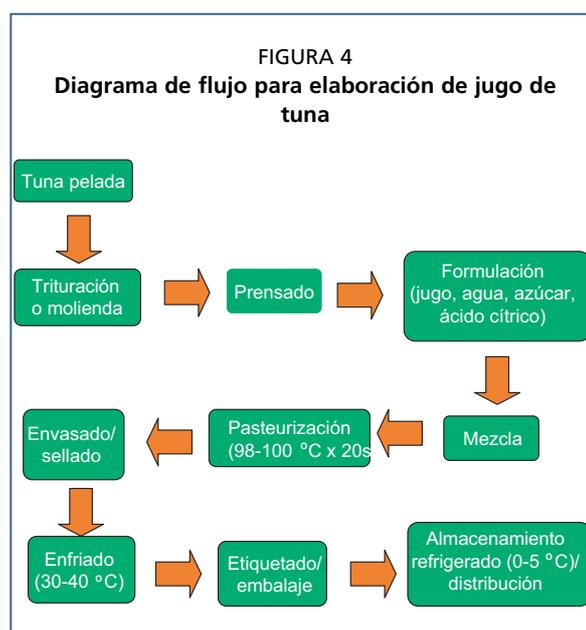
Jugos, jarabes y néctares

Los jugos y néctares de tuna, cuya tecnología de elaboración es similar, se encuentran disponibles en forma comercial en algunos países.

La tecnología de elaboración de jugos de tuna es más compleja que en el caso de frutos ácidos y de sabor y aroma menos delicados. Se requiere un control especial del pH y de los tiempos y temperaturas de los tratamientos térmicos ya que este es un punto clave no sólo para su conservación sino también para su calidad.

En la Figura 4 se presenta una línea de flujo para la elaboración de jugos de tuna.

La tuna entera pasa a un sistema de triturado para reducir el tamaño de la fruta (se puede dejar o no la semilla; a veces es conveniente dejarla para que la torta de prensado sea menos compacta y la operación más eficiente); de allí se bombea al sistema de extracción de jugo que puede ser de diferentes tipos: prensa hidráulica provista de un marco dentro del cual se coloca la fruta envuelta en paños de tamaño adecuado para esta operación, prensas



Fuente: Carrandi, 1995.

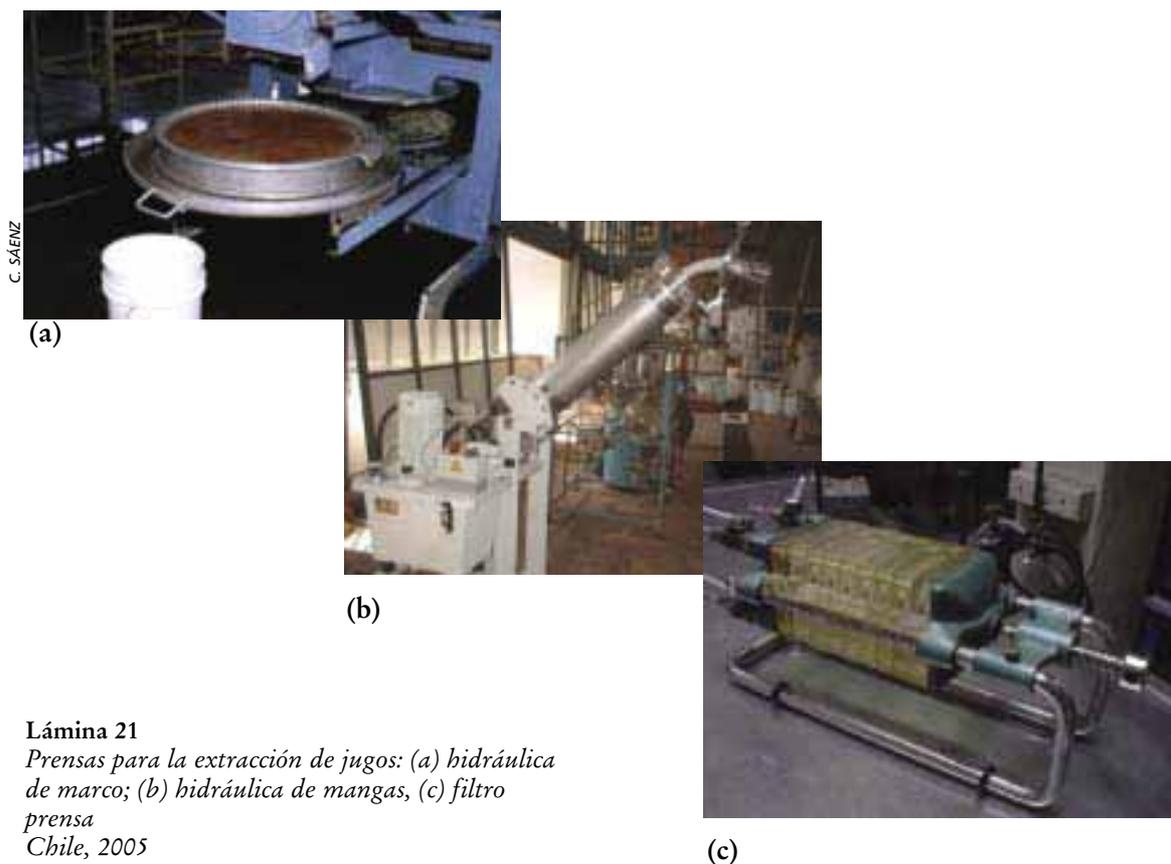


Lámina 21

Prensas para la extracción de jugos: (a) hidráulica de marco; (b) hidráulica de mangas, (c) filtro prensa
Chile, 2005

hidráulicas de mangas de porosidad variable o prensas de bandas de gran capacidad. En la Lámina 21 se presentan tres tipos de prensas para la extracción de jugos.

Luego del prensado el jugo se bombea a un tanque de paso donde se diluye con agua (20:80 = agua:jugo); se corrige la acidez, si es necesario, dependiendo de la especie de nopal que se está utilizando (hasta una acidez de 0,1 por ciento); se agrega azúcar (hasta 12 - 13 °Brix); conservantes (benzoato de sodio y/o sorbato de potasio, si es una mezcla de ambos: 500 mg/kg de cada uno, o según las legislaciones de cada país).

Posteriormente el jugo pasa a los sistemas de tratamiento térmico, que pueden ser tubulares o de placas, dependiendo del grado de pulpa que contiene el jugo. El tiempo y la temperatura de tratamiento se determinan de acuerdo a las características del producto y al tipo de pasteurizador o tratamiento térmico que se va a emplear. Generalmente, es más conveniente optar por los equipos que permitan tratamiento del tipo HTST (alta-temperatura, corto-tiempo) ya que el producto sufre menos deterioro. En la línea de flujo de la Figura 4 se utiliza un pasteurizador de placas, como el que se observa en la Lámina 22 y sus condiciones de trabajo, en este caso son a 98-100 °C manteniendo por 20 segundos la temperatura del proceso.

Si se desea un jugo con pocas partículas en suspensión este se someterá antes del tratamiento térmico a una filtración centrífuga, en un equipo tipo decantador, en un filtro prensa o en otro equipo separador.

En la Lámina 22 se observa un pasteurizador de placas, típico para el tratamiento de jugos de frutas.

En el caso que se indica, el tratamiento del jugo se efectúa previo al envasado, por lo que todas las



Lámina 22

Pasteurizador de placas
Chile, 2005

operaciones posteriores deberán realizarse en forma totalmente aséptica para evitar su contaminación.

Se puede optar también por un proceso en el cual el jugo se envasa previo al tratamiento térmico. Este modo de operar tiene la ventaja de evitar contaminaciones posteriores al tratamiento térmico ya que no hay una manipulación ulterior del producto que ya está protegido por el envase. En general el producto sufre un tratamiento térmico más severo con este tipo de proceso, ya que en el caso del pasteurizador de placas el jugo es tratado por corto tiempo a alta temperatura por cámaras de convección lo que hace más efectiva la transferencia de calor; en cambio en el caso de que el jugo ya esté envasado, por ejemplo, en recipientes de vidrio, para que el tratamiento sea efectivo el calor debe llegar al centro térmico del envase y requerirá más tiempo calentar y enfriar el producto con el consiguiente perjuicio sensorial y nutritivo del jugo.

Teniendo en cuenta lo delicado del aroma y sabor del jugo de tuna y a la vez la necesidad de efectuar un tratamiento térmico que sea efectivo desde el punto de vista microbiológico, por las propias características del jugo esta operación tendrá que ser evaluada cuidadosamente para definir los tiempos y temperaturas de pasteurización adecuados, a fin de lograr un producto inocuo y de buena calidad sensorial y nutritiva.

A la salida del pasteurizador se instalará el sistema de envasado. Es conveniente que esta operación se realice en caliente. Si se utilizan recipientes de vidrio puede realizarse en una campana bajo luz ultravioleta y flujo laminar de modo de evitar contaminaciones del producto ya tratado térmicamente. Tanto los recipientes como las tapas deberán estar esterilizadas.

Una vez envasado el jugo, los recipientes se enfrían colocándolos bajo un chorro de agua o pasando en una correa transportadora a través de duchas de agua fría. Se enfrían suficientemente hasta que la temperatura a que se llega permita el secado natural de los recipientes, sin requerir una operación especial, hasta llegar a 30 - 40 °C y se dejan secar al aire. Cuando los recipientes están secos se etiquetan, embalan y guardan en cámaras para su comercialización.

