

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE TUNA Y DEL NOPAL VERDURA

Joel Corrales-García



**Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

El CIESTAAM realiza y fomenta la investigación económica, sociológica y tecnológica referida a la agroindustria y la agricultura mexicana e internacional. Desarrolla funciones académicas en la formación de investigadores y docentes de alto nivel en los campos de la Economía, Sociología y Desarrollo de Tecnología Agropecuaria y Agroindustrial. Igualmente realiza acciones de extensión y servicio, que lo vinculan con instituciones públicas y privadas, así como con productores rurales organizados de distintos lugares del país, y le permite contribuir al progreso material y cultural de los mismos.

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE TUNA Y DEL NOPAL VERDURA

Joel Corrales García

Comité Editorial

Rita Schwentesius Rindermann

Manuel Ángel Gómez Cruz

Claudio A. Flores Valdez

Elba Pérez Villalba

Jorge G. Ocampo Ledesma

Miguel Ángel Leal Menchaca

Guadalupe Colinas León

Primera edición en español, Año 2000

ISBN: 968-884-714-3

© Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas
de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (Programa Nopal-CIESTAAM),
Universidad Autónoma Chapingo km. 38.5 Carretera México-Texcoco
C.P. 56230, Chapingo, Edo. de México.
Tel. y Fax (01-595) 5-02-79, FAX (01-595) 2-16-13
e-mail: ciestaam@taurus1.chapingo.mx

Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México.

Reporte de Investigación

54

FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DEL FRUTO DE TUNA Y DEL NOPAL VERDURA



Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y
Tecnológicas de la Agroindustria
y la Agricultura Mundial (CIESTAAM)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Diciembre de 2000

**FISIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA POSTCOSECHA
DEL FRUTO DE TUNA Y DEL NOPAL VERDURA**

Joel Corrales-García

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	7
II. FISIOLOGÍA DE LA TUNA	8
2.1. Fisiología del desarrollo	8
2.2. Indices de cosecha	12
2.3. Principales cambios físicos, químicos y fisiológicos en postcosecha	13
2.4. Principales factores del deterioro	15
III. TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DE LA TUNA	16
3.1. Cosecha	16
3.2. Desespinado	19
3.3. Encerado	21
3.4. Selección y empaque	23
3.5. Almacenamiento y transporte	26
3.6. Precortado, procesamiento mínimo o fruta cortada fresca	27
IV. FISIOLOGÍA DEL NOPAL VERDURA (NOPALITO)	29
4.1. Caracterización del producto	29
4.2. Comportamiento fisiológico y metabólico	30
4.3. Principales factores de deterioro	32
V. OPERACIONES POSTCOSECHA DEL NOPAL VERDURA	33
5.1. Cosecha	33
5.2. Acondicionamiento y empaque	34
5.3. Procesamiento mínimo, precortado o verdura cortada fresca	35
VI. BIBLIOGRAFÍA	36

I. INTRODUCCIÓN

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

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

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

Actualmente, la importancia del nopal ha sido tal que un buen número de investigadores de diversas instituciones de México y de otros países han incursionado en el campo de la investigación científica y tecnológica de esta especie en diferentes campos. La investigación formal en fisiología y tecnología postcosecha del nopalito y del fruto de tuna no tiene mucho que se inició (hace aproximadamente 20 años), sin embargo, ésta no ha sido muy abundante.

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

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

II. FISIOLOGÍA DE LA TUNA

2.1. Fisiología del desarrollo

La fisiología postcosecha de la tuna es un proceso que da continuidad a los procesos fisiológicos de precosecha, es decir, a la fisiología del desarrollo del fruto, por lo cual este trabajo inicia con la descripción de los procesos fisiológicos más importantes del origen y de la fisiología del desarrollo de este fruto.

De acuerdo con Bravo (1978), el fruto de tuna deriva de un ovario ínfero, unilocular, con placentación parietal, cuyo patrón de crecimiento ha sido estudiado por diversos autores y desde diferentes puntos de vista, algunos de estos estudios se mencionan a continuación.

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

citado por Nerd y Mizrahi, 1995) coinciden en que la tuna sigue un patrón de crecimiento sigmoidal.

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

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

Durante el desarrollo del fruto pueden existir ligeras interrupciones del crecimiento por efecto de los periodos de sequía presentes en este proceso (Cruz, 1983). Además al acentuarse este fenómeno se pueden manifestar rasgaduras en el pericarpio del fruto o la abscisión del mismo (Hernández, 1978). Se sabe que el tamaño final del fruto también depende, entre otros factores, del número de semillas fecundadas y abortadas (Archibald, 1935; Pimienta, 1990; Barbera *et al.*, 1994).

Ortiz (1988) hizo notar que son muchos los factores internos y externos que regulan el desarrollo del fruto, particularmente señaló que todas las categorías de las hormonas vegetales influyen sobre este proceso y que las aplicaciones de giberelinas y/o auxinas pueden

promover el amarre de frutos partenocárpicos, aparentemente reemplazando el efecto de la polinización y/o fecundación en el desarrollo del óvulo. El mismo autor indicó que las aspersiones de giberelinas en plena floración pueden reducir el número de semillas.

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

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

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

Por otra parte, Sudzuki (1995) indicó que el fruto de tuna es una baya simple y carnosa, que por estar formada a partir de un ovario ínfero, sumido en los tejidos del pedúnculo y del receptáculo, debería ser considerado como una baya falsa. Este autor también hizo no-

tar que la cáscara se origina en el receptáculo y tiene una morfología igual a la del cladodio.

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

Con respecto a los cambios químicos de la tuna durante su desarrollo, Lakshminarayana *et al.* (1979) establecieron, entre otras características, que el comportamiento de la acidez titulable fue errática, variando de 0.04 a 0.06%, pero el valor final al momento de la cosecha fue de 0.02 a 0.03%. Sin embargo, los autores observaron cambios consistentes con respecto al contenido de ácido ascórbico. Desde el amarre del fruto hasta alrededor de la semana 14, el contenido de ácido ascórbico en la cáscara permaneció más o menos estable. Sin embargo, después de este periodo y hasta el momento de la cosecha ocurrió un continuo y significativo incremento de éste, alcanzando un valor máximo de $87 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

El comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) y de los azúcares es de suma importancia en la fisiología del desarrollo por su efecto en la calidad postcosecha del fruto. Lakshminarayana *et al.* (1979) observaron que los SST siempre fueron significativamente mayores que los azúcares totales. También encontraron que desde el amarre del fruto y hasta la semana 10, los SST permanecieron bajos y estables, en alrededor de 5%, para luego incrementarse rápidamente hasta la madurez de cosecha. Durante el primer periodo, el contenido de azúcares totales fue menor al 0.1%, por lo que la mayor parte de los SST estaba constituida por sólidos solubles diferentes a los azúcares. La primera presencia de cantidades significativas de azúcares fue registrada a partir de la semana 11. Subsecuentemente, un incremento rápido en el contenido de azúcares de alrededor de 5.04, 3.24 y 2.17% para glucosa, fructosa y sacarosa, respectivamente, fue alcanzado al llegar a la madurez completa. El almidón no se encontró

en cantidades apreciables en ningún estado. La cáscara resultó altamente mucilaginoso durante los primeros estados de desarrollo, disminuyendo hacia los estados finales. Por lo tanto, es como si el mucílago se hubiera reabsorbido y así contribuido a la síntesis de azúcares.

