



## **La tuna: una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación**

C. E. Ochoa-Velasco\* y J. A. Guerrero-Beltrán

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas, Puebla.  
Sta. Catarina Mártir, Cholula, Puebla. 72810. México*

---

### **Resumen**

La tendencia mundial actual se ha enfocado en el consumo de productos frescos, o muy similares a los frescos, en donde las frutas y hortalizas ocupan un lugar privilegiado. La tuna es una fruta que contiene componentes bioactivos y funcionales que han llamado la atención de los investigadores, debido a los diferentes efectos benéficos que estos tienen en la salud, siendo utilizada en tratamientos contra la gastritis, hiperglucemia, arteroesclerosis y diabetes. Sin embargo, para poder conservar estos componentes la tuna debe ser consumida en fresco, lo que representa un problema debido a que sus características fisicoquímicas y nutrimentales la hacen apta al ataque microbiano. Por lo tanto, es de vital importancia la investigación e implementación de tecnologías poscosecha que ayuden y coadyuven a las ya utilizadas en el aumento de la vida útil de la tuna. De aquí, que el objetivo de este artículo de revisión es dar a conocer las características fisicoquímicas, nutrimentales y funcionales de la tuna; así como, las tecnologías poscosecha que ayudarían a su almacenamiento y conservación.

**Palabras clave:** tuna, componentes bioactivos, poscosecha.

### **Abstract**

Today, people around the world are trying to consume fresh food products or minimally processed food such as fruits and vegetables. Prickly pear possesses bioactive components which are excellent for human health; these components may be active against gastritis, hypoglycemia, arthrosclerosis and diabetes (just to mention some examples). However in order to keep these bioactive components intact in prickly pear, fruits have to be consumed in a fresh way. This could be a problem since prickly pear physicochemical and nutrimental properties make fruit perishable due to microbial spoilage. Therefore, it is important to improve the postharvest and preservation technology to increase the shelf life of prickly pear. The aim of this review is to present the physicochemical, nutritional and functional properties of prickly pear, as well as, the post-harvest technologies used for its storage and preservation.

**Keywords:** prickly pear, bioactive components, post-harvest.

---

\*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos  
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727  
Dirección electrónica: carlos.ochoavo@udlap.mx

## Introducción

La tuna es una fruta perteneciente a la familia de las cactáceas y ha sido hasta ahora la más explotada y comercializada; junto con el nopal provee de alimentación a seres humanos y animales en algunas regiones de México. Sus demandas climáticas la hacen un cultivo muy apto para aquellas zonas donde no pueden desarrollarse otro tipo de plantas. México es el país con mayor producción y variedad de tuna a nivel mundial (SAGARPA, 2006).

Recientes estudios han demostrado que la tuna contiene altos niveles de agentes antioxidantes tales como ácido ascórbico, compuestos fenólicos y pigmentos betalainicos; así como altas concentraciones de compuestos como calcio, magnesio, prolina y taurina, que le proporcionan la característica de un alimento funcional (Galati *et al.*, 2003). Sin embargo, la tuna al igual que otras frutas en México, requiere de una investigación básica integral que permita sentar las bases para mejorar las técnicas de producción, manejo y conservación.

Para la distribución y comercialización se necesita una fruta de buena presentación y calidad; lo cual no se logra de manera satisfactoria, debido a la corta temporada de producción, así como a que el tiempo de vida útil de la tuna en condiciones de almacenamiento normales es muy reducido. Por lo tanto, es una realidad la necesidad de buscar y probar tecnologías de procesamiento para la obtención de productos derivados, así como tecnologías poscosecha, empaque y embalaje tal como el almacenamiento bajo atmósferas modificadas y/o controladas que permitan un mejor aprovechamiento de la tuna.

El objetivo de esta revisión es dar a conocer datos sobre la producción mundial, nacional y estatal de la tuna, así como difundir información sobre la importancia nutricional y

funcional que tiene la tuna en la alimentación y las posibilidades de conservación y almacenamiento para prolongar su vida útil.

## Revisión bibliográfica

### 1. Tuna

La tuna al igual que otras cactáceas tiene la peculiaridad de bajas necesidades de agua y por lo tanto, una alta eficiencia en el aprovechamiento de ésta, lo que les permite vivir en condiciones áridas y semiáridas (Gurrieri *et al.*, 2000; Esquivel, 2004). Esta característica de eficiencia del agua se lo da su metabolismo ácido de las crasuláceas, donde los estomas se abren de noche y capturan el dióxido de carbono cuando la transpiración es baja (Mizrahi *et al.*, 2002).

La tuna es una fruta carnosa (67 a 216 g de peso total) que varía en forma, tamaño y color dependiendo de la variedad, y tiene la característica de poseer una gran cantidad de semillas, un alto contenido de carbohidratos y una baja acidez, lo que le proporciona un sabor dulce y agradable (Piga, 2004; Cantwell, 1995). Existe una gran variabilidad en la constitución de la tuna que depende del tipo de cultivo, prácticas culturales, períodos de luz, clima y temporada de cosecha. Sin embargo, de manera general, está constituida por una cáscara gruesa y una pulpa jugosa. La cáscara, pulpa y semillas constituyen alrededor del 33 al 50%, 45 al 67% y del 2 al 10% del peso total del fruto, respectivamente. Durante el desarrollo de la tuna el contenido de pulpa se va incrementando, mientras que la cáscara se va haciendo más delgada restándole protección, pero ayudando al manejo poscosecha del fruto (Piga, 2004; Duru y Turker, 2005; Cantwell, 1995; Tesoriere *et al.*, 2005b). Dependiendo de la variedad se pueden encontrar tunas de colores tales como blancas, verdes, amarillas, naranjas, rosadas, rojas y

púrpuras; así como tunas con y sin gloquideos, que consisten en espinas formadas por celulosa cristalina pura (Stintzing *et al.*, 2001; Carrillo *et al.*, 2002).