Teniendo en cuenta que existen nopales de diversos colores, es interesante continuar los estudios referentes a la producción industrial de jugos listos para el consumo. En la Lámina 23 se observan distintos tipos de jugos de tuna, dependiendo del tipo de fruta del cual se obtienen. Estos jugos fluidos, naturales, -en nuestro conocimiento- no se encuentran aún en el comercio; la Lámina 23 corresponde a proyectos de investigación de la Universidad de Chile y muestra la diversidad en la apariencia y el atractivo de colores que se logra con las distintas variedades de tuna disponibles.

A partir del jugo se pueden elaborar a la vez otros tipos de productos como los jarabes, salsas y néctares. Los jarabes o salsas se utilizan para acompañar postres, agregar a las frutas, diluir con agua y servir como refresco. Se preparan ya sea concentrando el jugo directamente o agregándoles cierto porcentaje de azúcar y concentrándolo luego hasta llegar a 40 - 75 °Brix, dependiendo del tipo de producto.

En la Lámina 24 se observan distintos productos comercializados actualmente: un jarabe comercializado en los Estados Unidos de América, un *arrope* de Argentina (75 °Brix) y un jugo concentrado de Namibia (40 °Brix).

En el caso de los néctares de tuna, las operaciones que se emplean para su elaboración son similares a las indicadas para el jugo de tuna, con la diferencia que los néctares llevan incorporado un jarabe de sacarosa u otro tipo de jarabes como los de maíz y menos fruta que



C. SAENZ

Lámina 23
Jugos de tunas de distintos colores.
Chile, 1996.



C. SÁENZ

(a)



E. CHESSA

(b)

Lámina 24

Productos concentrados de tuna (a) Argentina, Namibia y Sudáfrica. Chile. 1998 y 2002 (b) México, México. 2004

un jugo, además de algunos aditivos para darle mayor cuerpo, como gomas (garrofín, carboximetilcelulosa) y saborizantes o aromatizantes para reforzar estos atributos. Las legislaciones alimentarias de los diversos países también tienen normativas respecto a los néctares. El *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2004) precisa, en sus normas específicas para cada producto el contenido de fruta de un jugo y de un néctar.

Los néctares de tuna se pueden elaborar solos o en mezclas con otros jugos de frutas (piña, bayas) Esta forma de preparación, en el caso del jugo de tuna verde, puede servir para mejorar la apariencia del jugo al agregarle un jugo que tenga otro color o su estabilidad al aportar acidez, como sucede en la combinación con jugo de piña.

Edulcorantes

Basada en la tecnología de obtención de jugos y como continuación de ella, existe la posibilidad de obtener, a través de un tratamiento de clarificación enzimática un edulcorante natural, tipo jarabe, similar en su presentación a los jarabes de maíz, de amplio uso en la industria de bebidas refrescantes. Presenta la ventaja de que la composición de azúcares del jugo de tuna es una mezcla de fructosa y glucosa, en partes casi iguales. La línea de flujo para la obtención de edulcorante se presenta en la Figura 5.

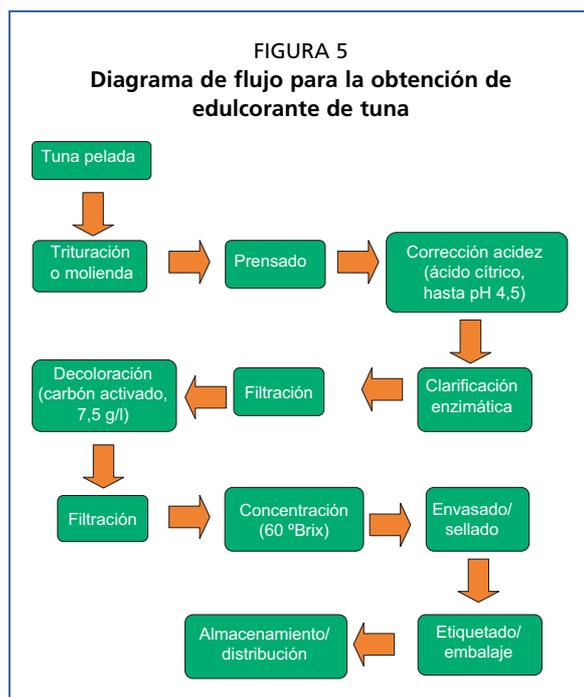
Una vez obtenido el jugo, de acuerdo a lo señalado anteriormente, este se traslada a un doble fondo, se corrige la acidez por adición de ácido cítrico (la dosis dependerá de la acidez con que llega el jugo a la planta para llevarlo a pH 4,2 - 4,5, óptimo para la acción enzimática); una vez corregida la acidez se agrega la enzima, lo que permitirá eliminar la pulpa. En el mercado existen varios preparados enzimáticos, pero aquí se indicarán dosis y tipos a partir de lo desarrollado por Sáenz *et al.* (1998), en el que se usa Pectinex AR (5 000 ppm por 22 horas a 50 °C), una enzima con una fuerte actividad de arabanasa; no sólo hay que degradar las pequeñas cantidades de pectinas presentes en el jugo, sino especialmente el mucílago, que es particularmente resistente a los tratamientos enzimáticos convencionales que se utilizan para clarificar jugos de fruta en la industria (manzanas, peras). En este sentido es necesario continuar con ensayos que utilicen otros preparados enzimáticos, que permitan bajar la dosis utilizada y acortar los tiempos de tratamiento.

Luego del tratamiento enzimático y a fin de separar la pulpa, el jugo se pasa por un filtro prensa o similar. Posteriormente se coloca el jugo en un recipiente, donde se

efectúa la decoloración con carbón activado (7,5 g/l) y se filtra para separarlo, pasando la mezcla por un filtro prensa o un equipo similar. El producto clarificado y decolorado se lleva a un evaporador a vacío, en el que se concentra hasta 60-62 °Brix.

A continuación se envasa en frascos de vidrio para contener 1 kg para consumo doméstico o a granel en bidones (2-5 kg) o tambores de plástico de 50 kg en los que se coloca el producto en bolsas de polietileno. Se almacena a temperaturas no superiores a 22-25 °C.

Cabe hacer notar que este producto debe competir con otros edulcorantes líquidos ya aceptados en el mercado, por lo que hacer rentable su producción es un aspecto fundamental para que sea viable desde el punto de vista comercial.



Láminas deshidratadas

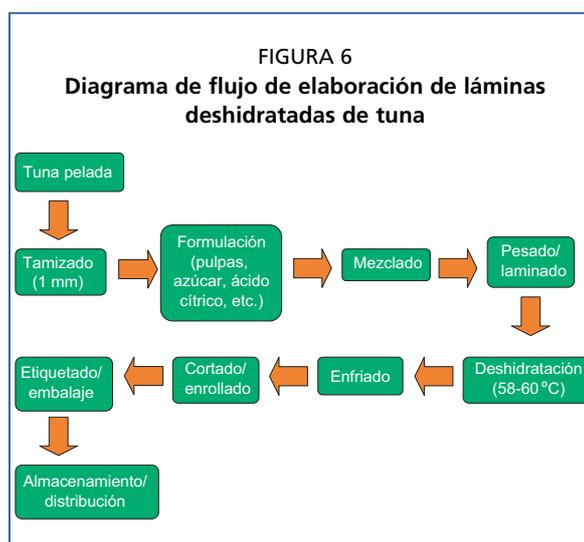
Un producto de tecnología bastante simple, que sin embargo se puede implementar para su producción a diferentes escalas, son las láminas deshidratadas elaboradas a partir de pulpas de tunas.

Este proceso se puede realizar a pequeña y mediana escala en los países en que existe una buena luminosidad utilizando secadores solares. Hay disponibles una gran cantidad de diseños de diversa complejidad. Será necesario evitar la rehidratación del producto en condiciones de alta humedad relativa, sobre todo en la noche. Se deberán tomar las precauciones necesarias para que la humedad perdida en el día no se recupere en las horas nocturnas, si el tiempo de secado fuera superior a 18 horas.

En la Figura 6 se presenta la línea de flujo para la obtención de láminas deshidratadas de tuna (*cactus pear leather* o *cactus pear sheets*). Se pueden elaborar utilizando tunas de diversos colores, lo que le da un atractivo mayor al presentarlas al consumidor y empleando diversas formulaciones.

La elaboración de las láminas, comienza por someter la tuna pelada a un tamizado, a fin de eliminar las semillas; luego la pulpa se hace llegar a un tanque de paso donde se añaden los ingredientes necesarios de acuerdo a la formulación que se haya seleccionado. En este caso, a modo de ejemplo, se ha seleccionado una formulación basada en una mezcla de pulpa de tuna (75 por ciento) con pulpa de manzana (25 por ciento); esta última es utilizada frecuentemente como extensor en diversos productos alimenticios ya que aumenta el volumen, pero no influye en el sabor del alimento al que se incorpora. Sin embargo, también se pueden elaborar sólo en base a pulpas de tuna. Los ingredientes a añadir son azúcar: 10 por ciento; ácido cítrico: c.s.p. ajustar la acidez a 0,4 por ciento; canela: 0,1 por ciento (Sepúlveda *et al.*, 2003c).

Luego de la mezcla, la pulpa se prepara para el secado, colocándola en capas delgadas





E. SEPÚLVEDA

Lámina 25
Deshidratador eléctrico de bandejas
Chile, 2004.

sobre bandejas cuya base es un material plástico especial, antiadherente (Teflex™), según muestra la Lámina 25.