2.2. Índices de cosecha

La decisión del momento más oportuno de cosecha de la tuna es de gran importancia, sobre todo si lo que se requiere tener son frutos de alta calidad.

El estado de madurez al momento de la cosecha es uno de los principales factores que determinan su calidad, por lo que los frutos deberán cosecharse preferentemente cuando hayan terminado de crecer y de acumular suficientes azúcares (Corrales-García, 1997). Por supuesto que para determinar el momento más oportuno de cosecha se deberán considerar otros aspectos, tales como la lejanía y las exigencias del mercado. Como quiera que sea, para determinar el punto óptimo de corte siempre es recomendable la ayuda de parámetros o índices de cosecha. Al respecto, Cantwell (1995) recomendó el uso de algunos índices externos de madurez para la cosecha de tuna, tales como: 1) tamaño y llenado del fruto; 2) cambios de color de la cáscara; 3) abscisión de gloquídeas o aguates; 4) firmeza del fruto; 5) grado de aplanamiento o profundidad de la cavidad ("ombligo") o receptáculo floral. El mismo autor también advirtió que estos cambios externos deberían correlacionarse con atributos internos de calidad, cuya importancia relativa varía entre los diferentes cultivares.

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

Lakshminarayana *et al.* (1979) también propusieron como índices de cosecha algunos parámetros físicos y bioquímicos, tales como la proporción pulpa/cáscara, profundidad del receptáculo, gravedad específica y cantidad de SST. Estos mismos autores también hicieron notar que el peso del fruto y los SST podrían variar de una región a otra, dependiendo del vigor y edad de la planta, y de las condiciones

agroclimáticas. Por lo anterior, los autores recomendaron que los índices de cosecha se deberían de determinar para cada tipo de fruto o cultivar en cada área de cultivo. También mencionaron que en los centros de acondicionamiento y empaque, la segregación o selección de frutos por gravedad específica puede ser de gran utilidad para separar aquellos frutos en estado de madurez muy avanzado.

2.3. Principales cambios químicos, físicos y fisiológicos en postcosecha

Las tunas se han caracterizado como frutos no climatéricos (Lakshminarayana y Estrella, 1978; Alvarado, 1978; Lakshminarayana *et al.*, 1979; y Cantwell, 1991) debido, entre otras cosas, a que durante su desarrollo no acumulan almidón como carbohidrato de reserva, además, de acuerdo con Tucker (1993), éstos no presentan un incremento importante de azúcares en postcosecha. En frutos maduros de tres selecciones de Tuna Blanca, los SST de la pulpa se incrementaron en menos del 1% durante su almacenamiento por un mes a 20°C (Cantwell *et al.*, 1985). Los mismos autores comentaron que este pequeño incremento en los SST se debió probablemente a la hidrólisis de algún tipo de derivado de carbohidrato diferente al almidón. Por su parte, Chávez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) también reportaron un decremento ligero en los SST, así como un considerable incremento en el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en tunas almacenadas 15 días a 20°C y 60-70% HR. Los mismos autores hicieron notar que los cambios postcosecha de acidez y de pH en la tuna no son realmente importantes.

En términos generales, Cantwell (1995) concluyó que en los frutos de tuna el contenido final de azúcar se determina esencialmente en función del momento de la cosecha, en virtud de que los cambios de azúcares en postcosecha son muy pequeños.

La firmeza de los frutos de tuna (medida en la cáscara, después de remover la cutícula) fue disminuyendo lentamente durante un mes de almacenamiento a 20°C (Cantwell, 1986). En general, los cambios postcosecha en la firmeza de la tuna son menores a los que presentan otros frutos (Tucker, 1993).

En general, las pérdidas de peso en postcosecha se deben principalmente a pérdidas de agua por transpiración. En el caso del fruto de tuna, si las pérdidas de peso llegaran a ser mayores al 8% su aspecto se vería deteriorado por marchitez o arrugamiento, al grado de que los frutos dejarían de ser "vendibles".

Las pérdidas fisiológicas de peso que presenta la tuna en postcosecha dependen de varios factores, dentro de los cuales los más importantes son las condiciones de temperatura, humedad relativa y ventilación durante el almacenamiento, así como el estado de desarrollo del fruto al momento de la cosecha y la variedad.

Lakshminarayana *et al.* (1979) concluyeron que, en general, los frutos de menor madurez perdieron más peso que los cosechados completamente maduros. Franco Moreno y Rodríguez-Campos (1997) encontraron que después de 10 días al medio ambiente (20°C y de 60 a 70% HR) en 20 variedades estudiadas, la mayoría perdió poco menos del 15%, excepto las variedades "Alfajayucan", "Copena T-12" T-5, cuyas pérdidas fueron de 5.7, 5.6 y 5.6 %, respectivamente; la variedad que registró menor pérdida de peso (1.7%) fue "Rojo Pelón".

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

La tasa de respiración que presenta la tuna en postcosecha es relativamente baja en comparación con la que presentan otros frutos, y además tiende a declinar, por lo que este fruto ha sido caracterizado como no climatérico (Alvarado, 1978; Lakshminarayana y Estrella, 1978; Cantwell, 1995). En la tuna, la respiración depende, entre otros factores, de la variedad; al respecto, Franco-Moreno y Rodríguez-Campos (1997) encontraron diferencias significativas entre la respiración promedio de 20 variedades, de las cuales, las que mayor respiración promedio presentaron fueron "Cardón Blanco", Amarillo

con Espinas", "Alfajayucan", "Rojo Vigor" y "Sangre de Toro", con tasas dentro del rango de 29 a 33 ml CO₂ • kg⁻¹ • h⁻¹.

La producción de etileno en las tunas es muy baja (varía desde 0.10 a 0.26 nl • g⁻¹ • h⁻¹) y resultó similar para frutos cosechados en tres diferentes estados de madurez (ripeness) aunque después esta producción se fue incrementando ligeramente durante el almacenamiento hasta 0.31 nl • g⁻¹ • h⁻¹ después de 16 días a 20°C y 95% HR (Cantwell, 1991). De acuerdo con el mismo autor, tanto los daños físicos como el ataque de agentes patógenos (microorganismos) pueden hacer que se incrementen ambas tasas (tanto de respiración como de producción de etileno).