### 1.1 Producción de tuna

Se conocen aproximadamente 200 especies de tuna en el mundo. México se destaca como el mayor productor mundial; sin embargo, Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia, Marruecos, EUA, Sudáfrica, Italia, Grecia, Túnez, Egipto, Israel y Portugal entre otros, se han dedicado al cultivo de este fruto (Gurrieri *et al.*, 2000; Esquivel, 2004; Inglese *et al.*, 2002; Piga, 2004; Duru y Turker, 2005; Flores

y Corrales, 2003). Todos estos países basan su producción de tuna en una sola variedad, mientras que México tiene una riqueza varietal (Tabla I) que permite ofrecer al mercado una gran diversidad de tonalidades (blancas, amarillas, anaranjadas y rojas) y con un amplio periodo de cosecha que va desde mayo hasta noviembre, concentrándose la tuna de mayor calidad en los meses de julio y agosto.

La producción mundial de tuna en el año 2000 fue de 973,400 toneladas; aportando 7 países el 88% de la producción. México fue el principal productor aportando el 36% del total, seguido de Túnez con 12.8 % y Argentina 7.7%.

**Tabla I.** Principales variedades de tuna cultivadas en México<sup>a</sup>

Variedad	Estados de producción	Especie
Villanueva	Puebla	--
Alfajayucan	Estado de México, Hidalgo	<i>O. amyclaea T</i>
Roja pirámides	Estado de México	<i>O. amyclaea T</i>
Burrona	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí	<i>O. amyclaea T</i>
Cristalina	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí, Aguascalientes	<i>O. amyclaea T</i>
Reyna	Guanajuato, Zacatecas	<i>O. amyclaea T</i>
Gavia	San Luis Potosí	<i>O. amyclaea T</i>
Esmeralda	Guanajuato, Querétaro	<i>O. amyclaea T</i>
Rojo pelón	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí, Guanajuato	<i>O. amyclaea T</i>
Rubí reyna	Zacatecas, San Luis Potosí	<i>O. amyclaea T</i>
Torreaja	Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí, Guanajuato	<i>O. amyclaea T</i>
Morada	Aguascalientes	<i>O. amyclaea T</i>
Amarilla montesa	Zacatecas, Jalisco	<i>O. amyclaea T</i>
Miquihuana	Tamaulipas, San Luis Potosí	<i>O. amyclaea T</i>
Amarillo huesona	Zacatecas, Jalisco	<i>O. amyclaea T</i>
Picochulo	Zacatecas, Jalisco, Aguascalientes	<i>O. amyclaea T</i>
Cardón	San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro.	<i>O. streptacantha</i>

<sup>a</sup>Flores y Gallegos, (1993)

La producción de tuna en México ha tenido un aumento gradual (Tabla II) en cuanto a rendimiento se refiere (ton/Ha). El Estado de México y Zacatecas se han convertido en los principales estados productores de tuna, seguidos de Hidalgo y Puebla. Los estados de Zacatecas y Guanajuato fueron los estados con mayor crecimiento durante el periodo de 2000-2006 con 45 mil ton y 6.6 mil toneladas, respectivamente (SAGARPA, 2006).

Para el año 2006, la producción nacional fue de 378,698 toneladas. En donde el Estado de México y Zacatecas representan el 72% de la producción nacional (64% de la superficie sembrada). Para el año 2008, los estados con mayor superficie sembrada fueron los estados de Zacatecas y el Estado de México con 19,428.81 Ha y 16,255.00 Ha, respectivamente. Sin embargo, el estado de Puebla ocupa el primer lugar nacional en rendimiento (toneladas/hectárea), seguida de Durango, Estado de México y Guanajuato con un rendimiento de 18.43, 14.00, 10.30 y 9.76, respectivamente (SAGARPA-SIAP, 2008). Dentro de los principales destinos de la producción nacional de tuna se tiene a Estados Unidos, Bélgica, España, Alemania y Holanda, entre otros (SIAP, 2001). Sin embargo, México no es el principal país exportador, ya que Italia domina el mercado Europeo, debido a la calidad y al precio; este dispone de mejores instalaciones para el empaque y mejores redes de distribución que incluso llegan a exportar a países como Estado Unidos y Canadá, que deberían de estar cubiertos por México.

Europa Oriental y los países árabes, representan oportunidades de mercados altamente factibles para exportación. Sin embargo, los principales problemas que limitan la competitividad de México en estas regiones del mundo, son el alto costo del transporte y que no se utilizan técnicas de conservación adecuadas (Flores *et al.*, 1995).

### 1.2 Características de la tuna

En años recientes ha existido una tendencia global al consumo de frutas y hortalizas debido a las continuas evidencias de que sus componentes tienen un efecto protector contra el daño por oxidación en componentes celulares; así como en mantener la condición redox necesaria para controlar la función celular. Aparte del contenido de vitaminas y minerales, las frutas y hortalizas tienen otros componentes que han sido reconocidos como factores potenciales en beneficiar la salud humana (Tesoriere *et al.*, 2008; Chae Lee *et al.*, 2002; Butera *et al.*, 2002).

La tuna ha sido reconocida en México por sus numerosas virtudes nutritivas, químicas, industriales, ecológicas, medicinales y simbólicas, entre otras. Pero últimamente ha llamado la atención debido a sus propiedades nutricionales y funcionales (Castellanos y Yahia, 2008).