También se puede utilizar lo recomendado por Enachescu (1995) para deshidratar barras de frutas, consistente en bandejas de acero inoxidable recubiertas con glicerina (40 ml/m²), para evitar que se pegue la pulpa y poder desprender fácilmente las láminas luego del secado; se puede utilizar aceite en vez de glicerina.

Luego se introducen las bandejas (36 x 36 cm) en el deshidratador que puede ser el de pequeña capacidad de la Lámina 25, un túnel de aire forzado de mediana capacidad (Lámina 26) o un secador de rodillos (tipo secador de tambor doble). Se recomienda una temperatura de secado

de 58 - 60 °C, durante 8 - 10 horas, dependiendo del equipo que se disponga, de la carga del deshidratador, de la velocidad del aire de secado, de la recirculación de aire, del espesor de la pulpa colocada en las bandejas, entre otras cosas. La carga por bandeja es de alrededor de 2,5 - 3,0 kg/m².

Una vez finalizada la deshidratación de la pulpa (hasta 10 - 15 g/100 g de humedad), se descargan las láminas desde las bandejas en una mesa de acero inoxidable o sobre una tabla plástica limpia. El espesor es de 0,1 - 0,2 cm.

Seguidamente se pueden cortar las láminas en rectángulos (12 - 15 cm x 3 - 4 cm), se enrollan en papel celofán y se envasan en un material adecuado para un producto deshidratado, como el polipropileno impermeable a la luz. También se pueden envasar directamente sin enrollar manteniendo su forma rectangular.

Para su almacenamiento se colocan en cajas de cartón y se conservan a temperatura ambiente, cuidando de que la HR del recinto de almacenamiento no sea superior a 60-65 por ciento.

En la Lámina 27 se observan las láminas deshidratadas de pulpa de tuna, de diferentes colores.

Cabe indicar que el concepto de barras de frutas, desarrollado por Amoraggi (1992) para frutas como el mango y la banana, es muy similar al aquí indicado, sólo que las barras de frutas tienen una humedad levemente superior (15 - 20 g/100 g), y mayor espesor (0,3 cm); tienen una textura algo diferente, pero también pueden ser una interesante alternativa para la tuna.

En el citado documento se indica una interesante combinación de un sistema que trabaja con energía solar durante el día y electricidad durante la noche; se inicia el proceso a 55 °C (10 horas) y se termina a 70 °C (16 horas), hasta llegar a la humedad deseada. La carga de las bandejas en este caso es de 12,5 kg/m².

Pulpas congeladas

Uno de los sistemas quizá más promisorios para procesar la pulpa de tuna y disponer de un producto de excelente calidad, tanto para diluir y elaborar bebidas refrescantes, como para preparar otros alimentos (productos de pastelería, helados, licores, mermeladas), es la congelación de las pulpas.



C. SAENZ

Lámina 26
Túnel deshidratador de aire forzado para elaborar láminas de pulpa de tuna
Chile, 2004.



E. SEPULVEDA

Lámina 27
Láminas deshidratadas de pulpa de tuna Chile, 2003.

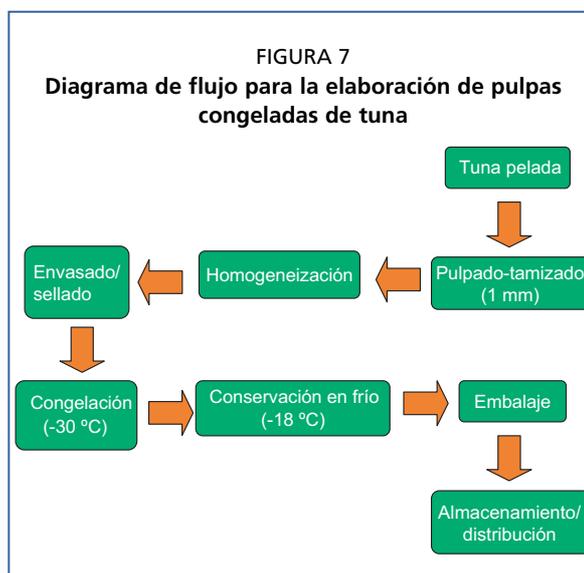
Este producto no se comercializa aún a gran escala a nivel mundial y sólo en California (Estados Unidos de América) se elabora una pulpa de tuna roja, azucarada de 22 - 24 °Brix. Los productos congelados tienen altas exigencias de manejo, conservación e infraestructura, requieren además, necesariamente, una cadena de frío que va ligada a su producción. Son, sin embargo, una interesante alternativa que se encuentra en desarrollo. Actualmente, se están efectuando estudios a nivel piloto en la Universidad de Chile y existe interés para implementar este proceso, tanto entre los productores de tuna, como entre los productores de pulpas de frutas congeladas.

Por ello y debido a que los procesos de congelación se aplican desde hace muchos años con éxito para otros vegetales y variados tipos de frutas, se reseñan las operaciones necesarias para producir esta clase de derivados, en vista de las posibilidades que tiene la tuna y en los resultados promisorios de las experiencias efectuadas a nivel de laboratorio. La línea de flujo para la elaboración de pulpas congeladas de tuna, se indica en la Figura 7.

La fruta pelada y tamizada (libre de semillas), obtenida de modo similar a lo indicado para los procesos detallados anteriormente, se recibe en un tanque de paso provisto de agitadores para mantener la homogeneidad de la pulpa, desde donde se bombea a la línea de envasado. Este se realiza utilizando bolsas de polietileno de alta densidad de 1 kg las que una vez selladas se colocan en bandejas y estas en carros móviles. Estos carros se introducen en una cámara de congelado a -30 °C y una vez que el producto está listo se pasa a una cámara de mantenimiento a -18 °C.

Este producto que se ha preparado también en la Universidad de Chile en fruta de pulpa verde, mantiene el color original de la pulpa fresca así como su aroma y demás atributos organolépticos (Sáenz, datos no publicados).

Para la comercialización del producto hay que tener en cuenta que se debe mantener en todos los puntos la cadena de frío. Es un producto no estéril, ya que no ha sido pasteurizado antes de congelar, por lo que si se descongela se puede alterar fácilmente. Por lo tanto, para su distribución el transporte debe efectuarse en vehículos refrigerados (-18 °C) y no se debe dejar el producto a temperatura



ambiente en ningún momento. En los locales de venta deben existir anaqueles congelados a temperaturas de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es la necesaria para mantener la calidad de este tipo de productos.

El producto una vez descongelado está listo para su consumo y se debe tratar como un producto fresco, manteniéndose refrigerado por no más tres días. Si este producto se utiliza como parte de otro proceso, en pastelería, para la elaboración de helados o para preparar jugos se deberán tener al menos las mismas precauciones para su manejo y empleo; sin embargo es preferible descongelar la pulpa en el momento de ser utilizada.

Aceite de las semillas

Las semillas son un desecho de algunos de los procesos como la obtención de pulpas, jugos y mermeladas; sólo interesaría su utilización para obtención de aceite siempre que se lograra contar con una cantidad suficiente para que este proceso fuera rentable. El aceite de semilla de tuna, por algunas de sus características se puede comparar con algunos aceites comestibles como el de pepita de uva y germen de maíz. Podría competir con ellos en su uso gastronómico, por su sabor neutro y composición.

Una vez que las semillas de la tuna han sido separadas de la pulpa, de acuerdo a lo descrito anteriormente, es posible eliminar la pulpa adherida a ellas mediante un tratamiento térmico con una solución de NaOH al 2 por ciento, durante dos minutos a $90 - 95\text{ }^{\circ}\text{C}$; luego se lavan profusamente con agua, hasta lograr la eliminación total del NaOH, se escurren y se secan a temperatura ambiente o en equipos similares ya descritos a temperaturas de $55 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez secas, las semillas se hacen llegar a un molino de cuchillas, de martillos o similares, a fin de reducir su tamaño y facilitar la extracción del aceite.

La extracción del aceite, se puede efectuar utilizando solventes como el hexano. Se dejan las semillas molidas en contacto con el solvente por 16 - 18 horas, eventualmente con agitación, hasta lograr la total solubilización del aceite en el solvente. Para separar el solvente del aceite, la mezcla se traslada a un evaporador al vacío y se somete a destilación y posterior condensación. Luego de una etapa de desolventización y secado, se envasa de modo similar a otros aceites comestibles, para lo cual se pueden utilizar envases de vidrio, de plástico o de hojalata. Del mismo modo que en el caso de otros aceites vegetales comestibles, el plástico o el vidrio utilizados deberían llevar incorporadas sustancias que frenan la acción de la luz ultravioleta, especialmente dañina para estos productos, de modo de evitar la oxidación a la que son especialmente susceptibles los aceites. El aceite se almacena a temperatura ambiente.

Cabe señalar que dado el bajo rendimiento del aceite de semillas de tuna su obtención sería rentable si su extracción estuviera asociada a la industria procesadora de fruta, ya sea de pulpas, jugos u otros productos, en los que la semilla fuera un desecho cuyo volumen hiciera interesante la extracción del aceite.