2.4. Principales factores de deterioro

Las causas del deterioro de la tuna pueden ser de origen biótico y abiótico, las primeras tienen que ver con el metabolismo del propio fruto, así como con el ataque de microorganismos, y las segundas con el medio ambiente y el manejo.

Aunque su actividad metabólica (en términos de respiración) es reducida, las tunas presentan un alto grado de perecibilidad, debido principalmente al daño físico ocasionado a la cáscara y a la zona peduncular durante la cosecha (Curtis, 1977; Cantwell, 1986; Rodríguez-Félix, 1991; Corrales-García, 1992).

Granata (1995) hizo notar que los tejidos de la tuna contienen mucha agua, y cuando hay lesiones físicas en su epidermis o en el pedúnculo ocurren infecciones bacterianas o fungosas que con frecuencia se transforman rápidamente en pudriciones generalizadas, haciendo difícil aislar al patógeno, especialmente por colonización saprofítica.

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

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

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

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

III. TECNOLOGÍA POSTCOSECHA DE LA TUNA

3.1. Cosecha

La cosecha de la tuna se lleva a cabo manualmente, existiendo dos modalidades: a) corte con giro o torción del fruto y b) corte auxiliado con un cuchillo (ver Figura 1). La tuna se daña menos cuando se corta con un cuchillo, sin embargo, en la importante región productora de San Martín de las Pirámides del Centro Sur de México, el uso del cuchillo para la cosecha de tuna aún no es una práctica generalizada,

debido probablemente al mayor costo de esta modalidad de cosecha, además de que el principal mercado (que es la Ciudad de México) se localiza muy cercano a los centros de producción, por lo que la comercialización de la tuna es muy ágil y no se da oportunidad a que se desarrollen pudriciones en las tunas lesionadas (Corrales-García, 1992).

Debido al gran problema que representan los aguates, o gloquí-deas, para los cosechadores de tuna resulta muy conveniente el uso de guantes de tela gruesa, de hule o bien de cuero (ver Figura 1), los cuales, aparte de proteger las manos, protegen al fruto del "marcado" de los dedos, problema que más adelante se comenta.

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

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

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

México, cuyo clima es más seco, la hora del corte tiene menos importancia.

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

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

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

El etileno puede facilitar la cosecha del fruto y la remoción de aguates (Cantwell, 1995). Por su parte, Fucikovsky (1992) reportó que las enzimas pectolíticas producidas por ciertas bacterias pueden ablandar estos aguates.

Aunque en México casi no se realiza así, en California y en Italia el corte de la tuna pegada a una porción del cladodio (corte con botón) es una práctica común y efectiva para reducir los daños físicos de la cosecha (ver Figura 2). En este caso, la tuna se deja por uno o dos días al medio ambiente, o bien se expone a una corriente ligera de aire con el propósito de que el tejido del cladodio se seque y finalmente

se desprenda con facilidad durante las acciones de selección y empaque del fruto.

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

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

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

3.2. Desespinado

El desespinado consiste en remover los aguates del fruto, lo que resulta absolutamente necesario para poderlo comercializar, esta operación se puede realizar en forma manual o mecánica. En las regiones

productoras del Centro-Sur de México, esta operación generalmente se realiza en forma manual, barriendo al fruto con ramas o escobas hasta eliminar los aguates totalmente; para ello, las tunas se extienden sobre el pasto y se dejan secar al sol hasta que se evapora el rocío para facilitar la remoción, de lo contrario, los aguates se quedan adheridos al agua del rocío y al fruto. Con el calentamiento solar, los frutos llegan a incrementar su temperatura considerablemente, lo cual acelera su deterioro y con ello el detrimento de su calidad; normalmente se recomienda lo contrario, es decir remover del fruto el calor de campo lo más pronto posible para abatir los procesos metabólicos y de los patógenos y así prolongar la vida de anaquel del fruto (Corrales-García, 1992). Se ha observado (Guzmán, 1982) que el barrido causa considerables daños al fruto, lo cual aumenta en gran medida su grado de perecibilidad. En consideración de todo lo anterior, para eliminar el exceso de humedad y a la vez el calor de campo, sería más recomendable implementar o adaptar un secado o preenfriamiento con aire frío forzado, el cual podría aprovecharse también para eliminar parcial o totalmente los aguates (Corrales-García, 1992).

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

Son máquinas que desempeñan su función haciendo pasar los frutos de tuna a través de rodillos giratorios con cerdas de nylon que son movidos por motores eléctricos (ver Figura 3). Sus dimensiones varían de 7.4 a 22.0 m de largo, de 0.66 a 5.0 m de ancho y de 1.08 a 2.80 m de altura. El 60% de las máquinas se consideran de tamaño grande; en promedio, tienen una capacidad de desespinado de 3.14 t/h.

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

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

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

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

El ajuste de la separación entre los rodillos superiores y los inferiores es de suma importancia, en virtud de que depende fundamentalmente de esto el porcentaje de aguata residual y en cierta medida el manchado de la tuna.

3.3. Encerado

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

Los recubrimientos con base en emulsiones de ceras se han venido usando desde hace varios años con el propósito de controlar pérdidas de agua por transpiración, disminuir la intensidad de los cambios propios de la maduración y/o senescencia, como la respiración, y proporcionar un mejor aspecto visual a los frutos (mayor brillo), esto es, con el encerado se pretende lograr una mejor y más prolongada conservación de los frutos (Hall, 1981).

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

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

Estrella-Bolio (1977) estudió el efecto de la aplicación de diferentes tipos de cera (TAG, Flavor Seal, Candelilla y DECCO-31) encontrando que la que más redujo las pérdidas de peso y las pudriciones fue la de Candelilla. Sin embargo, en frutos de *O. Amyclaea* T., después de 15 días a 5° C, Rodríguez-Félix *et al.* (1992) encontraron que la cera de Candelilla (fórmula CONAZA C-9) redujo las pérdidas de peso pero no redujo ni los daños por frío ni las pudriciones.

Las ceras, principalmente las ceras al agua, son utilizadas como vehículos para la aplicación de fungicidas en postcosecha. Con esta práctica se puede lograr una reducción significativa de los daños patológicos, sin embargo, el control no es tan bueno como el obtenido con la aplicación por separado del fungicida primero y luego el encerado (Brown, 1980).

Una de las posibles causas de la disminución del efecto de los fungicidas aplicados en combinación con ceras, es que el fungicida es

encapsulado por la cera y así ya no es lo suficientemente rápido en el control del patógeno, especialmente cuando la colonia ya se ha establecido (Hall, 1981).