**Tabla II.** Producción de tuna en México<sup>a</sup>

año	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio medio rural (\$/ton)
2005	50,146.41	43,167.91	366,383.75	8.49	2,125.11
2006	50,762.91	43,118.91	378,697.94	8.78	1,830.03
2007	53,211.56	43,999.56	325,663.33	7.40	2,532.62
2008	54,294.61	45,974.61	393,506.49	8.56	2,657.92

<sup>a</sup>SIAP-SAGARPA, (2008)

### 1.2.1 Composición de la tuna

La parte comestible de la tuna está compuesta principalmente por agua (84-90%) y carbohidratos (10-15%) (Piga, 2004; Cantwell, 1995). Los sólidos solubles de la tuna se encuentran en un rango de 10-17%, con glucosa y fructosa como los azúcares predominantes (Piga, 2004; Sawaya *et al.*, 1983; Sáenz, 1996). Contiene un alto valor de pH (5.3-7.1) y una baja acidez (0.05-0.18%) expresada como ácido cítrico, lo que influencia fuertemente en las operaciones de procesado (Piga, 2004; Moßhammer *et al.*, 2006). Dentro de los ácidos reportados en la tuna se encuentra el ácido cítrico (62 mg/100g), el ácido málico (23.3 mg/100g), el ácido quínico (19.1 mg/100g) y el ácido shikímico (2.8 mg/100g); mientras que los ácidos isocítrico, fumárico, glicolítico y succínico solo se encuentran en trazas (Stintzing *et al.*, 2001).

### 1.2.2 Características nutricionales

El contenido nutrimental de la tuna (Tabla III) es similar al de otras frutas (Stintzing *et al.*, 2001), con un aporte calórico de 47-67 kcal/100g. Sin embargo, el alto contenido de calcio, fósforo y magnesio, así como aminoácidos libres y fibra, hace a la tuna una fruta con características nutricionales especiales (Sáenz, 1996; Stintzing *et al.*, 2001).

La tuna posee cantidades significativas de ácido ascórbico (18 - 23 mg/100g) (Piga, 2004; Stintzing *et al.*, 2001). Esta cantidad de ácido ascórbico es mayor a la que se encuentra en frutas como la manzana, pera, uva y plátano, pero en vitaminas tales como vitamina A, tiamina, riboflavina y niacina sólo se encuentran cantidades trazas (Sawaya *et al.*, 1983). Estudios recientes demuestran que la tuna es una buena fuente de calcio y magnesio con valores de 59 mg/100g y 98.4 mg/100g,

respectivamente, mientras que los niveles de sodio, potasio, hierro y fósforo se encuentran en los mismos niveles de las otras frutas (Askar y El-Samahy, 1981; Stintzing *et al.*, 2001).

Adicionalmente, la tuna contiene altos niveles de prolina y taurina, lo cual es muy peculiar ya que este último aminoácido no es común en el reino vegetal (Tesoriere *et al.*, 2005b). La pulpa de tuna puede ser utilizada como fortificante natural de alimentos, debido a los altos niveles de aminoácidos. Por ejemplo, en bebidas energéticas (El-Samahy *et al.*, 2007).

### 1.2.3 Características funcionales

Actualmente los consumidores son más exigentes y educados acerca del valor nutrimental de los alimentos, lo que ha provocado un cambio en sus hábitos alimenticios; ellos demandan alimentos funcionales que sean ricos en componentes bioactivos, fibra dietética, colorantes naturales, vitaminas y minerales, bajos en grasas, libres de aditivos sintéticos y más prácticos (El-Samahy *et al.*, 2007; Lund, 2002).

En los últimos años la comunidad científica ha mostrado mayor interés con respecto a los beneficios que proporciona la tuna a la salud. Diferentes investigaciones han demostrado la mejora de la función plaquetaria, la reducción de lípidos y triglicéridos en la sangre y el colesterol total y la reducción de las concentraciones de isoprotanos en la sangre lo cual indica un menor daño oxidativo. Sin embargo, son escasos los trabajos realizados y aún se desconocen los mecanismos de acción. La tuna ha sido muy utilizada en tratamientos contra la gastritis, hiperglucemia, arteroesclerosis y diabetes (Galati *et al.*, 2003; Butera *et al.*, 2002; Stintzing *et al.*, 2005; Gurrieri *et al.*, 2000; Tesoriere *et al.*, 2005a).

**Tabla III.** Composición química de la pulpa de tuna <sup>a,b,c,d</sup>

Nutrientes	Valores por cada 100 g de pulpa	Nutrientes	Valores por cada 100 g de pulpa
Humedad (g)	84-89	Riboflavina (mg)	0.060
Energía (kcal/kJ)	47-67/196-280	Niacina (mg)	0.460
Proteína (g)	0.73	Vitamina B-6 (mg)	0.060
Lípidos totales (g)	0.51	β-Caroteno (mg)	25
Cenizas (g)	1.64	β-Cryptoxantina (mg)	3
Carbohidratos (g)	10-15.	Vitamin A, (IU)	43
Fibra total (g)	3.6	<b>Aminoácidos</b>	
<b>Minerales</b>		Prolina (mg/L)	1768.7
Calcio (mg)	59	Glutamina (mg/L)	574.6
Hierro (mg)	0.30	Taurina (mg/L)	572.1
Magnesio (mg)	98.4	Serina (mg/L)	217.5
Fosforo (mg)	24	Alanina (mg/L)	96.6
Potasio (mg)	220	Ácido glutámico (mg/L)	83.0
Sodio (mg)	5	Metionina (mg/L)	76.9
Zinc (mg)	0.12	Lisina (mg/L)	53.3
Cobre (mg)	0.080	<b>Lípidos</b>	
Selenio (mcg)	0.6	Ácidos grasos (Saturados) (g)	0.067
<b>Vitaminas</b>		Ácidos grasos (monoinsaturados) (g)	0.075
Ácido ascórbico (mg)	18-23	Ácidos grasos (Polinsaturados) (g)	0.213
Tiamina (mg)	0.014		

<sup>a</sup>USDA, (2009); <sup>b</sup>Piga, (2004); <sup>c</sup>Stintzing *et al.*, (2001); <sup>d</sup>Askar y EL-Samahy, (1981)

Se presume que los beneficios del consumo de tuna se deben a que es una fuente importante de componentes funcionales y nutraceuticos, tales como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, flavonoides, α-tocoferoles y betalainas en tunas rojas y amarillas (El-Samahy *et al.*, 2006). Estudios en la tuna han demostrado que la actividad antioxidante de plantas bioactivas basan su acción de manera directa como secuestrante de radicales libres y de manera indirecta en la relación que tiene con la quelación de los elementos de transición (Chae Lee *et al.*, 2002). No obstante, estas concentraciones de antioxidantes en general, parecen ser muy variables, ya que no solo existe una gran variabilidad de estos compuestos en las plantas, sino que además existen muchas variedades de tuna, así como una gran

diversidad de opiniones en los métodos adecuados para evaluar estos antioxidantes en los tejidos vegetales (El-Samahy *et al.*, 2007; El-Samahy *et al.*, 2006; Gurrieri *et al.*, 2000).