Tal como se indicara al inicio de este Capítulo, los productos detallados fueron seleccionados entre otros que pueden ser elaborados en una pequeña agroindustria. Se consideran, no sólo representativos de los que se pueden fabricar a partir del fruto de los nopales, sino que además, algunos de los productos señalados, como las mermeladas o las pulpas congeladas, pueden ser a su vez, materias primas o ingredientes para formular otros alimentos y por tanto insumos de otras industrias del rubro de los alimentos. Sin embargo, aunque estos modos de utilización sean alternativas claras de industrialización del fruto de los nopales, su implementación a nivel industrial, debe ser cuidadosamente estudiada antes de decidir la instalación de una planta y efectuar las inversiones respectivas; por otro lado, su implementación, incluso a nivel doméstico, puede ser una alternativa válida para un mejor y mayor aprovechamiento de este fruto y particularmente para paliar la escasez de alimentos en algunas partes del mundo en las que esta especie está disponible pero que está actualmente subutilizada. Entre dichas zonas se encuentran regiones de África y América Latina y el Caribe.

PROCESAMIENTO DE CLADODIOS

El consumo de los cladodios de los nopales forma parte de la cultura gastronómica de países como México y algunas zonas del Perú y del sur de Estados Unidos de América y podría llegar a formar parte de otras culturas, si se dieran a conocer las numerosas formas de prepararlo y/o procesarlo que existen y los beneficios nutritivos que conlleva su consumo.

El procesamiento de los cladodios tiernos (nopalitos) y su utilización para consumo humano y otros fines no alimentarios es conocido y en algunos países existen en el mercado variados tipos de productos, marcas y formas de presentación. Es el caso de los nopalitos en salmuera, los nopalitos en escabeche, las salsas de nopalito, la mermelada de nopalito, los nopalitos confitados y el jugo de nopal desde hace poco tiempo presente en el mercado mexicano. La utilización de harina de nopal en la industria elaboradora de cereales para el desayuno, es una incorporación novedosa en un producto que se comercializa actualmente. Además, existen numerosas alternativas artesanales (queso de tuna, colonche). En el presente Capítulo, de modo similar a lo que se planteó para la tuna, se abordará el detalle de la producción industrial de algunas de estas alternativas.

Existen diferencias entre la preparación de nopalitos para el consumo doméstico como ingrediente de muchas comidas y su preparación industrial. Por otra parte, los cladodios maduros que no se consumen a nivel doméstico tienen usos interesantes a nivel industrial y se encuentran a nivel comercial en algunos países.

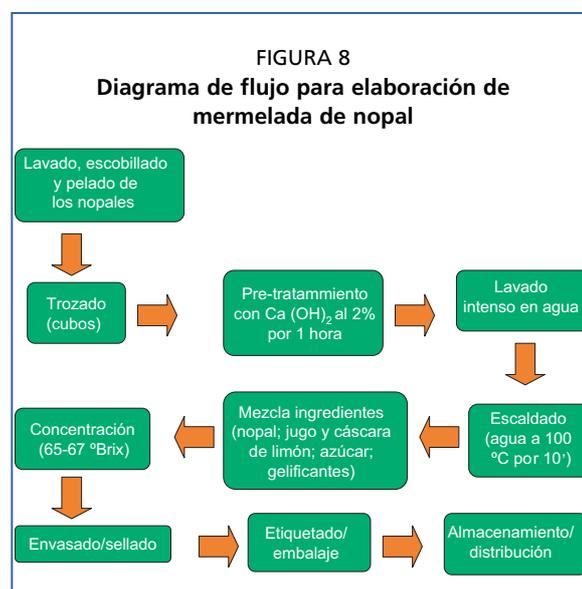
A continuación se detallan las líneas de flujo para varios productos que se han seleccionado y que cubren tecnologías diversas que llevan a la producción de alimentos -dulces o salados- así como la transformación de nopales maduros para la elaboración de harinas.

Mermeladas

Al igual que para el caso de la tuna, también se elaboran mermeladas a partir de los nopales, para lo cual se pueden utilizar nopales maduros o nopalitos. La elaboración de mermelada de nopal es algo más compleja que la de tuna, ya que hay que incluir algunas operaciones de preparación o pretratamiento de los nopales, para dejarlos en condiciones de entrar a la línea de proceso y a fin de tener la seguridad que sus características de mucilaginosidad no van a influir negativamente en el producto final.

El mucílago es un hidrocoloide de consistencia viscosa que tiene un importante papel fisiológico en la planta pero que proporciona cualidades sensoriales a algunos productos que los hace poco agradables; por lo tanto, es necesario eliminar este compuesto en la mayoría de los productos elaborados con nopales, ya sean estos tiernos o maduros.

En la Figura 8 se presenta una línea de flujo para elaboración de mermeladas de nopal. Al igual que en el caso de mermeladas de tuna, hay numerosas formulaciones, varias de ellas en el mercado de diversos países (Estados Unidos de América, México). Se describe una mermelada de nopal y limón, desarrollada en la Universidad de Chile (Sáenz *et al.* 1995b). Cabe señalar que Chile no es un país consumidor de nopalitos ni de nopales; sin embargo, este producto fue muy bien calificado por el panel de degustación. Esto indica que un buen producto, sean cuales sean las costumbres gastronómicas del país, es bien aceptado y



tiene buenas posibilidades de ser preferido entre otros similares por los consumidores, si está bien formulado y elaborado.

Según se indica en la Figura 8 una vez recibidos del campo los cladodios maduros (nopales) que pueden ser hasta de un año por sus características de textura y menor contenido de fibra que los de más edad, se colocan en un tanque y se lavan con agua clorada (80 ppm).

Luego se escobillan para eliminar las espinas y la suciedad que puedan traer adherida. Se trasladan a un mesón de acero inoxidable y se elimina la corteza verde externa con un cuchillo bien afilado; esta operación se ve facilitada si se comienza por quitar el borde superior y el inferior más grueso y duro que es el que se encuentra adherido a la planta, y los bordes laterales. Posteriormente, se trozan en pequeños cubos de 1 x 1 cm y se someten a un pretratamiento con una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 2 por ciento durante 60 minutos para eliminar el mucílago en una relación solución:nopales = 1,5:1; se debe cuidar que el recipiente utilizado permita que los trozos queden todos sumergidos en la solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, agitando si fuera necesario.

Luego se lavan con abundante agua, comprobando con un indicador (p. ej., fenoftaleína) que el hidróxido de calcio haya sido eliminado completamente de los trozos de cladodios y se escaldan en agua caliente (100 °C durante 10 minutos) en una proporción agua:penca = 1,5:1 a fin de ablandarlos; luego se escurren.

Los nopales trozados se llevan a un doble fondo donde se efectúa la mezcla con los otros ingredientes que forman parte de la formulación. Por cada 10 kg de nopales trozados se añaden 8 kg de azúcar, 0,7 l de jugo de limón; 0,6 kg de cáscaras de limón trozadas en cubos (del mismo tamaño de los nopales y previamente escaldadas en agua a 100 °C para eliminar el amargor) y 5-6 por ciento de carragenina, como gelificante (también se pueden utilizar pectinas en dosis de 2-3 por ciento, dependiendo de la consistencia que se le quiera dar a la mermelada). Este parámetro es uno de los más importantes para evaluar la calidad de una mermelada e influyen no sólo el grado de concentración y el contenido de pectinas o gelificantes, sino también el tamaño y cantidad de partículas en suspensión que estén presentes en la pulpa. La mezcla se concentra hasta 65-67 °Brix. El producto que se obtiene se observa en la Lámina 28.

Luego de la concentración, la mermelada pasa a la línea de envasado para lo cual se pueden utilizar frascos de vidrio con contenido de 500 g siguiendo para esta operación, en forma similar a lo señalado anteriormente para la producción de mermeladas de tuna. Posteriormente los frascos se etiquetan, embalan y almacenan para su distribución y comercialización.

Cabe hacer notar que las proporciones aquí indicadas a modo de ejemplo, pueden variar y se puede utilizar menos cantidad de azúcar y concentrar más (para lo cual conviene evaluar los costos de una y otra alternativa); sin embargo, hay que recalcar que el nopal no contribuye con sólidos solubles a la mermelada, como ocurre con la tuna y

otros frutos, por lo que estos deben ser añadidos. Otro modo de reducir la cantidad de azúcar es combinar el nopal con otras frutas que aporten sólidos solubles. La pulpa de limón o naranja puede ser una alternativa, ya que además aporta pectinas y acidez, necesarios para la elaboración de cualquier producto de este tipo y que en el caso del nopalito debe ser adicionado en su totalidad ya que ninguno de los dos forma parte de su composición en forma suficiente.

En México se han efectuado pruebas con otras frutas como el tejocote (*Crataegus pubescens*), fruto de una planta nativa de color amarillo, agrídulce, lográndose buenos resultados.



C. SAENZ

Lámina 28
Mermelada de nopal con limón
Chile, 1996.

Confitados

El confitado de frutas es una técnica muy antigua cuyos primeros conocimientos datan del antiguo Egipto donde se conservaban algunos frutos en miel. Los pueblos árabes y los egipcios fueron los primeros en utilizar jarabes de azúcar y la miel para conservar dátiles y otras frutas. Es una tecnología de especial interés para el nopal y a continuación se indican las bases en que se sustenta su aplicación.