Dado que la tuna es un fruto no climatérico, que respira poco y cuya deshidratación en postcosecha no es un problema tan grave, más que la reducción del intercambio gaseoso (O_2 , CO_2 , etileno y vapor de agua) lo que se debe buscar con la aplicación de ceras es reducir los daños por frío y el abrillantamiento del fruto, pero con un control efectivo de patógenos (con el uso preventivo de fungicidas adecuados y permitidos). A pesar de sus ventajas, la aplicación comercial de ceras generalmente no se realiza en México.

3.4. Selección y empaque

La tuna se selecciona por calidad y tamaño. La selección por calidad deben realizarla personas que estén debidamente capacitadas para reconocer y separar frutos con daños mecánicos, podridos o malformados para lo cual es necesario que realicen su trabajo bajo las mejores condiciones de operación (ver Figura 4). La selección por tamaño se puede realizar manual o mecánicamente. Esta selección es necesaria, porque además de garantizar la uniformidad del producto permite estandarizar los patrones de empaque (Corrales-García, 1997).

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

Para el acomodo de la fruta en la caja es recomendable seguir patrones geométricos vistosos que mejoren su presentación. El acomodo en diagonal es muy conveniente, sin embargo, implica un tamaño homogéneo de las frutas, lo que se resuelve con un dimensionamiento bien controlado. Se debe buscar el acomodo más conveniente, de acuerdo al tamaño de la fruta y las dimensiones de la caja. Con la disposición en todos los sentidos, la colocación de la fruta es menos firme y causa deterioro, pero tiene la ventaja de que las dimensiones del envase con respecto al tamaño de la fruta pierde importancia. Es-

te sistema es más satisfactorio cuando los frutos se envuelven con papel en forma individual. La envoltura individual en papel muy delgado pero resistente (tissue paper) da mayor protección y presentación al producto, la fruta se conserva en mejores condiciones y disminuye el contagio de pudriciones entre los frutos (ver Figura 5). Los papeles de envoltura pueden estar impregnados con fungicidas o sustancias antioxidantes permitidas. Al llenar las cajas se debe verificar el número, peso, calidad y tamaño de los frutos, a fin de que se ajusten a lo declarado en la etiqueta del envase (Corrales-García, 1992).

La tuna se envasa en reja de madera para el mercado nacional o en caja de cartón para el mercado de exportación. Generalmente las rejas de madera se sobrellenan con la idea de aprovechar el envase al máximo y así manejar mayor cantidad de producto, sin embargo, al hacer ésto se provocan serios daños por compresión y considerables mermas de producto. De acuerdo con Cantwell (1995), el daño mecánico por manejo rudo es un defecto postcosecha muy común en la tuna, las lesiones ocurren principalmente cuando los frutos se transfieren desde los recipientes de campo a las rejas de madera, por sobrellenado de las rejas, y por un mal llenado y/o estibado de éstas. Otro problema de estos envases es que al reutilizarse (una aparente ventaja) son fuente de microorganismos que provocan infección y descomposición del producto. Esto se puede resolver en parte con un tratamiento fungicida a las rejas antes de su reutilización.

Las rejas de madera con tunas ya empacadas se cubren con papel y son transportadas y comercializadas bajo condiciones ambientales naturales (ver Figura 6). Para el mercado mexicano, las tunas "Blancas" son las más populares y son comercializadas en cuatro estados de calidad, determinados con base en el tamaño y en la tolerancia de defectos (Rodríguez-Félix, 1991).

El envase de cartón tiene importantes ventajas sobre el de madera, ya que sus paredes internas son más lisas y blandas (la fruta se daña menos), su peso y tamaño por volumen de producto envasado es menor, con lo que facilita el manejo, se aprovecha mejor el espacio ocupado por las cajas, y se ahorra en fletes y gastos de almacenamiento, además, sobre el envase de cartón se puede imprimir la marca comercial del producto, leyendas de sus características, origen y diseño o dibujos llamativos, que aumentan su atractivo comercial

(ver Figura 7). Los inconvenientes de la caja de cartón son su alto costo y menor resistencia mecánica y a la humedad, además de que su reutilización es limitada y poco conveniente (Corrales-García, 1992).

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

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

En algunas plantas empacadoras hay problemas en la distribución del personal por áreas de trabajo. En todas las plantas se registró exceso de trabajo para sus empleados, que implica jornadas muy prolongadas, con pocos o nulos recesos, especialmente en plena temporada. Este exceso de trabajo repercute negativamente en el rendimiento y eficiencia del trabajo de los seleccionadores, empacadores y demás trabajadores, más aún si se trata de personal carente de experiencia, de adiestramiento y de supervisión y si las condiciones de trabajo (diseño y dimensión de mesas de selección, disponibilidad de luz, espaciamiento, etc.) no son las apropiadas. Lo anterior finalmente repercute en la falta de calidad y uniformidad del producto, aspectos de suma importancia cuando éste se destina al mercado de exportación. Además, en muchas plantas los seleccionadores no tienen un dominio visual completo de la superficie de los frutos que van a seleccionar, los flujos de producto en las bandas de selección en

muchos casos no son adecuados, por lo que se genera el problema de subselección. La selección por tamaño es manual no se realiza en todas las plantas.

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

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

3.5. Almacenamiento y transporte

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

La frigoconservación de tuna también puede causar daños por frío, dependiendo de algunos factores, como la temperatura, el tiempo de exposición y la variedad. Chávez-Franco y Saucedo-Veloz (1985) reportaron daños por frío en frutos de *O. amyclaea* y *O. ficus-indica* almacenados a 8 ó 10°C por 15 días.

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

más susceptibles a los daños por frío fueron "Torreoja" y "Copena", mientras que las más tolerantes fueron "Burrona" y "Cristalina".

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

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

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

3.6. Precortado, procesamiento mínimo o fruta cortada fresca

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

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

escaldado, o sea el de cocción leve para la inactivación de enzimas (Avena, 1996).

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

Los cambios degradativos que normalmente ocurren durante la senescencia son acentuados o acelerados por los daños físicos causados a los tejidos vegetales durante las operaciones de preparación, tales como pelado y rebanado, entre otras. Las posibles manifestaciones que pueden ocurrir al romper células (pérdida de la integridad celular) incluyen un aumento en la tasa de respiración y en la producción de etileno, oscurecimiento enzimático, pérdida de textura, desarrollo de sabores desagradables, pérdida de calidad nutricional (pérdida de vitaminas), aumento en la susceptibilidad a la invasión de microorganismos y aceleramiento de la senescencia (Myers, 1989). El mismo autor hizo notar que las técnicas de empaque y selección de materiales de empaque juegan un papel muy importante en la calidad del producto terminado, al disminuir el crecimiento microbiano y, en consecuencia, aumentar la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados.