En un estudio realizado por Butera *et al.* (2002) se evaluó la actividad antioxidante de tres variedades de tuna amarilla, roja y blanca. Encontraron que la tuna amarilla muestra la mayor cantidad de betalainas, siendo el pigmento principal la indicaxantina (89%). La betanina parece ser la de mayor concentración en tuna roja (66%) de los pigmentos betalainicos. Finalmente, la tuna blanca muestra la menor cantidad de betalainas y contiene exclusivamente indicaxantina. Algunos estudios demuestran que la indicaxantina es más biodisponible que la betanina (Kanner *et al.*, 2001; Tesoriere *et al.*,

2008). Este mismo estudio demostró que el contenido de ácido ascórbico es muy similar y no se encontró diferencia significativa entre variedades, proporcionando aproximadamente del 30-40% de la capacidad antioxidante total. Butera *et al.* (2002) reportan que la capacidad antioxidante (ABTS) es mayor en la tuna amarilla que en la tuna roja y blanca. Sin embargo, en pruebas realizadas en glóbulos rojos expuestos a hidroperóxidos orgánicos utilizando  $\alpha$ -tocoferol como referencia, muestran que la tuna blanca es más efectiva en la inhibición de la oxidación de lípidos, así como en el aumento de la resistencia a la oxidación.

Todo parece indicar que los pigmentos betalainicos contribuyen a la actividad antioxidante de las tunas. Aunque deben ser evaluados en función del efecto real de estos pigmentos para su uso en la dieta, su biodisponibilidad, bioactividad y su eventual digestión (Tesoriere *et al.*, 2008).

## 2. Almacenamiento, conservación y productos de tuna

Los cambios socioculturales en los últimos años han creado la demanda de alimentos de consumo fácil y rápido; dirigiéndose a alimentos seguros, sanos, libres de aditivos y conservadores y en muchas ocasiones con un valor agregado. Estos alimentos tienen que ser frescos o con características muy similares a los frescos, lo cual ha provocado la demanda de frutas y hortalizas procesadas en fresco. Por lo tanto, ya no basta con prolongar la vida útil del fruto durante un período de tiempo más largo, sino que además llegue al consumidor final en condiciones sensoriales y de calidad óptimas (Zapata y Segura, 1996).

Una de las líneas de investigación que se ha centrado en el procesamiento de frutas y hortalizas es llamada procesamiento mínimo. Wiley (1997) describió el término de frutas y hortalizas mínimamente procesadas como

todas aquellas que mantienen tejidos vivos, así como, aquellas que han sufrido ligeras modificaciones en sus características de frescura, incluyendo como métodos de conservación la refrigeración así como la modificación y control de la atmósfera de envasado. Esta definición incluye al procesamiento mínimo dentro de las tecnologías poscosecha, que de manera general se refiere a la organización global del proceso de tratamiento, conjunto de métodos de conservación, empaquetado y transporte del producto desde su recolección hasta el consumo. Teniendo como objetivos primordiales conservar el producto durante un período más amplio, manteniendo al máximo su calidad y características sensoriales, nutritivas y sanitarias al tiempo que se reducen pérdidas y se minimiza el costo del proceso (Zapata y Segura, 1996).

### 2.1 Manejo poscosecha

Se estima que cerca del 25-80% de la producción hortofrutícola se pierde en poscosecha (Zapata y Segura, 1996) debido a un manejo y manipulación defectuosa. Al igual que otras frutas, la tuna presenta un elevado carácter perecedero, presentando manchas y podredumbres a escasos 9 días tras su recolección y a 20 días después de su cosecha se ha perdido del 70 al 80% de la producción (Cantwell, 1995; Corrales *et al.*, 1997). Lo anterior es debido principalmente a los daños mecánicos, la deshidratación de la piel y el ataque de patógenos causantes de pudriciones entre los que se destacan *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Chlamydomyces* spp., y *Penicillium* spp. (Cantwell, 1995). Adicionalmente se presenta el problema debido a la estacionalidad de la producción, afectándose con ello la rentabilidad de los sistemas de producción (Flores y Gallegos, 1993).

A continuación se presenta de manera resumida las etapas del manejo poscosecha de la tuna.

- **Recolección**

La recolección de la tuna se realiza generalmente de dos maneras manuales. La primera es comúnmente llamada a torzón donde la tuna se gira y se trocea, mientras que la segunda forma es con cuchillo tratando de cortar una parte del nopal para evitar el daño a la tuna.

- **Transporte y recepción**

Una vez cortados los frutos, estos son depositados en cajas de plástico o madera, para ser transportados hasta la empacadora en donde continuará el acondicionamiento de los frutos.

- **Desespinado**

La tuna no se puede comercializar de forma normal sin antes haber pasado por el desespinado, en donde se eliminan los ahuates o gloquideos de las tunas. Actualmente el desespinado se hace de dos formas, la primera es de forma mecánica, en donde las tunas se hacen pasar por unas bandas transportadoras que contienen rodillos con cerdas de plástico, que eliminan el ahuate, la segunda forma es por medio de escobas en donde las personas limpian (barrido) las tunas, eliminando el ahuate.