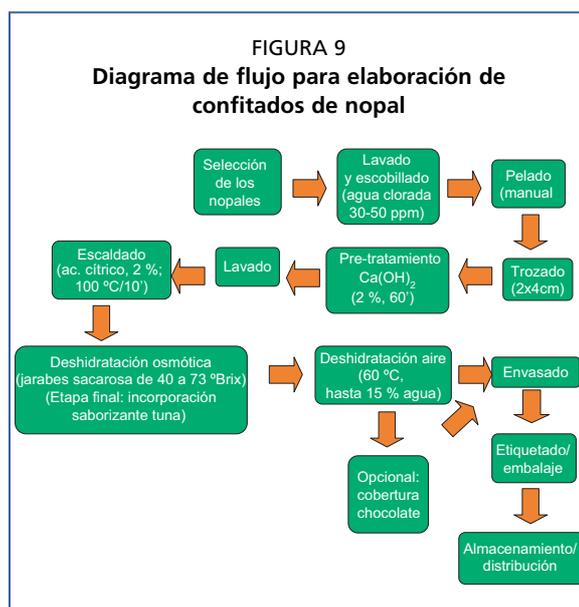
Por confitado se entiende el proceso mediante el cual se sustituyen, en base a los fenómenos de difusión y de ósmosis, los líquidos celulares e intercelulares de los tejidos vegetales por un almíbar azucarado. Este jarabe de azúcar debe poseer características que permitan, por una parte, que el producto terminado se conserve bien gracias a la baja a_w alcanzada y por otra, que no aparezcan defectos por las altas concentraciones de azúcar (cristalización). Para esto se utilizan jarabes de alto contenido de sólidos solubles (75 °Brix), de los cuales al menos 60 - 65 por ciento deben ser azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa. Previa a las operaciones de impregnación de azúcares (por inmersión en jarabes de concentración creciente entre 40 y 75 °Brix), los tejidos deben permeabilizarse, de modo de disponerse a la ósmosis y la difusión, siendo receptivos al jarabe; esto se puede lograr a través de un escaldado en agua con ácido cítrico o láctico. Este tratamiento sustituye los líquidos celulares de los tejidos por la solución y el azúcar puede ingresar fácilmente, sin que los trozos se reduzcan de volumen evitando que pierdan su apariencia original y por tanto la calidad del producto.

Los productos confitados se elaboran por lo general de frutas, ya que sus sólidos solubles ayudan en el proceso. Sin embargo, al igual que ocurre con las mermeladas, aunque los nopales no parezcan el elemento más apropiado para su elaboración, se logra un producto interesante. En este caso, la textura de los nopales maduros (2-3 años) es un buen soporte para elaborar confitados -que en muchos lugares se obtienen de cáscaras de sandía-, luego se aromatizan y colorean imitando diversos tipos de frutos y se comercializan para formar parte de productos de panadería u otros alimentos.

Una línea de flujo para la obtención de nopales confitados se presenta en la Figura 9 (Villarreal, 1997). El proceso comienza con la recepción de las pencas o cladodios maduros (2-3 años); estos pasan a un mesón de acero inoxidable donde varios operarios efectúan la selección en forma visual y por peso, de modo que todas las pencas tengan tamaño, forma y peso similar (alrededor de 2 kg), eliminándose aquellas que presentan irregularidades y daños por enfermedades o insectos. Se trata de que en el momento del trozado de las pencas se puedan obtener piezas de tamaño regular, con el máximo rendimiento por penca.

Luego de la selección y en un recipiente adecuado, se lavan las pencas con agua clorada (30-50 ppm) y se cepillan, con el objeto de eliminar polvo, microorganismos y espinas. Posteriormente, en un mesón de acero inoxidable se quita la corteza, eliminándose así toda su fibra gruesa. Una vez limpias, las pencas se trozan en cubos de 1,8 x 4 cm, utilizando para ello cuchillos afilados o un equipo mecánico diseñado para este efecto. En este proceso también se requiere un pretratamiento de las pencas, a fin de eliminar el mucílago. Esta operación consta de tres etapas:

- Inmersión: el nopal trozado se coloca en un doble fondo, en el que se vierte una solución de hidróxido de calcio



Fuente: Villarreal, 1997.

[Ca (OH)₂] al 2 por ciento y se mantienen durante 60 minutos para eliminar el mucílago y mejorar la textura del producto. Se utiliza una relación solución:paleta = 1,5:1, a temperatura ambiente.

- Lavado: se elimina la solución de hidróxido del doble fondo y se lavan los trozos con abundante agua potable, para la eliminación total del mucílago y el hidróxido, hasta reacción alcalina negativa, verificado con la prueba de la fenoftaleína.
- Escaldado: a continuación, en el mismo recipiente, se vierte una solución de ácido cítrico al 2 por ciento y se calienta a 100 °C por 10 minutos. La relación solución:penca se mantiene en 1,5:1 de modo que todos los trozos queden sumergidos.

Una vez finalizado el pretratamiento comienza la operación de confitado propiamente dicha, la cual es en esencia una deshidratación osmótica. Esta se realiza utilizando concentraciones crecientes de jarabes de sacarosa; para lo cual se comienza con soluciones de 40 °Brix, aumentando 10 °Brix por día, hasta llegar a 73-75 °Brix. Desde el inicio de la operación y cada vez que se incrementa la concentración, el jarabe junto con los trozos de cladodios se someten a ebullición por un minuto, luego se deja que los trozos se enfríen junto con el jarabe y se dejan reposar 24 horas hasta que se efectúa un nuevo aumento de la concentración del jarabe. En el último tratamiento con el jarabe se puede incorporar aromatizante y saborizante (esencia de tuna), en concentración de 0,5 por ciento, a fin de reforzar esta característica en el producto final y disminuir el sabor herbáceo típico de los cladodios de nopal.

Los trozos confitados se retiran del recipiente, se dejan escurrir en bandejas de mallas plásticas y se deshidratan en un equipo de aire forzado (u otro similar) a temperatura constante de 60 °C, hasta que los confitados lleguen a una humedad de 15 por ciento, suficiente para una buena conservación, ya que la a_w deberá estar cercana a 0,59.

El envasado puede hacerse de diferentes formas, una de ellas es colocar los confitados en bandejas de poliestireno expandido. Para ello los operarios dispondrán de pinzas de acero inoxidable o lo podrán hacer a mano con guantes cuidando que el producto no se contamine en esta etapa; luego se colocan en bolsas de polipropileno.

En la Lámina 29 se observa parte del proceso de preparación de las pencas para la deshidratación osmótica y obtención del producto confitado.

Una operación optativa, dependiendo del destino que se le quiera dar al producto, es aplicar en los trozos de nopal confitado y luego del secado una cobertura de chocolate. Estos confites se pueden comercializar como golosinas, semejantes a las cáscaras de naranja u otras frutas recubiertas de chocolate que son conocidas y de consumo frecuente en muchos países.

La aplicación de coberturas de chocolate es una operación delicada que le da mayor valor agregado a estos confites pero que también encarece su costo de producción.



C. SÁENZ Y E. SEPÚLVEDA

Lámina 29

Pelado, corte y trozado de pencas y productos confitados con y sin cobertura de chocolate Chile, 1997.

Para ello se utiliza chocolate especial para cobertura y cacao (6 - 8 por ciento) que permite una cobertura más delgada y de mejor apariencia. El chocolate se tempera a 28 - 31 °C y se aplica a esa temperatura, obteniendo productos con buen brillo y de apariencia atractiva. La cobertura se puede efectuar en forma manual con utensilios de chocolatería artesanal. Luego los confites se colocan en bandejas, se cubren con polietileno retráctil y se llevan a refrigeración (10 - 12 °C) por 24 horas, para lograr un buen endurecimiento del chocolate.

Finalmente, se pueden envasar en forma similar a lo señalado para los confitados sin cobertura, cuidando en este caso de recortar el exceso de chocolate que hubiere quedado, a fin de mejorar la apariencia del producto.

El almacenamiento y distribución de este producto son más delicados que en el caso de los confitados sin cobertura, ya que las temperaturas deben estar más controladas para que no se derrita el chocolate (menores de 25 °C).

Nopalitos en salmuera y en escabeche

Los nopalitos en salmuera y en escabeche son formas de consumo muy comunes y extendidas en el mercado mexicano. En el comercio se encuentran diversas formulaciones, así como variadas marcas y formas de presentación en envases de diversos tamaños. Algunos ejemplos se observan en la Lámina 30.

La línea de producción de nopalitos, sean estos en salmuera o encurtidos, incluye en primer término, varias operaciones de acondicionamiento previo a la entrada de los nopalitos en el proceso definitivo. Esta ha sido descrita por Corrales (1998) y Corrales y Flores (2003) y es la línea que, representando lo que se efectúa a nivel industrial, se ha tomado como base en este punto.

Los nopalitos llegan a la planta procesadora desespinaados o se desespinan al inicio del proceso. Se comienza por una selección, para lo cual se colocan en un mesón de acero inoxidable y los operarios, en forma visual, descartan los nopalitos dañados, fuera de calibre o con otros defectos. Luego se pasan a un tanque y se lavan con agua clorada (50 ppm); una vez escurridos pasan al sistema de trozado, ya sea manual o mecánico. El corte se puede realizar en tiras de 1 x 10 cm; en cubos de 1 x 1 cm, o con moldes, de modo de obtener nopalitos en miniatura (5 - 7 cm), llamados también «penquitas»; para esto es importante una adecuada selección, de manera que ingresen al proceso nopalitos de un grosor no mayor de 0,5 cm. Una variante de esta etapa es comenzar la línea de producción con nopalitos de pequeño tamaño (6 - 8 cm), bastante más tiernos que lo que se acostumbra a utilizar hasta ahora en la producción industrial. Este es un producto más delicado y de mayor costo, ya que los rendimientos son menores al ser los nopalitos de menor tamaño.