Los aspectos importantes a considerar en la selección de los materiales y sistemas de empaque incluyen: resistencia mecánica de la película, capacidad en volumen, características de manejo, resistencia al producto, permeabilidad a gases (CO_2 , O_2 , etileno, entre otros) y al vapor de agua, facilidad para la impresión de leyendas y economía (Huxsoll y Bolin, 1989).

En México, una parte reducida de la comercialización de las tunas se efectúa en forma semiprocada (fruta cortada fresca), producto que se vende a la orilla de las carreteras aledañas a las zonas de producción, sin embargo, esto se hace de manera improvisada, empírica

y heterogénea, en virtud de que aún no se cuenta con la información técnica necesaria. Al respecto, Ayala-Valencia y Franco-Espinosa (1998), bajo condiciones experimentales, lograron una vida útil máxima de 20 días a 4°C en frutos mínimamente procesados (solamente pelados) de *O. amyclaea* Tenore, empacados en bolsas selladas de polipropileno biorientado de 25 micrómetros de espesor. Los autores recomendaron manejar el producto con la máxima higiene, tener un buen control de la temperatura y eliminar su calor de campo antes de someterlo al procesamiento mínimo.

IV. FISIOLÓGÍA DEL NOPAL VERDURA (NOPALITOS)

4.1. Caracterización del producto

El nopal verdura (nopalitos) son los brotes tiernos del nopal, no son hojas sino tallos aplanados, también llamados cladodios (en inglés: cladodes o cactus leaves) en cuyas primeras etapas de crecimiento están presentes vestigios de hojas verdaderas subtendidas por espinas, pero las hojas usualmente empiezan a caer cuando los nopalitos van alcanzando su tamaño comercial (Cantwell, 1995).

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

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

En general, la naturaleza química y la estructura de las capas de cutina están diseñadas para minimizar la transpiración, además, su

color blanco refleja gran parte de la radiación solar, lo que ayuda a mantener baja la temperatura del cladodio. Por otro lado, las características químicas de esta estructura y su arreglo no permiten que sea fácilmente digerida por microorganismos (Gibson y Nobel, 1986, citados por Sudzuki, 1995).

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

Los nopalitos de buena calidad son delgados, de apariencia fresca, turgentes y tienen un color verde brillante. Después de ser cuidadosamente desespinados se pueden consumir como hortalizas, tanto en estado fresco como cocidos. Su sabor se parece un poco al de los ejotes (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

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

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

4.2. Comportamiento fisiológico y metabólico

Los nopalitos son órganos que siguen el metabolismo ácido crasuláceo, es decir, que para llevar a cabo la fotosíntesis absorben el CO_2 durante la noche, aprovechando que sus estomas se encuentran abiertos. Durante el periodo oscuro, el almidón se degrada por glicólisis hasta fosfoenol piruvato (PEP). El CO_2 absorbido reacciona con el

PEP para formar oxalacetato, el cual luego se reduce a ácido málico. Entonces, durante la noche este ácido se va acumulando en las vacuolas de sus células epidérmicas, donde su concentración puede llegar a 0.3 M o más, hasta que sale el sol. Esta acumulación hace muy negativo el potencial osmótico de las células, de manera que los nopales pueden absorber agua y almacenarla aun cuando se encuentren en suelo salino o con escasa humedad. Durante el día, con la luz, el ácido málico se difunde pasivamente hacia afuera de las vacuolas y se descarboxila. El CO₂ que se libera se concentra mucho en las células y se vuelve a fijar (sin fotorespiración) al reaccionar con la ribulosa 5-fosfato, para formar dos moléculas de ácido fosfoglicérico, iniciando con esto las reacciones del ciclo de Calvin, que conduce a la formación de glucosa, sacarosa, almidón y otros productos fotosintéticos (Salisbury y Ross, 1994), siendo esto posible por la disponibilidad de energía luminosa y a pesar de que los estomas se mantengan cerrados para evitar la pérdida de agua por transpiración.

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

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

Los nopalitos tienen tasas de respiración moderadas, semejantes a las de zanahorias, lechugas y apios. La actividad respiratoria de los nopalitos en postcosecha sigue un comportamiento a la baja, en general la intensidad respiratoria depende principalmente de la temperatura y de su estado fisiológico. Los nopalitos conservados a 20°C, al principio respiran alrededor de 55 µl CO₂ • g.⁻¹ (Cantwell *et al.*, 1992).

Las tasas de respiración de los nopalitos tiernos (de 10 cm de longitud) son 25 a 50% más altas que las tasas de producción de bióxido de carbono de los más desarrollados (de 20 cm de longitud) cuyo metabolismo ácido crasuláceo ya se encuentra activo. Por otro lado, las tasas de producción de etileno de los nopalitos son muy bajas y muy

similares a las de otras hortalizas verdes, también llamadas verduras (Cantwell *et al.*, 1992).

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

4.3. Principales factores de deterioro

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

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

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

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

Otro factor importante de deterioro de origen abiótico son las temperaturas extremas de refrigeración, en virtud de que los nopali-

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

De acuerdo con Cantwell *et al.* (1992) antes de que aparezcan los síntomas visuales de los daños por frío, el daño debido a bajas temperaturas se manifiesta en un incremento de las tasas de respiración y de producción de etileno.

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

V. OPERACIONES POSTCOSECHA DE NOPAL VERDURA

5.1. Cosecha

La cosecha de nopalitos se realiza en forma manual, con o sin ayuda de un cuchillo; de cualquier forma, se recomienda usar guantes de tela gruesa, de hule o de cuero. Cuando no se utiliza cuchillo, el cosechador sostiene y junta en una de sus manos los nopalitos que va desprendiendo con la otra, luego los coloca en recipientes de cosecha (cajas de plástico). Para cortarlo, el cosechador toma al nopalito de su parte inferior y le da un giro de más de 90° hasta desprenderlo de la penca madre. Si esta operación no se realiza con cuidado, los tejidos se pueden desgarrar y quedar porciones del cladodio en la penca madre, lo cual representa un peligro de infección por algunos patógenos. Cuando el cosechador corta el nopalito con un cuchillo en la base, logra una separación más uniforme y limpia (ver Figura 8). De cualquier modo, es aconsejable que el producto ya cortado se proteja inmediatamente del sol para no acelerar su metabolismo y evitar su deshidratación, aumentando así su potencial de comercialización y vida de anaquel (Corrales-García, 1992).