- **Selección**

La tuna se selecciona por calidad y tamaño. Posterior a la limpieza, las tunas caen a una banda transportadora la cual está provista de una serie de subdivisiones que se utilizan para separar los frutos seleccionados en base a su tamaño. Dependiendo de la zona geográfica son los tamaños que se manejan. De manera

general se manejan 5 tamaños: extra, primera, segunda, tercera y armada. La selección la deben realizar personas debidamente capacitadas para reconocer y separar frutos en buen estado de aquellos con daños mecánicos, podridos o malformados.

- **Empaque**

La finalidad de empacar la tuna es proporcionar al producto las condiciones adecuadas para que durante el transporte al centro de comercialización no se dañe, facilitar su manipulación y darle una presentación atractiva que motive su compra y consumo (Barrios *et al.*, 2003).

La tuna se empaca en cajas de madera para el mercado nacional y en cajas de cartón para el mercado de exportación. El envase de cartón presenta ciertas ventajas, ya que el peso de tuna por caja es menor, lo que provoca que no existan daños al producto, además sirve para imprimir el sello o marca comercial del producto.

- **Comercialización**

La comercialización para el mercado nacional se da en las centrales de abasto de los principales centros de consumo, de ahí se distribuye a los mercados municipales haciéndolas disponible para el consumidor final. El transporte se realiza en camiones o tráilers dependiendo del volumen demandado.

Todo el manejo poscosecha de la tuna se lleva a cabo sin una cadena de frío y modificaciones a la atmósfera que rodea al producto, por lo que el tiempo de vida útil es muy corto.

## 2.2 Almacenamiento en refrigeración

El almacenamiento a bajas temperaturas es el método de conservación más utilizado para productos en fresco. Ayuda a mantener una



adecuada calidad visual, reducir la respiración, frenar el ablandamiento y reducir el crecimiento microbiano (Artés *et al.*, 2002; Brackett, 1987; Jacxsens *et al.*, 2002). La temperatura de un producto debe disminuirse a un nivel justo por encima del punto de congelación del tejido o por encima de la temperatura umbral, ya que de lo contrario en productos sensibles a bajas temperaturas se produce el llamado daño por frío (Aguayo, 2003). Los efectos del daño por frío generalmente no son visibles a temperaturas de refrigeración, sino que se manifiestan a temperatura ambiente (Saltveit y Cabrera, 1987). Sin embargo, puede desarrollarse progresivamente durante la conservación a bajas temperaturas (Hong y Gross, 2001; Morris, 1982).

Existen pocos estudios reportados acerca del almacenamiento de tuna en refrigeración. En la mayoría de las investigaciones la variedad de tuna, así como la temperatura a la cual se almacena son los factores determinantes. Variaciones de 1 a 2 °C afectan de manera significativa las características de la tuna. De manera general, los efectos de la refrigeración se ven reflejados en pérdida de peso durante el almacenamiento, llegando a perder el 10 % en peso en variedades como la Torreoja almacenada a 9°C durante 1 mes, más 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente (Corrales *et al.*, 1997). Sin embargo, la variedad Burrón pierde tan solo 5% en peso después de 45 días de almacenamiento a 16-17°C y una humedad relativa de 60% (Barrios *et al.*, 2003). Piga *et al.* (1996), estudiaron el efecto del almacenamiento en refrigeración de tuna variedad Gialla, bajo condiciones de 6°C a una humedad relativa de 95%, observando que después de 6 semanas de almacenamiento la tuna había perdido aproximadamente el 5% de su peso original. La pérdida de peso también tiene efecto de manera directa y proporcional sobre la turgencia, así como en el aumento en la

distancia de penetración de la cáscara (Corrales *et al.*, 1997; Mercado *et al.*, 2007).

El cambio de color es uno de los efectos importantes que tiene la refrigeración en el almacenamiento de la tuna. En la mayoría de las investigaciones se reportan cambios en la coloración pasando de los colores verdes, naranjas y rojos o púrpuras a un color amarillento, se cree que esto es debido a una disminución en la concentración de los pigmentos en cada variedad de tuna (Barrios *et al.*, 2003; Corrales *et al.*, 1997; Mercado *et al.*, 2007). Otras características como el pH y los sólidos solubles tienden a disminuir, mientras que la acidez titulable tiende a aumentar con el tiempo de almacenamiento (Corrales *et al.*, 1997; Piga *et al.*, 1996; Mercado *et al.*, 2007).

La temperatura de almacenamiento repercute de manera directa en tuna mínimamente procesada. En un estudio realizado por Ávila (2007) se almacenaron tunas por más de 10 días a una temperatura de 10°C y se presentaron daños por microorganismos y pudriciones en aproximadamente 30-40% de las tunas, mientras que a 4°C este mismo efecto se presentó sólo después de 25 días de almacenamiento.

De manera general se recomienda un almacenamiento de la tuna a una temperatura de 5-8°C con 90-95% de humedad relativa y la adecuada ventilación para evitar los daños por frío y evitar la pérdida o deterioro de la tuna por aproximadamente 30 días (Kader, 2007).

### 2.3 Almacenamiento bajo atmósferas modificadas

Tras la cosecha de los productos hortofrutícolas los procesos de respiración siguen activos, dando como resultado que los carbohidratos, se conviertan en CO<sub>2</sub>, agua, energía y otros compuestos menores, usando el oxígeno necesario del aire circundante. El

agua formada en el proceso de respiración se torna parte del producto y el CO<sub>2</sub> y el calor se difunden a la atmósfera. Cuando no existe suficiente oxígeno disponible, se forman otros subproductos como alcoholes, aldehídos y cetonas que imparten mal sabor a los alimentos, pudiendo dañar los tejidos celulares. Como consecuencia de estas reacciones, el producto vegetal se debilita y se vuelve susceptible al ataque de microorganismos. Por lo tanto, es de suma importancia que los productos hortofrutícolas sean envasados de manera adecuada para mantener la calidad durante su transporte, almacenamiento y comercialización (Zapata y Segura, 1996; Rodríguez *et al.*, 2005).