Lámina 30

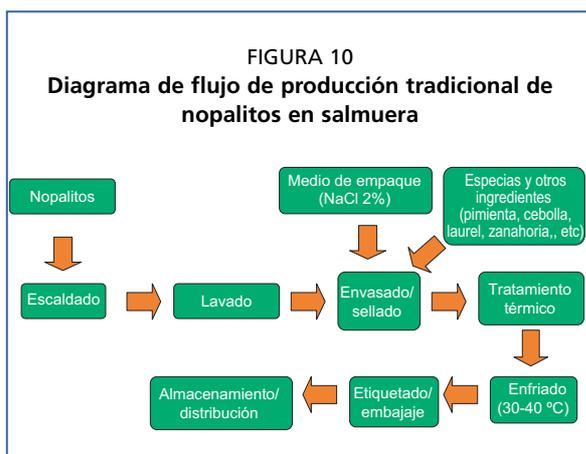
*Venta de nopalitos en el mercado,
nopalitos prepicados y en salmuera
México, 2001.*



C. SÁENZ Y E. SEPÚLVEDA



A. RODRÍGUEZ-FELIX



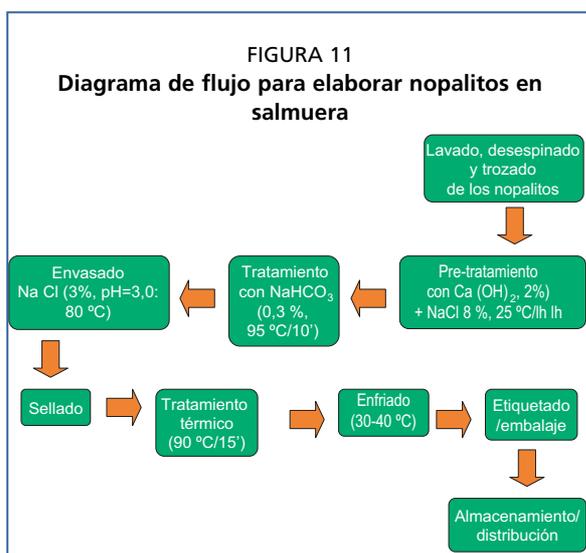
Una vez que los nopalitos han sido desespinaados, lavados y cortados, se escaldan con agua caliente (95 °C) o vapor, se enfrían rápidamente con agua, para evitar el deterioro del color, sobre todo en el caso del escaldado con vapor; en el procedimiento con agua, debido al largo tiempo de tratamiento, será difícil evitar la decoloración y se procede al envasado, que puede ser en botes de hojalata (0,3 - 1,0 kg), en frascos de vidrio de diverso contenido (0,3 - 1,0 kg). En esta etapa es posible añadir diversas especias (cebolla, zanahoria, laurel, pimienta); finalmente se adiciona el medio de empaque o líquido de cobertura caliente (90 - 95 °C), cubriendo completamente el contenido.

En la Figura 10 se observa la línea de flujo de elaboración de nopalitos en salmuera, que se utiliza tradicionalmente a nivel industrial.

El medio de empaque o líquido de cobertura, está constituido por salmuera (NaCl al 2 por ciento) y opcionalmente algún conservante como benzoato de sodio, en dosis permitidas según las reglamentaciones de cada país o lo recomendado por el *Codex Alimentarius*, donde cada aditivo y cada producto alimenticio suele estar especificado en las normas correspondientes. En el caso del benzoato de sodio se recomienda una dosis máxima de 1 g/kg de producto.

Antes del sellado, los envases (de vidrio u hojalata), se hacen pasar por un túnel de agotamiento, de modo de eliminar el aire ocluido y hacer más efectivo el vacío del envase una vez cerrado. Los envases, de acuerdo al material que se esté utilizando, se sellan en selladoras manuales o mecánicas. Posteriormente se esterilizan en autoclaves, calculando el tiempo y la temperatura de acuerdo al tipo de envase utilizado (100 - 110 °C durante 15-20 minutos) para envases de 200 - 250 g de contenido. Una vez terminada la operación de autoclavado, los envases se dejan enfriar hasta 30-40 °C y se dejan secar al aire. Se etiquetan, embalan y dejan por el tiempo requerido antes de ser enviados al comercio.

En la Figura 11 se observa una variante a la línea de flujo de producción tradicional de nopalitos en salmuera, según una modificación propuesta por Montoya *et al.*



Fuente: Montoya *et al.*, 2001

(2001). Esta modificación, introducida en las primeras etapas del proceso con el objeto de mejorar el color verde de los nopalitos y disminuir su mucilaginosidad, se debe a que en el mercado se observa con frecuencia que los productos en venta presentan un color verde oliva algo oscuro, que aún cuando no afecta las características de inocuidad del producto afecta sus características sensoriales. Esta es la típica alteración producida por la degradación de la clorofila a feofitina que aparece en muchas ocasiones en los vegetales verdes que han sido tratados térmicamente.

Se incluyen en este caso dos operaciones, una para disminuir la mucilaginosidad de los nopalitos [pretratamiento con Ca (OH)₂ al 2 por ciento], y otra con el propósito de disminuir el deterioro del color (escaldado con NaHCO₃ al 0,3 por ciento). El resultado

es un nopalito más verde y de color más cercano al nopalito fresco, lo que aumenta notablemente el atractivo del producto.

Además de estas variaciones, cuando como en este caso el mercado es interesante, lo normal será que se estén proponiendo constantemente innovaciones a fin de mejorar la calidad de los productos y así no sólo conservar el nicho obtenido en un mercado altamente competitivo, sino además aumentarlo y poder explorar otros mercados más exigentes.

La metodología básica para la elaboración de nopalitos en escabeche se encuentra en el Capítulo 5.

Jugo de nopal

Un producto incorporado recientemente al mercado es el jugo de nopal que se elabora en México. Su aparición es interesante ya que el mercado de los jugos, ya sea de frutas o de hortalizas se encuentra constantemente en búsqueda de sabores nuevos y que aporten beneficios a la salud. El nopal aporta fibra soluble, minerales y contiene pocos azúcares por lo que su consumo es aconsejable en el caso de algunas enfermedades humanas o por aspectos de salud.

La línea de flujo para su producción se presenta en la Figura 12.

Una vez que los nopalitos llegan a la planta procesadora, se seleccionan y se desespinan tal como se ha indicado en procesos anteriores y se reciben en un tanque con agua clorada (30-50 ppm). Luego se trozan, a fin de facilitar las operaciones de escaldado y de prensado que siguen a continuación en la línea; ambas operaciones se ven facilitadas por el pequeño tamaño y mayor superficie de la materia prima. La molienda puede efectuarse en diversos equipos ya sea de cuchillas o de aspas giratorias; los nopalitos trozados, se escaldan a 95 °C, se escurren y luego se muelen. Posteriormente, se bombean a un sistema de prensado, que puede ser un filtro prensa, una prensa de tornillo sin fin, de bandas u otra prensa adecuada para esta operación.

El líquido de prensa se hace llegar mediante bombas a un tanque de paso, para agregar los aditivos de acuerdo a la formulación que se haya seleccionado; se realiza una mezcla homogénea de ingredientes mediante agitación con un sistema de hélice, de acero inoxidable. Una alternativa descrita por Rodríguez (1999) es ajustar la acidez, añadiendo ácido cítrico hasta pH 3,5 y mezclar 30 por ciento de jugo de nopal, agua y aspartamo de modo de dejar el producto libre de azúcares.

El jugo se puede pasteurizar envasado en recipientes de vidrio o antes del envasado se puede tratar en un pasteurizador de placas, cuidando que las operaciones de envasado siguientes sean totalmente asépticas. Los envases se etiquetan, embalan y se envían a almacenamiento a temperatura ambiente hasta su distribución y comercialización.

Harinas

Un producto derivado de los nopales y de los nopalitos, son las harinas o polvos de nopal. Este producto ha estado destinado tradicionalmente a la industria farmacéutica y para suplementos alimenticios para confeccionar cápsulas, tabletas y otras bases para medicinas. Sin embargo, debido a que las harinas son ricas en fibra dietaria y otros compuestos de alto interés nutricional, pueden ser un interesante ingrediente para la industria de alimentos; su producción se detalla a continuación.

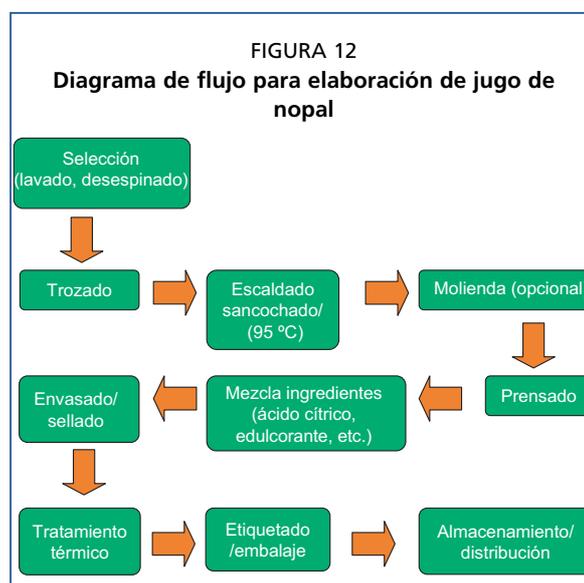




Lámina 31
Producto para el desayuno en base a cereal y nopal
México, 2005.