En México, la temporada de cosecha comprende desde marzo hasta septiembre u octubre en las plantaciones a cielo abierto y durante el invierno en las plantaciones bajo microtúnel. La cosecha se puede realizar al medio día, pero principalmente se hace en la mañana, muy temprano, para dar oportunidad a que el mismo día se pueda vender el producto en los mercados locales o incluso en el principal mercado, que es la Ciudad de México. En cuanto a la hora del corte, se debe considerar el metabolismo ácido crasuláceo que presenta el nopal (su acidez es alta al amanecer y ésta disminuye hacia el medio día, haciendo variar su sabor).

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

5.2. Acondicionamiento y empaque

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

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

La paca se utiliza para la venta del producto en la CEDA de la Ciudad de México o de alguna otra ciudad del centro del país. Este empaque consiste en una estructura cilíndrica vertical, de 1.6 a 1.7 m de alto y 70 a 80 cm de diámetro, formada por 2500 a 3000 piezas o raquetas (Corrales-García, 1992).

Para la conformación de estas pacas, primeramente se coloca un lienzo de manta limpia en el suelo, encima del cual se coloca un molde cilíndrico de metal sin fondo, de unos 20 a 30 cm de altura y de 70 a 80 cm de diámetro. En seguida se van acomodando horizontalmente los nopalitos sobre la manta en el interior del molde, siguiendo su forma circular hasta cubrirla totalmente, luego se forma otra capa de nopalitos encima de la primera, y así sucesivamente se van formando capas superpuestas (ver Figura 9). A medida que el molde se va llenando, éste se va subiendo gradualmente hasta llegar a la altura deseada. Al final se retira el molde y se coloca otra manta en la parte superior. La función de las mantas es proteger, contener, amarrar y dar solidez y resistencia a la paca. En cada uno de los cuatro vértices de dichas mantas se amarran cuerdas o lazos, las cuerdas de la manta superior se atan y tensan con las de la manta inferior (Corrales-García, 1997).

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

5.3. Procesamiento mínimo, precortado o verdura cortada fresca

Otra práctica de acondicionamiento obligada es el desespinado o "limpieza" de los nopalitos, lo cual generalmente se realiza en los mercados de destino, poco antes de su venta al detalle. Esta práctica, que en sí se considera una forma de procesamiento mínimo, generalmente es realizado manualmente por personas con una habilidad muy desarrollada (ver Figura 10). También existen prototipos para el

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

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

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, S. L. 1978. Fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto del nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore). Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 73 pp.
- Archibald, E.E.A. 1935. The development of the ovule and seed of jointed Cactus (*Opuntia aurantiaca* Lindley). South African Journal of Science. Vol. XXXVI: 195-211 pp.
- Avena, B.R.S. 1996. Proceso de hortalizas pre-cortadas. Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo A.C. Boletín CIAD. Vol. 5, Núm. 4, julio-agosto.
- Ayala- Valencia, G. y Franco-Espinosa, A.M. 1998. Efecto de películas plásticas en tuna (*Opuntia amyclaea* T.) mínimamente procesada. Tesis Profesional. Depto. de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 88 pp.
- Barbera, G.; F. Carimi; P. Inglese y M. Panno. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. J. Hort. Sci. 67:307-312 pp.
- Barbera, G.; P. Inglese y T. La Mantia. 1994. Influence of seed content on some characteristics of the fruit of cactus pea (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Scientia Hort. 58: 161-165 pp.

-
- Berger, S.; Z. Ortuzar-R.; Auda-M.; L.A. Lizana-M. y A. Reszczynski-P 1978. Conservación de tunas (*Opuntia ficus-indica*) en almace-
naje refrigerado. Invest. Agrícola. 4 (1): 21-24 pp.
- Bravo, H. 1978. Las Cactéaces de México. 2ª ed. Vol. 1 Univ. Nal. Aut.
de México. México, D.F.
- Brown, G.E. 1980. Decay control with fungicides incorporated into
water emulsion waxes. University of Florida, Packinghouse
newsletter 11, 4 pp.
- Cámara-Cabral, L.; A. Higareda-Ruiz, M. Coronado-Herrera, M. Ro-
sales Domínguez, M.G. Mariano y M. Darbuze-Trejo 1990. Conser-
vación postcosecha del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como verdu-
ra. Memorias III Reunión Nacional y I Reunión Internacional, "El
Nopal: su conocimiento y aprovechamiento", Univ. Autónoma
Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah. México, pp. 309-318.
- Cantwell, M. 1986. Postharvest aspects of prickly pear fruits and ve-
getable cladodes. Perishables Handling. Univ. of Calif., Davis
59:6-9 pp.
- Cantwell, M. 1991. Quality and postharvest physiology of "nopalitos"
and "tunas". Proc. Second Annual Texas Prickly Pear Conference,
Texas Prickly Pear Council, Mc Allen, Texas. 50-66 pp.
- Cantwell-de-Trejo, M. 1992. Aspectos de calidad y manejo postcose-
cha de nopalitos. En: S. Salazar y D. López (eds.), Memoria de
Resúmenes del 5º Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional
"Conocimientos y Aprovechamiento del Nopal. Univ. Aut. Cha-
pingo, Chapingo, México, 110 pp.
- Cantwell, M. 1995. Postharvest management of fruits and vegetables
stems. In: G. Barbera; P. Imglese y E. Pimienta-Barrios (eds)
Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant
Production and Protection Paper 132:120-143 pp.
- Cantwell, M.; S. Montiel-Rodríguez; A. Vega-Flores y S. Ayala-
Lizárraga. 1985. Cambios físicoquímicos durante la maduración y
almacenamiento de tunas de selecciones de *Opuntia amyclaea*. I
Congreso Nacional de Horticultura, Hermosillo, Sonora.

- Chávez-Franco, S. y C. Saucedo-Veloz. 1985. Conservación en refrigeración de dos variedades de tunas. *Horticultura Mexicana* 1(1):6-13 pp.
- Corrales-García, J. 1992. Descripción y análisis de la cosecha y del manejo en fresco de nopalito y tuna. En: S. Salazar y D. López (eds.), *Memoria de Resúmenes del 5º Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional "Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal"*. Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 109 pp.
- Corrales-García, J. 1995a. Manejo post-cosecha del producto para el mercado nacional e internacional. En: C. A. Flores-Valdez; J.M. de Luna-Esquivel y P.P. Ramírez Moreno (eds.), *Mercado mundial de la tuna. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA)*: 63-70 pp.
- Corrales-García, J. 1997. Postcosecha de la tuna y del nopal verdura. En: Vázquez-Alvarado., R.E.; C. Gallegos-Vázquez; N. Treviño-Hernández y Y. Díaz-Torres (Comp.). "Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal", *Memorias del 7º Congreso Nacional y 5º Internacional*. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L., México, 88-98 pp.
- Corrales-García, J.; J. Andrade-Rodríguez y E. Bernanbé-Cruz. 1997. Responses of six cultivars of tuna fruits to cold-storage. *Jour. Of the Professional Assoc. For Cactus Development*. Vol 2.
- Curtis, J.R. 1977. Prickly pear farming in the Santa Clara Valley, California. *Econ. Bot.* 31: 175-179 pp.
- Cruz, H.P. 1983. Evaluación de selecciones de nopal tunero (*Opuntia* spp) en la zona semidesértica del Edo. de Puebla. *Memoria. VII Congreso Nacional de Fitogenética*. Uruapan, Mich. 456-471 pp.
- Estrella-Bolio, J.I. 1977. Efectos de recubrimientos de cera en Tuna Blanca. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F. 42 pp.
- Feitosa-Teles, F-F.; J.W. Stull; W.H. Brown y F.M. Whiting. 1984. Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *J. Sci. Fd. Agric.* 35:421-425 pp