La conservación de frutas y hortalizas bajo atmósferas modificadas consiste en empaquetar el producto en películas plásticas con una permeabilidad definida. Su fundamento se basa en el cambio de las condiciones gaseosas iniciales del entorno inmediato del producto como consecuencia de su metabolismo y la barrera que dé la película plástica. Existen muchas definiciones de atmósfera modificada, pero una de las más acertadas es la que define como aquella que se crea por alterar la composición gaseosa normal del aire (78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, 0,03% CO<sub>2</sub> y trazas de gases nobles) para proporcionar una atmósfera óptima que permita prolongar la conservación, así como la calidad del producto (Zapata y Segura, 1996; Rodríguez *et al.*, 2005).

Existen muy pocos trabajos presentados sobre el almacenamiento de tuna bajo atmósferas modificadas y/o controladas. Estos trabajos se pueden dividir en dos categorías, en los primeros la tuna es almacenada entera (con cáscara), mientras que la segunda categoría las tunas son tratadas mínimamente y empacadas bajo atmósferas modificadas.

El almacenamiento de tuna con cáscara bajo atmósferas modificadas y/o controladas se ha visto beneficiado en un aumento en la

vida útil, evitando el daño por frío y la pérdida de peso en tunas almacenadas bajo atmósfera modificada pasiva a 6°C con 95% de humedad relativa, durante 3 semanas. Se ha reportado que la pérdida de peso fue de 3.7% y 1.5%, para tunas almacenadas sin empaque y con empaque (polietileno), respectivamente. Mientras que con las mismas condiciones de almacenamiento las pérdidas de peso fueron de alrededor del 7% para tunas sin empaque y 1.9% en tuna empacada con polietileno, durante un período de 6 semanas (Piga *et al.*, 1996). Este mismo fenómeno fue observado en un estudio realizado por Morales (1995) observándose que la pérdida de peso es mayor en frutas almacenadas a temperatura ambiente (20°C) en un 31%, mientras que a refrigeración (8°C) es de 17.6% y en atmósferas controladas (10%CO<sub>2</sub> y 5%O<sub>2</sub>) a 8°C se da una pérdida de peso de 1-1.4%, debido a la reducción de la respiración y del calor producido. Piga *et al.* (1996) y Morales (1995) reportaron que los efectos del daño por frío (oscurecimiento de cáscara) se reducían en tunas almacenadas bajo atmósferas modificadas y controladas, respectivamente. Piga *et al.* (1996) reportaron que en tunas almacenadas sin empaque a 6°C durante 3 semanas el daño por frío era de 35%; mientras que en tunas almacenadas en las mismas condiciones con empaque de polietileno el daño por frío era de 15%. Morales (1995) concluyó que las tunas no presentaban daño por frío después de 30 días de almacenamiento cuando las condiciones fueron de (10% de CO<sub>2</sub> y 5% de O<sub>2</sub>).

El efecto del almacenamiento bajo atmósferas modificadas y/o controladas sobre el crecimiento de microorganismos todavía no está del todo claro ya que no se encontraron diferencias significativas sobre el crecimiento de mohos en tunas empacadas y almacenadas en atmósferas modificadas y/o controladas comparadas con tunas almacenadas sólo en refrigeración, por lo tanto se cree que el efecto inhibidor es únicamente por la temperatura de

almacenamiento (Piga *et al.*, 1996; Morales, 1995).

La acidez titulable, pH, y sólidos solubles totales no se ven afectados por el empaque bajo atmósferas modificadas y/o controladas (Piga *et al.*, 1996).

El almacenamiento bajo atmósferas modificadas en tuna (10%CO<sub>2</sub>+5%O<sub>2</sub>) evitan la degradación de la clorofila, manteniendo el color verde limón durante un período de almacenamiento de 30 días a 8°C. Sin embargo, la textura no presenta diferencia significativa en tuna almacenada con y sin atmósferas modificadas (Morales, 1995).

#### 2.4 Tuna mínimamente procesada

Ayala y Franco (1998) realizaron el almacenamiento de tunas mínimamente procesadas, las tunas fueron peladas y empacadas en dos diferentes tipos de películas plásticas (polipropileno y polietileno de baja densidad) y almacenadas a dos temperaturas de refrigeración (1.5 y 5.5°C). Los resultados muestran que el polipropileno y la temperatura de 1.5°C son las condiciones que mejor conservan las cualidades de la tuna, manteniendo el color verde por 10 días, una pérdida de peso de 0.6%, así como un incremento en la acidez y el contenido de azúcares reductores a los 20 días de almacenamiento; sin embargo, se reportó una desviación de la ruta respiratoria y el establecimiento de un metabolismo fermentativo. Ávila en 2007 reportó que tunas mínimamente procesadas empacadas y almacenadas a 10°C durante 10 días tuvieron una pérdida de peso de 0.81% y 1.42% en tunas tratadas con preenfriamiento (aire forzado a 4°C durante 2 horas) y sin preenfriamiento, respectivamente; mientras que las tunas partidas en mitades presentaron una pérdida de peso de 0.39%, y las tunas partidas en cuatro partes presentaron una pérdida de peso del 1.83%, esto debido al

mayor rompimiento de los tejidos celulares. Las tunas mínimamente procesadas (enteras y sin cáscara) y empacadas en bolsas de polipropileno tienen una vida útil prolongada por un período de almacenamiento de 20 días a 4°C.

#### 2.5 Productos procesados de tuna

Los pocos estudios realizados en tuna explican la carencia de productos procesados, más que aquellos productos naturistas.