Un producto existente actualmente en el mercado mexicano, al cual se ha incorporado harina de nopal es una mezcla extruída de cereal con harina de nopal (Lámina 31) para ser consumida en el desayuno.

La empresa que desarrolla este producto en México, utiliza nopalitos de 3 a 6 meses, de un verde más intenso que los cladodios maduros y con mayor proporción de fibra soluble que estos. La harina que se obtiene es notoriamente más verde que la que se logra con las pencas viejas; estas son de color verde muy pálido y con impurezas ya que su esqueleto lignificado difícilmente se pulveriza después de secar; además, no contiene la misma cantidad de fibra y minerales (Pedroza, Comunicación personal).¹

Otro modo de utilizar la harina de nopal es en productos de panadería y galletería; para ello se puede sustituir una parte de la harina de trigo en la formulación de galletas de modo de aumentar su contenido de fibra (Sáenz *et al.* 2002c). En el mercado mexicano se pueden encontrar desde hace poco tiempo las típicas tortillas de maíz en las que se ha sustituido un porcentaje de la harina de maíz con harina de nopal.

Existen muchas empresas productoras de harina de nopal, pero generalmente, sus procesos son confidenciales. La línea de flujo para la obtención de harinas de nopal o nopal en polvo que se presenta en la Figura 13, fue desarrollada por Sepúlveda *et al.* (1995).

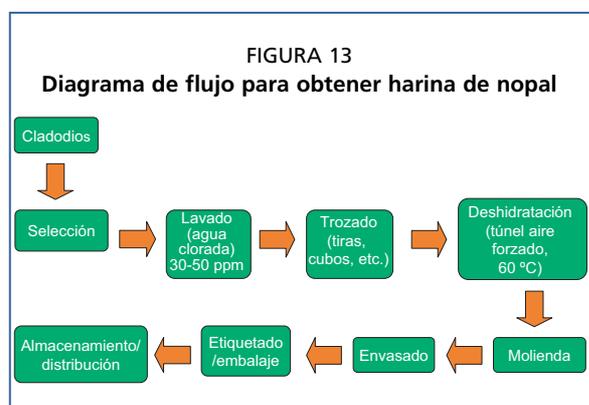
Antes de entrar a la línea de producción, los nopales se seleccionan, descartando los dañados o atacados por insectos; seguidamente se lavan, colocándolos en un tanque con agua clorada (30-50 ppm) y se pasan a una mesa de acero inoxidable para cortarlos manualmente en tiras o láminas; esta operación se puede hacer también en forma mecánica, utilizando, por ejemplo, una cortadora de fiambres o un equipo similar. Las pencas cortadas se colocan en bandejas y se llevan a un túnel deshidratador de cabina comenzando por un secado a 80 °C durante 2 horas y luego a 70 °C hasta llegar a una humedad de 7-10 por ciento.

Las pencas deshidratadas, se someten posteriormente a una molienda, para lo cual se puede utilizar un molino de cuchillas o de muelas y se pulverizan hasta obtener un polvo fino. La granulometría depende del destino final que tenga el producto. El polvo de nopal se envasa en recipientes impermeables al vapor de agua y se almacena en ambiente de HR baja (60-65 por ciento) y libre de insectos.

En la Lámina 32 se ilustran algunas de las operaciones efectuadas en la producción de harina de nopal.

El diseño de esta línea de flujo puede tener algunas variaciones de acuerdo a los volúmenes de producción, por lo que el sistema de cortado puede ser completamente mecánico; el túnel puede sustituirse por uno continuo y de capacidad variable, pero las condiciones generales de proceso son las indicadas anteriormente.

Es necesario enfatizar que tan importante como la conservación y transformación de la tuna y los nopalitos es el modo en que estos



Fuente: Sepúlveda *et al.*, 1995

¹ Gerardo Pedroza, Cactu Fibra, San Luis Potosí, México, 2005.

se consumen; sería de poca utilidad disponer de ellos fuera de estación como en el caso de la tuna, o procesados bajo diversas formas, si el modo de incluirlos en la dieta diaria fuera poco atractivo. En el Anexo 1 se incluyen direcciones de sitios en Internet en los que se dan ideas acerca de diversos modos para incluir estos vegetales, solos o combinados con otros alimentos, en las distintas comidas; esto puede ayudar a hacer más atractivo su consumo y, por lo tanto, el interés por conservarlos procesados.

ENVASADO Y ALMACENAMIENTO

Aunque para cada uno de los productos antes descritos se ha ido señalando el tipo de envase y sistemas de envasado más adecuados, cabe recalcar la importancia fundamental de esta operación, la que incluye tanto la selección del material de envase como el sistema de envasado. Esta etapa es vital en la cadena de producción de un alimento y especialmente en los derivados de los nopales, por las características propias de esta especie. Se puede llegar hasta esta etapa con un producto de alta calidad e inocuo y perder estos atributos si el envasado no está bien hecho o no se han seleccionado bien los materiales y el sistema mismo.

El material del envase, según los ejemplos que se han revisado hasta ahora, es variado y hay que escogerlo de acuerdo al producto y a los sistemas de conservación que se aplicarán. Dos materiales ampliamente utilizados en la agroindustria son el vidrio y la hojalata, de los cuales se conocen su manejo, sus ventajas y sus desventajas para la conservación de alimentos. Ambos se utilizan indistintamente para envasar alimentos que se someten a tratamientos térmicos (esterilización comercial). Las características del vidrio de ser inerte y transparente, son dos atributos que le dan ventajas claras frente a la hojalata; sin embargo esta es más resistente y de menor costo que el vidrio, es más resistente a los choques térmicos y menos frágil y, por lo tanto, de manejo más sencillo. La corrosibilidad de la hojalata es su mayor desventaja; sin embargo si se escogen materiales de buena calidad, se utilizan barnices adecuados según el tipo de producto y buenos sistemas de envasado (bajo vacío) esto no representa un problema.

En el mercado hay gran variedad de ofertas de envases tanto de hojalata como de vidrio (tamaños, formas, colores) y respecto a estos últimos, diversidad de tapas que permiten sellados herméticos. Los frascos de vidrio y las botellas, permiten envasados en caliente, sistema altamente utilizado para la conservación de dulces, mermeladas y jugos.

Los plásticos son otra gama de materiales que se utilizan ampliamente en la industria de alimentos. En este sector ha habido grandes avances en los últimos años; hay múltiples proveedores y las ofertas de materiales son variadas. Para envasar alimentos se utilizan tanto materiales flexibles (películas de distintos espesores y combinación de polímeros diversos) o rígidos (potes, tarrinas, bandejas, botellas). Las películas pueden estar formadas por varias capas de distintos polímeros [polietileno (PE), etilvinilalcohol, (EVOH)], lo que les



C. SAENZ Y E. SEPULVEDA



Lámina 32
Cortado y deshidratado de nopales para elaborar harinas o polvos.
México, 1995.

otorga diversa permeabilidad a los gases; este tipo de material es muy usado para envasar frutas y vegetales mínimamente procesados, entre ellos tuna y nopalitos.

También se encuentran materiales laminados (plástico-papel-aluminio), que mejoran las propiedades-barrera (permeabilidad a los gases) útiles para productos en polvo como las harinas de nopal. Las películas plásticas metalizadas a las que se les ha sublimado aluminio, que son especialmente atractivas por su brillo, pueden ser utilizadas para envasar las láminas y barras de pulpa de tuna; también existen materiales especiales para envasar alimentos grasos (galletas, otros tipos de productos de pastelería) como el polipropileno (PP) y otros. Los materiales plásticos flexibles son fáciles de sellar con maquinarias sencillas; son de menor costo que la hojalata y el vidrio.

En productos procesados, los plásticos flexibles, en principio, no suelen asociarse a productos de gran calidad, aunque esta percepción puede estar equivocada en numerosos casos. Los envases de plástico rígidos, son útiles para dulces y mermeladas, y aunque no son herméticos, son muy usados en este tipo de productos.

Una característica importante de los materiales de envase es su capacidad para ser reciclados, ya que son millones los que se utilizan diariamente y la contaminación ambiental se ve altamente afectada si no se les da un tratamiento adecuado. En este sentido el vidrio es preferible dada su capacidad de reciclaje.

Para mayor información acerca de materiales y sistemas de envasado consultar Rees y Bettison (1994) y Coles *et al.* (2004).

Con relación al almacenamiento de los diferentes productos, es necesario tener en cuenta el tipo de producto de que se trata, ya que algunos, por ejemplo, pueden requerir almacenamiento en cámaras de refrigeración o congelación y otros podrán almacenarse a temperatura ambiente.

En cualquier caso, se deberán seguir las normas generales para el correcto almacenamiento, de modo que la calidad e inocuidad de los productos esté asegurada hasta que lleguen al consumidor o sean utilizados por otra industria. Deberá disponerse de instalaciones separadas del lugar de elaboración y de las salas en las que se almacenan los insumos no comestibles, los detergentes y los desechos. Dicha instalación estará libre del ataque de roedores y de insectos, con control adecuado de temperaturas y humedad relativa y será de acceso fácil tanto para ingresar los productos luego de elaborados, como para proceder a su distribución.

CALIDAD E INOCUIDAD

Cuando se establece una nueva planta procesadora, es necesario contar con estándares de calidad para cada producto y asegurar además, que estos serán inocuos para los consumidores.