-
- Franco-Moreno, F. Y Rodríguez-Campos, J. 1997. Comportamiento fisiológico de diferentes variedades de tuna. Tesis Profesional. Depto. Ing. Agroindustrial, Univer. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 89 pp.
- Fucikovsky, L. 1992. Reblandecimiento de espinas y aguates de nopal con suspensión bacteriana. En: Salazar y D. López (eds.), Memoria de Resúmenes del 5º Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional "Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal". Univ. Aut. Chapingo, Chapingo, México. 91 pp.
- Granata, G. 1995. Biotic and abiotica diseases. En: G. Barbera; P Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds.), Agro-ecology, cultivaton and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper 132: 109-119 pp.
- Guzmán, R.G. 1982. Causas y control de los daños que exhibe la Tuna Blanca (*Opuntia* sp) en el almacenamiento. Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Fruticultura. CONAFRUT. México, D.F. 143 pp.
- Hall, D.J. 1981. Innovations in citrus waxing - An overview. Proceedings of the Florida State Horticultural Soc. 94: 258-259 pp.
- Hernández, R.L. 1978. Distribución del sistema radical de nopal (*Opuntia amyclaea* Tenore). Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Huxoll, C. Y H.R. Bolin. 1989. Processing and distribution alternatives for minimlly processed fruits and vegetables. Food Tech. 44 (2): 124-128 pp.
- Kerbel, L.E. 1992. Pre-cut and minimal procesing for fruits and vegetables. Memorias I Reunión Latinoamericana de Tecnología Postcosecha. Univ. Aut. Metropolitana. Iztapalapa, México D.F. 185-196 pp.
- Lakshminaraya, S. y I.B. Estrella. 1978. Postharvest respiratory behavior of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill.). J. Hort. Sci 53:327-330 pp.

-
- Lakshminarayana, S.; L. Alvarado-y-Sosa y F. Barrientos-Pérez. 1979. The development and postharvest physiology of the fruit of cactus pear (*Opuntia amyclaea* T.). In: G.E. Inglet y G. Charalambus (eds), Tropical Foods: Chemistry and Nutrition. Vol. 1. Academic Press, New York. 69-93 pp.
- Martínez-Jávega, J.M.; J. Cuquerella; M. Jiménez-Cuesta y L Cervera. 1983. Encerado de frutos cítricos. Levante Agrícola 246: 106-113 pp.
- Myers, R.A. 1989. Packaging considerations for minimally processed fruits and vegetables. Food Technol. 43 (2): 129-131.
- Nerd, A. y Y. Mizrahi. 1995. Reproductive biology. In: G. Barbera; P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO, Plant Production and Protection Paper 132: 49-57 pp.
- Ortiz-Hernández, Y D. 1998. Efecto del ácido giberélico y auxinas en el fruto de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T.). Tesis de Maestría. Centro de Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 141 pp.
- Pimienta, B.E. y M.E. Engleman. 1985. Desarrollo de la pulpa y proporción en volumen, de los componentes del lóculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). Agrociencia 62:51-56 pp.
- Pimienta, E. 1990. El nopal tunero. Univ. de Guadalajara, México.
- Pimienta, B.E. 1991. An overview of prickly pear cultivation in the central part of México. Proc. 2nd Annual Texas Prickly Pear Council, Mc Allen, Texas.
- Ramayo-Ramírez, L.; C. Saucedo-Veloz y S. Lakshminarayana. 1978a. Causas de altas pérdidas en nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) almacenado por refrigeración y su control. Chapingo, Nueva Época 10:33-36 pp.
- Ramayo-Ramírez, L.; C. Saucedo-Veloz y S. Lakshminarayana. 1978b. Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza

(*Opuntia inermis* Coulter) por refrigeración. Chapingo, Nueva Época 10:30-32 pp.

- Rodríguez-Félix, A. 1991. Postharvest handling for minor fruits in México. In: E.M. Yahia y I. Higuera (eds.). Proc. National Symposium on Postharvest Physiology and Technology of Horticultural Crops in México. Ed. Limusa, México, pp. 305-310.
- Rodríguez-Félix, A. y M. Cantwell. 1988. Developmental changes in the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plants Food for human Nutrition*. 38: 83-93 pp.
- Rodríguez-Félix, A.; M.I. González-Salas; H. Soto-Valdez y M.I. Silveira-Gramont. 1992. Effects of postharvest treatments on the quality of tuna during storage. Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Conference, Texas Prickly Pear Council. Mc. Allen, Texas. 9-21 pp.
- Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Ibero-ámerica. 759 p.p.
- Salveit-Jr., M.E. y L.L. Morris. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In: C.Y. Wang (de). Chilling injury of Horticultural Crops, CRC Press, Boca Raton, Fl, pp. 3-15.
- Sodi, P.E. 1964. Las cactáceas en la época precolombina y virreinal. *Cac. y Suc. Méx. México* XII (1).
- Sudzuki, F. H. 1995. Anatomy and morphology. In: G. Barbera; P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds.) Agro-ecology, cultivarion and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132: 28-35 pp.
- Trachtenberg, S. y A.M. Mayer. 1982 Biophysical properties fo *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochem*. 21: 2835-2843 pp.
- Tucker, G.A. 1993. Introduction. In: G.B. Seymour; J.E. Taylor y G.A. Tucker (eds.). Biochemistry of fruit ripening. Chapman y Hall. London, pp. 1-15.
- Wang, C.Y. 1990. Alleviation of chilling injuryof horticultural crops. In: C.Y. Wang (ed). Chilling inlury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton, Fl, pp. 281-302.



Figura 1. Cosecha manual de tuna auxiliada con cuchillo y guantes.



Figura 2. Corte de tuna con una porción de la planta madre (corte con "botón").