La pulpa de tuna es la porción de la fruta más valiosa y como ya se mencionó anteriormente, tiene un pH elevado; por lo que se considera un producto de baja acidez, lo cual puede propiciar el crecimiento de microorganismos, especialmente de levaduras y bacterias mesófilas. La gran cantidad de semillas también es un obstáculo para su procesamiento y poder obtener un producto atractivo al consumidor (Moßhammer *et al.*, 2006)

Diferentes investigadores han realizado estudios acerca de la estabilidad y viabilidad de productos procesados de tuna. A continuación se listan algunos productos obtenidos a partir de la tuna:

- Jugo y concentrado de tuna, con una baja actividad de agua y 63-67 °Brix que harían del concentrado un producto sumamente estable (Almendarés *et al.*, 1994)
- Queso de tuna (Sáenz, 1995)
- Mermeladas de tuna (Sawaya *et al.*, 1983)
- Productos enlatados (Joubert, 1993)
- Frutas mínimamente procesadas y congelados (Moßhammer *et al.*, 2006)
- Bebidas refrescantes en polvo (Rodríguez *et al.*, 2005)
- Bebidas alcohólicas (Bustos, 1981).
- Tuna deshidratada, útil en cereales, sopas, barras energéticas, etc. (Moßhammer *et al.*, 2006)

## Conclusiones

La investigación demuestra que ya no solo es una realidad, sino una necesidad el hecho de regresar al consumo de productos hortofrutícolas que proveen de una alimentación sana y segura, debido a la tendencia a enfermedades coronarias, oxidativas y de estrés. Productos del campo como la tuna no solo son capaces de alimentar, sino que además proveen de esos componentes bioactivos que ayudarían al tratamiento de las enfermedades crónico-degenerativas.

Dadas sus características, la tuna es un fruto que se prefiere consumir en fresco, por lo tanto, se deben de realizar mayores estudios para evaluar el efecto que tienen la temperatura, composición de gases y tipo de empaque sobre los componentes bioactivos, enzimas, microorganismos, parámetros fisicoquímicos y fisiológicos de la tuna durante el almacenamiento.

En México aún falta mucho por investigar y hacer en trabajo de campo, para proveer de información científica y tecnológica que pueda apoyar y por supuesto, ayudar en la aplicación de procesos y técnicas de conservación y tecnología poscosecha tales como las atmósferas modificadas y/o controladas. Así como las de procesamiento mínimo que actualmente están teniendo mucho auge por los múltiples beneficios que tienen en frutas y hortalizas como la tuna, ya que todo parece indicar que mantienen sus cualidades intactas.

## Agradecimientos

C.E. Ochoa Velasco agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento de sus estudios de Doctorado.

## Referencias

- Aguayo, E. 2003. Innovaciones tecnológicas en la conservación de melón y tomate procesado en fresco. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Almendares, L., Sáenz, C. y Berger, H. 1994. Elaboración y concentración de jugo de tuna (*Opuntia ficus indica* (L) Mill), obtenido a partir de fruta fresca y con almacenaje refrigerado. X National congress of food science and technology. Pucón, Chile. Noviembre 11-13.
- Artés, F., Gómez, P.A. y Artés, F. 2002. Alteraciones físicas, fisiológicas y microbianas de frutas y hortalizas procesadas en fresco. *Alimentaria*, 335, 69-74.
- Askar, A. y El-Samahy, S. K. 1981. Chemical composition of prickly pear fruit. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 77(8): 279-281.
- Ávila, J. 2007. Respuesta a diferentes condiciones de frigoconservación y películas plásticas de tuna (*Opuntia amyclaea*) mínimamente procesada. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Ayala, G., y Franco, A. 1998. Efecto de películas plásticas en tuna (*Opuntia Amyclaea*) mínimamente procesada. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Barrios, R. G., Hernández, A. B., Corrales, G. J. 2003. Avances sobre las respuestas de tuna (*Opuntia* spp.) variedad burrona, apacerada comercialmente. Datos no publicados.
- Brackett, R.E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*. 10:195-206.
- Bustos, O.E 1981. Alcoholic beverage from Chilean *Opuntia ficus-indica*. *American Journal of Enology and Viticulture*. 32: 228-229.
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintauro, A. M., Kohen, R. y Livrea, M. A. 2002. Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:6895-6901
- Cantwell, M. 1995. Postharvest management of fruits and vegetables stems. En Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, E. (Eds). *Agro-ecology cultivation and*

- uses of cactus pear*. FAO. Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, Italy. pp. 120-141.
- Carrillo, A., Cruz, A., Cáramez, A., Guevara, F., Paredes, O. 2002. Hydrolytic Activity and Ultrastructural Changes in Fruit Skins from Two Prickly Pear (*Opuntia* spp.) Varieties during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:1681-1685.
- Castellanos, E. y Yahia, E. M. 2008. Identification and Quantification of Betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:5758–5764.
- Chae Lee, J., Ryul Kim, H., Kim, J. Suk Jang, Y. 2002. Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus-indica* var. Saboten. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:6490-6496
- Corrales, J., Andrade, J., Bernabe, E. 1997. Response of Six Cultivars of Tuna Fruits To Cold Storage. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2:160-168. <http://www.jpacd.org>, accesada 20/01/2010
- Duru, B. y Turker, N. 2005. Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during Maturation. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 7:22-33. <http://www.jpacd.org>, accesada 21/01/2010
- El-Samahy, S. K., El-Hady A. A., Habiba, A. y Moussa, T. E. 2006. Chemical and Rheological Characteristics of Orange-Yellow Cactus-Pear Pulp from Egypt. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 8:39-51. <http://www.jpacd.org>, accesada 21/01/2010
- El-Samahy, S.K., Abd El-Hady, E.A., Habiba, R.A., y Moussa, T.E. 2007. Cactus pear sheet and pasteurized and sterilized cactus pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 9:136-148. <http://www.jpacd.org>, accesada 21/01/2010
- Esquivel, P. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2):215-219.
- Flores, C. A., de Luna, J. M., Ramírez, P. P. 1995. *Mercado Mundial de la Tuna*. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 1-173.
- Flores, C. A. y Corrales, J. J. 2003. *Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización*. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 1-7.
- Flores, C. A. y Gallegos, C. 1993. Situación y perspectivas de la producción de tuna en la región Centro-Norte de México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México.
- Galati, E. M., Mondello, M. R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi, S., Taviano, M. F. 2003. Chemical characterization and biological effects of sicilian *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4903-4908.
- Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, C.M., Tomaselli, F., Bonomo, R.P., y E. Rizzarelli 2000. Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:5424-5431.
- Hong, J.H. y Gross, K.C. 2001. Maintaining quality of fresh-cut tomato slices through modified atmosphere packaging and low temperatures storage. *Journal of Food Science*. 66:960-965.
- Inglese, P., Basile, F., y M. Schirra 2002. Cactus pear fruit production. En: S. Park y Nobel, (Eds). *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press. California, USA. 280p
- Jacxsens, L., Devlieghere, F. y Debevere, J. 2002. Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*. 26:59-73.
- Joubert, E. 1993. Processing of the fruit of five prickly pear cultivars grown in South Africa. *International Journal of Food Science and Technology* 28: 377-387.
- Kader, A. A. 2007. Tuna. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Postharvest technology. Research and information center.