A fin de asegurar estos dos aspectos, la agroindustria deberá implementar algunos sistemas específicos, uno de ellos es el que se conoce como «Sistema de Aseguramiento de la Calidad». Este sistema debe cubrir todas las etapas de la cadena de abastecimiento además del procesamiento, comenzando desde la producción de las materias primas, los ingredientes y aditivos, hasta que el producto llega al consumidor.

Ambos aspectos, tanto la calidad como la inocuidad, son importantes. La inocuidad forma parte y condiciona la calidad. Por ello, es necesario asegurar la inocuidad de los productos, y un modo de hacerlo es implementando lo que se conoce como Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC) sistema diseñado para prevenir los posibles problemas que puedan surgir. El manual desarrollado por Fellows (1997) así como las directrices del *Codex Alimentarius* FAO/OMS (2004), pueden servir como guía para implementar un sistema APPCC.

Muchos pequeños productores consideran que la ejecución de este sistema es engorrosa, que eleva los costos, que no es fácil involucrar a todo el personal o que no puede ser capacitado y, por lo tanto, lo desechan antes de tratar de instalarlo. Sin embargo, el desarrollo del sector agroindustrial indudablemente va en ese sentido. Las

exigencias tanto de los consumidores como de los mercados lo requieren y aunque se reconoce que existen dificultades para su ejecución en las pequeñas empresas, aparece como contrapartida el desafío a diferentes niveles (estatal, ONG, privado) de idear estrategias que permitan que todo el sector agroindustrial, desde el menos al más desarrollado, se beneficie de estos sistemas que los llevarán a largo plazo a tener éxito logrando un nicho en el mercado y satisfaciendo y protegiendo la salud de los consumidores. En este desafío, las pequeñas y medianas empresas necesitarán muchas veces asesoría de expertos, ya sea de universidades, oficinas de estándares, asociaciones de empresas u otros.

Es importante resaltar que para llegar a tener alimentos o productos de calidad, hay varios factores sobre los que hay que poner atención en las distintas etapas de la producción industrial. En la Figura 14 se señalan los más importantes.

La producción industrial de alimentos en conjunto se rige por normativas más o menos estrictas, reguladas por los propios países, muchos de los cuales acogen las normas del *Codex Alimentarius* como propias, o por las exigencias del comercio internacional, las que tienden a ser cada vez más estrictas. Todo ello redundará en beneficio de los consumidores, independientemente de si los alimentos que se ofrecen son frescos o procesados. Tal como se señaló anteriormente, la salud de la población es un bien que todos desean y se debe cuidar en primer término, y la calidad de un alimento que incide directamente en la salud es otro bien al que tienen derecho los consumidores. Por otra parte, la calidad es una ventaja competitiva en los mercados actuales. Ante un producto procesado que adquiere el consumidor lo adquiere, este considera que recibe lo que el alimento ofrece y reconoce mediante su etiqueta y publicidad y no desea ser defraudado por la «publicidad engañosa». Por lo tanto, en todo proceso productivo existe además una normativa ética que debe llevar a trabajar cabalmente desde el principio al final de la cadena productiva.

Cuevas (2004a) analiza la complejidad que a veces existe para implementar estos sistemas en la agroindustria. Señala como uno de los problemas, la baja o nula percepción por parte del sector agroindustrial, desarrollado o no, de que el enfoque sistémico del manejo de la calidad y los sistemas de garantía de calidad y la inocuidad alimentaria establecidos, van mucho más allá del mero control. Para que sean efectivos deben ser evaluados no sólo por el supervisor técnico a cargo de una planta procesadora, sino en conjunto con la gerencia comercial y de recursos humanos y los otros actores clave en la cadena alimentaria. Esto conlleva a abordar este análisis como necesariamente multidisciplinario, para que sus resultados sean continuos y efectivos en el tiempo.

COMERCIALIZACIÓN

Una agroindustria procesadora de tuna y nopalitos debe establecerse sólo después de haber realizado un exhaustivo estudio de mercado, a fin de asegurar la factibilidad del negocio y tener éxito en la comercialización de los productos, lo que asegurará su continuidad y desarrollo como agroindustria. Mediante estos estudios se busca, entre otros, el segmento al que se quiere destinar el producto. Se sugiere al efecto consultar guías tales como la preparada por Shepherd (2003).



Por ejemplo, las láminas de pulpa de tuna, podrían dirigirse al mercado infantil, al de deportistas o al de comidas rápidas; las pulpas congeladas a sectores de ingresos medios y altos si se vendieran al por menor en supermercados u otros locales de venta; si se vendieran a granel, se podría buscar un nicho en el sector industrial, como materia prima para otros productos (la industria de helados o de bebidas refrescantes) o dirigirlos a restaurantes y hoteles o a lugares de comidas institucionales (p. ej., comedores de empresas, universidades, colegios).

Otros segmentos de mercado que se podrían investigar, en términos generales, con casi cualquier producto que se elabore a partir de tuna y nopalito, son aquellos en los cuales los consumidores escogen según sus hábitos alimentarios, como los vegetarianos; o las personas que siguen una dieta saludable, buscando aportes especiales de fibra, vitaminas o antioxidantes.

Sea cual sea el segmento al que se dirige, hay que saber si el producto tiene competidores, cuantos son, si están bien aceptados o son recientes, si han tenido éxito a que se debe y si tienen debilidades, cuales son y como se puede aprovechar esto de modo que el producto que se quiere lanzar no las tenga.

En algunas ocasiones convendrá incluir estudios de consumidores, sobre todo si el producto que se quiere introducir en el mercado es desconocido. El cambio o modificación de las costumbres alimentarias y de las dietas no es una tarea fácil y requiere una estrategia especial de mercadeo.

Este estudio cubrirá también, las conocidas «4 P» del mercadeo (producto, precio, plaza y promoción); esto incluye aspectos relativos al envasado y etiquetado, mediante los cuales se puede efectuar una buena publicidad del producto y una verdadera educación de los consumidores. Abordará también como será su distribución; en este sentido y si el producto lo permite (jugos, pulpas, mermeladas) se puede estudiar la alternativa de distribución a granel o al detalle. Se analizará también si se opta por una venta a través de locales propios, en supermercados, en locales situados en carreteras transitadas cercanas a la planta procesadora o directamente en la ciudad vía puerta a puerta u otra alternativa. Se estudia también cuales serán los medios que se escogerán para hacer la publicidad (prensa, radio, televisión, ofertas en supermercados, distribución gratuita a automovilistas en las ciudades o en locales de venta al detalle, contactos personales). Lo anterior, sumado a lo que espera el consumidor en cuanto a calidad y precio, forma parte de la estrategia de mercadeo que será necesario desarrollar.

Un aspecto importante, ya que es lo primero que el consumidor aprecia del producto, es su presentación: tipo de envase, tamaño, etiqueta. En esta última la presencia de un logo que identifique de alguna manera a la industria facilitará la búsqueda de los productos por parte de los consumidores y por tanto su compra. La calidad de la etiqueta, del papel, de la impresión, reflejarán para los consumidores un producto cuidado, bien hecho, de calidad. Una presentación descuidada, reflejará lo contrario y no tendrá atractivo para ser adquirido.

En muchos países la etiqueta está normada por regulaciones específicas que indican la información mínima que se debe incluir en ella. Una buena etiqueta es algo sencillo, armónico en sus colores, atractivo y veraz por sus leyendas; sin duda, un producto generado por especialistas en la materia.

Tal como se ha indicado hasta aquí, la producción agroindustrial se ha considerado hasta ahora, que va «del campo al consumidor» o «del campo a la mesa» (*from farm to table*); una visión algo distinta pero complementaria, es la que existe hoy, considerando que la producción va «del consumidor al campo» (*from table to farm*). Si bien podría parecer contradictoria con la primera, en esta última se quiere reforzar la importancia del consumidor en el mercado, sus necesidades, sus gustos y su influencia en los tipos de productos que diseña la agroindustria y de la coordinación de las cadenas de abastecimiento.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Para poder tomar una decisión adecuada respecto a las inversiones necesarias para la puesta en marcha de una planta procesadora son indispensables estudios de factibilidad técnico-económica. Es el único modo de reducir el riesgo de fracaso que toda iniciativa de este género comporta.

Estos estudios consideran entre otros, el monto de la inversión (infraestructura, equipamiento, insumos); la escala de producción y los costos de operación; los productos seleccionados que se originarán; la disponibilidad y precios de las materias primas, del equipo, de los insumos; la disponibilidad de servicios (electricidad, agua, combustibles); la existencia de profesionales capacitados y la posibilidad de pagar los salarios del mercado; los costos de producción; las tecnologías que se utilizarán; un análisis de la demanda de los productos seleccionados; el tamaño del mercado al que van dirigidos además de todos los aspectos de comercialización, mencionados anteriormente.

Cabrá considerar además que son productos provenientes de especies agrícolas (por ello, al menos los provenientes de la tuna, estacionales), el tiempo en desuso de la planta procesadora y las alternativas de producir alimentos de otras especies a fin de evitar la subutilización de la inversión realizada y diversificar la producción. Estos estudios junto con los de mercadeo, deben ser desarrollados por expertos o por quienes tienen la iniciativa de instalar la planta procesadora con ayuda de asesores especialistas en estos temas (Fellows, 1997; Shepherd, 2003; Cuevas 2004b).