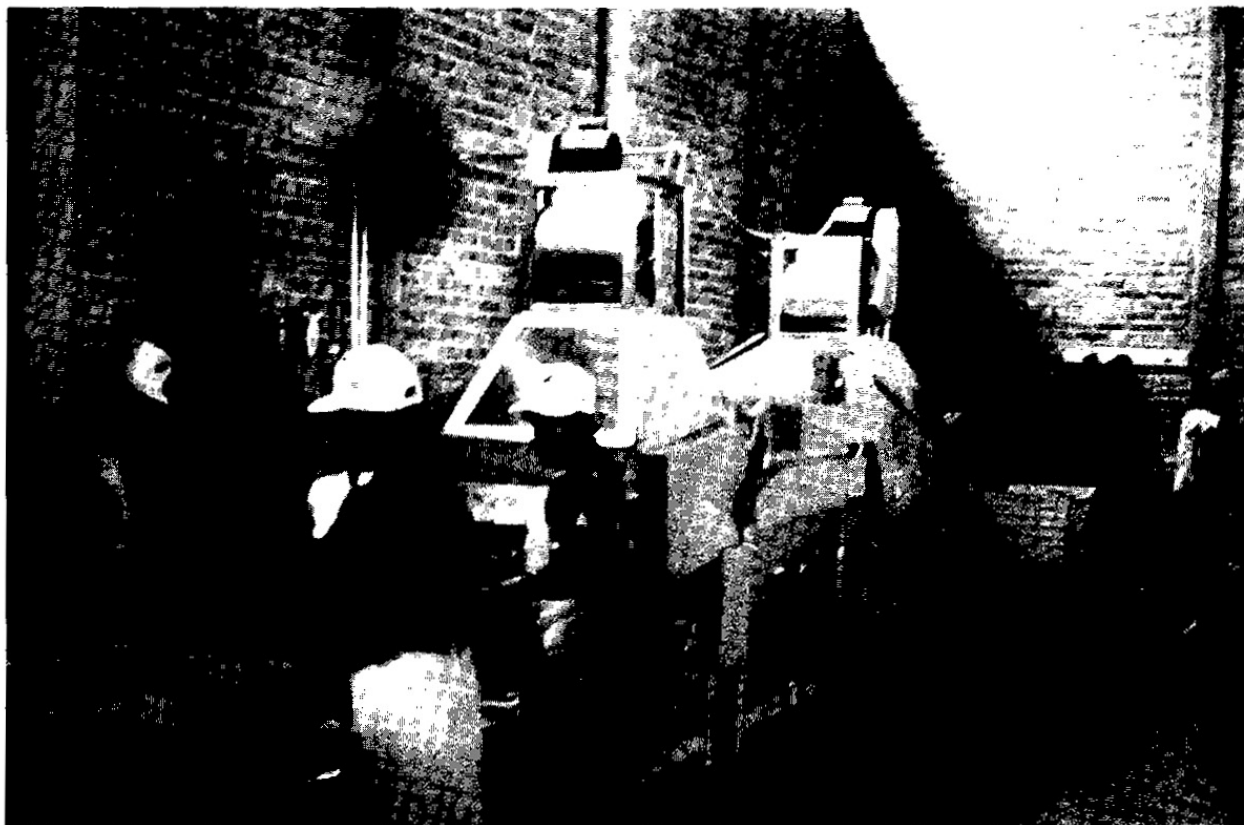


Figura 3. Prototipo mecánico para el desespinado (remoción de ahuates) de tuna.



Figura 4. Líneas de selección y empaqué de tuna.



Figura 5. Detalle del acomodo de tuna empacada en caja de cartón con envoltura de papel.



Figura 6. Tuna empacada en reja de madera para su transportación y comercialización en el mercado doméstico de México.



Figura 7. Tuna empacada en caja de carton con perforaciones y estibable, para el mercado de exportación.



Figura 8. Cosecha manual de nopalito auxiliada con cuchillo y guantes.



Figura 9. Detalle de la conformación de una paca cilíndrica.



Figura 10. Desespinado manual de nopalito.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y
TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA AGRICULTURA MUNDIAL
(CIESTAAM)

DIRECTORIO DE LA UACH

Dr. José Reyes Sánchez

Rector

Dr. Clemente Villanueva Verduzco

Director General Académico

Ing. Antonio Arroyo Guadarrama

Director de Administración

Ing. José Luis Aragón Villatoro

Director de Difusión Cultural

Ing. Raúl Reyes Bustos

Director de Patronato Universitario

Dr. Gustavo Almaguer Vargas

Subdirector de Investigación

Dra. Rita Schwentesius Rindermann

Directora del CIESTAAM

**Fisiología y tecnología postcosecha del fruto de tuna
y del nopal verdura**

Edición del Área de Publicaciones del CIESTAAM a cargo de Gloria Villa H.
Corrección de estilo: Salvador Bravo G.

Formación: Ma. Lidia Ordaz G.

Se imprimieron 500 ejemplares más sobrantes para reposición

Se terminó de imprimir en diciembre de 2000

Libros

- Desafíos de la agricultura orgánica. *Certificación y comercialización.*
- La destrucción de las Indias y sus recursos renovables.
- Los directores de la Escuela Nacional de Agricultura. *Semblanzas de su vida institucional.*
- TLCAN y agricultura - NAFTA and agriculture. Experiencia a cinco años. *Memoria del Seminario.*
- Ganar-Ganar en el medio rural. *El arte de la venta de servicios profesionales con valor agregado.*
- Agricultura de exportación en tiempos de globalización. *El caso de las hortalizas, frutas y flores.*
- Análisis de la Alianza para el Campo. *Memoria del Seminario Nacional.*
- TLC y agricultura *¿Funciona el experimento?* - NAFTA and agriculture. *Is the experiment working?*

Reportes de Investigación

- TLCAN y medio ambiente; *Algunas consideraciones básicas para su análisis.* Reporte 53.
- Impacto del TLCAN en el sistema productivo porcino mexicano. Cinco años y medio de operación. Reporte 52.
- Competitividad de los principales productos agropecuarios mexicanos en el mercado estadounidense. Reporte 51.
- El Tratado de Libre Comercio de América del Norte y lácteos. Reporte 50.
- Tendencias actuales y futuras en el procesamiento del nopal y la tuna. Reporte 49.
- El TLCAN y la inocuidad alimentaria en la industria cárnica mexicana. Reporte 48.
- Estructura básica de la citricultura argentina. Reporte 47.
- La competitividad de las exportaciones mexicanas de aguacate: *Un análisis cuantitativo.* Reporte 46.
- El desarrollo autogestivo de la Unión Regional de Pequeños Productores de Café de Huatusco, Veracruz, México. Reporte 45.