- <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/tuna.shtml>, accesada: 01/02/2010
- Kanner, J., Harel, S., Granit, R. 2001. Betalains. A new class of dietary antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:5178-5185
- Lund, D. B. 2002. Food Engineering for the 21<sup>st</sup> Century. En: Welte, J., Barbosa, G., Aguilera, J. M. (Eds). *Engineering and food for the 21<sup>st</sup> century*. Food preservation technology series. Crc press. Boca Raton, Florida. pp 3-12.
- Mercado, J., López, M., Martínez, G., Sarahí, J., Arévalo, S. 2007. Estudio de las propiedades fisicoquímicas de las variedades de tuna roja pelón (*Opuntia ficus indica*), morada, reina (*Opuntia amyclaea*) y Xoconostle (*Opuntia matudae scheinvar*) bajo almacenamiento refrigerado. IX Congreso de ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos. Guanajuato, Gto. Mayo 31.
- Mizrahi, Y., Nerd, A., Sitrit, Y. 2002. New fruits for arid climates. En: J. Janick, A. Whipkey (eds.). *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA. pp. 378- 384.
- Moshammer, M. R., Stintzing, F. C., y Carle, R. 2006. Cactus Pear Fruits (*Opuntia* spp.): A Review of Processing Technologies and Current Uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 8:1-25. <http://www.jpacd.org> accesada 20/01/2010
- Morales, M. 1995. Efecto del etileno en el desahogado de tuna (*Opuntia* spp) y almacenamiento en atmósfera controlada. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Morris, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. *American Society for Horticultural Science*. 17:161-162.
- Piga, A., D'Aquino, S., Agabbio, M. y Schirra, M. 1996. Storage life and quality attributes of cactus pears cv "Gialla" as affected by packaging. *Agricoltura Mediterranea*. 126:423-427.
- Piga, A. 2004. Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 6:9-22. <http://www.jpacd.org> accesada 25/01/2010
- Rodríguez, F., Rivera, A., González G. A. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: González, G. A., Gardea, A., Cuamea, F. (Eds). *Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados*. Ed. Logiprint Digital, México. pp. 447-474.
- Sáenz, C. 1995. "Food manufacture and by-products". Citado en Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, E. (Eds). *Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear*. FAO. Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, Italy. pp. 137-143.
- Sáenz, C. 1996. Foods products from cactus pear. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 1:89-97. <http://www.jpacd.org> accesada 20/01/2010
- SAGARPA, 2006. Retos y perspectivas para los pequeños productores mexicanos ante la apertura comercial. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx) accesada 16/02/2010
- SAGARPA-SIAP, 2008. Anuario estadístico de la producción agrícola tuna. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx), accesada 16/02/2010
- Saltveit, M.E. y Cabrera, R.M. 1987. Tomato fruit temperature before chilling influences ripening after chilling. *American Society for Horticultural Science*. 22(3):452-454
- Sawaya, W.N., Khatchadourian, H.A., Safi, W.M., y Al-Muhammad, H.M. 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. *Journal of Food Technology*. 18:183-193.
- SIAP. 2001. Análisis agropecuario de la tuna. México. 10p. <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/tuna.html>. accesada: 25/03/2010
- Stintzing, F. C., Schieber, A., Carle, R. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*. 212:396-407.
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Moshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., Felker, P. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:442- 451.
- Tesorieri, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari M. y Livrea, M. A. 2005a. Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in

- humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:1266-1270.
- Tesoriere, L., Fazzari M., Allegra, M. y Livrea, M. A. 2005b. Biothiols, taurine, and lipid-soluble antioxidants in the edible pulp of sicilian cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits and changes of bioactive juice components upon industrial processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53:7851-7855.
- Tesoriere, L., Fazzari, M., Angileri, F., Gentile, C. y Livrea, M. A. 2008. In Vitro Digestion of Betalainic Foods. Stability and Bioaccessibility of Betaxanthins and Betacyanins and Antioxidative Potential of Food Digesta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:10487–10492
- USDA, 2009. Chemical composition of prickly pear pulp. National Nutrient Database for Standard Reference. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm>, accesada: 12/02/2010
- Wiley, R.C. 1997. Introducción a las frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas En: R.C. Wiley y J. Salguero (Eds). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Primera edición, Acribia. Zaragoza, España. pp 1-14.
- Zapata, N.y Segura, P. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: atmósferas modificadas. Cuadernos VALUE. Ediciones Mundi-prensa.Madrid-Barcelona-México..