

Revisión bibliográfica sobre algunos aspectos tecnológicos y usos alternativos de los cladodios y frutos del nopal (*Opuntia spp.*) en la alimentación humana

AURELIO DOMÍNGUEZ LÓPEZ*

Biographic check up upon some technical aspects and alternative uses of the pear cactus (nopal) on human feeding

Abstract. The main aspects concerning the use of the young stems and fruits of the prickly pear cactus (Opuntia spp.) in human food are discussed. The aspects considered include the biochemical composition of the cladodes and fruits, their postharvest behaviour and the possibilities of their industrial transformation and preservation. Feeding importance of all parts of the fruits and stems are reviewed.

Introducción

Su aptitud para efectuar el "metabolismo del ácido crasuláceo" (conocido en inglés bajo las siglas, CAM) que los capacita para absorber bióxido de carbono por la noche cuando la radiación solar es igual a cero, pero la temperatura del aire y la presión de vapor del agua atmosférica son bajas y les permite una alta eficiencia en la producción de biomasa con un bajo consumo de agua (Acevedo, *et. al.*, 1983; Brulfert, *et. al.*, 1984; García de Cortázar y Nobel, 1992 y Nobel y García de Cortázar, 1991); los diversos usos alimentarios a los cuales se destinan y su potencial para producir compuestos económicamente útiles, hacen de los nopales (*Opuntia spp.*) una alternativa agrícola y alimentaria para las zonas semiáridas del mundo.

El medio ambiente característico de este amplio grupo de plantas son las regiones subtropicales de clima seco; por ejemplo, se desarrollan bien en lugares donde la precipitación pluvial alcance los 300 mm anuales. En general, se les encuentra como un componente de la vegetación natural de estas zonas,

sobre todo en el centro y norte de México, el sur de Estados Unidos y naturalizados en las costas del Mediterráneo, en Sudáfrica (Brutsch y Zimmermann, 1993), en el suroeste de Arabia Saudita (Sawaya, *et. al.*, 1983), en algunas regiones de Sudamérica como Perú (Espinosa, *et. al.*, 1973), Chile y Brasil (Russell y Felker, 1987b) y en la India, Madagascar y Australia, principalmente. (Meyer y Mc Laughlin, 1981).

El objeto de este trabajo es presentar los principales aspectos bioquímicos, nutricionales y tecnológicos sobre el empleo de los nopales (*Opuntia spp.*) en la alimentación humana, así como de discutir, de manera general, los resultados más recientes relacionados con la búsqueda de compuestos potencialmente útiles en la industria alimentaria.

I. Empleo de los cladodios

El uso de los cladodios del nopal en la alimentación humana se circunscribe probablemente a México y en menor medida al sur de Estados Unidos (Brutsch y Zimmermann, 1993; Feitosa, *et. al.*, 1984 y Meyer y Mc Laughlin, 1981). Las especies cultivadas con este propósito o recolectadas silvestres para los mismos fines son principalmente: *O. ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. streptacantha*, *O. megacantha*, *O. jocosostle*, *O. leucotricha*, *O. lasyacantha*, *O. robusta* y *O. inermis*, todas comúnmente llamadas "nopalitas" o "nopal verdura" (Bravo, 1978; Granados y Castañeda, 1991 y Meyer y Mc Laughlin, 1981). Los criterios de selección o preferencia de un cultivar y la determinación del momento de cosecha de los

* Profesor de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.

cladodios tiernos dependen de parámetros tales como su contenido de agua, de fibras y de mucílagos, su acidez y la cantidad de espinas en la epidermis. Los límites de estos atributos se establecen comúnmente de manera cualitativa y no cuantitativa (Cantwell, *et. al.*, 1992 y Granados y Castañeda, 1991).

En algunas ocasiones esta verdura es utilizada dentro de la dieta cotidiana para controlar ciertas alteraciones metabólicas como la diabetes o el exceso de colesterol en la sangre. Al respecto, la especie *O. streptacantha* ha sido clasificada como una de las plantas que producen efectos hipoglucemiantes en el organismo humano, pero cuyo principio activo no ha sido aún determinado (Bailey y Day, 1989 e Ivorra, *et. al.*, 1989). Así, en conejos con diabetes experimental, la administración oral del cladodio integral molido ha producido efectos hipoglucemiantes significativos con una duración de 4 a 5 horas (Ibañez, 1978 e Ibañez y Román, 1979). El consumo de nopales de *Opuntia spp.* provoca disminuciones de la glucemia de hasta 22% en relación con los valores iniciales en personas diabéticas y obesas (Fрати, *et. al.*, 1983a), y en menor intensidad en individuos sanos (Fрати, *et. al.*, 1983b). Recientemente se ha propuesto que dichos efectos se deben probablemente a la interferencia de la absorción intestinal de la glucosa causada por las fibras y mucílagos de esta hortaliza (Fрати, *et. al.*, 1987; Goulder, *et. al.*, 1979 y Periago, *et. al.*, 1993).

Por otra parte, en estudios llevados a cabo en conejos sanos a los cuales se les ha administrado oralmente una cantidad determinada de *O. streptacantha*, se han observado disminuciones de hasta 29% en el nivel de triglicéridos de la sangre de estos animales (Ibañez y Meckes, 1983) y en el caso del hombre, una dieta especial que incluya esta hortaliza, causa una decremento significativo del colesterol en la sangre de pacientes sanos, diabéticos u obesos, así como una disminución en el peso corporal de estos últimos (Fрати, *et. al.*, 1983a).

II. Comportamiento poscosecha de los cladodios

La cosecha de los nopales se realiza manualmente después del mediodía cuando su contenido en ácidos decrece (Cantwell, *et. al.*, 1992). Su comercialización debe realizarse rápidamente debido a que su periodo de conservación oscila entre ocho y quince días en condiciones ambientales (Barbera, 1991 y Granados y Castañeda, 1991). La temperatura crítica de almacenamiento de esta hortaliza es de 10°C; a medida que ésta disminuye, la calidad de los nopales se ve afectada por daños debido al frío y conforme

ésta se incrementa sobre el límite mencionado, aumentan los riesgos por alteraciones microbianas. A 10°C se logra una conservación adecuada por aproximadamente 30 días (Ramayo, *et. al.*, 1978).

Los cladodios tiernos conservan por lo menos tres semanas sus características visuales de brillantez y color almacenados a alta humedad relativa (90-95%) y a temperaturas entre 5 y 10°C; sin embargo, en cuanto a la acidez, su comportamiento refleja la activación del metabolismo CAM. Durante el almacenamiento se pueden observar fluctuaciones diurnas en su contenido de ácido: un aumento global a una temperatura de conservación de 5°C durante la primera semana inmediata a la cosecha y una disminución o estabilización a medida que se prolonga el periodo de almacenamiento. No obstante, este comportamiento depende de factores tales como la hora de cosecha, la edad del cladodio y la temperatura de conservación (Cantwell, *et. al.*, 1992).

III. Características bioquímicas de los cladodios del nopal

Las raquetas tiernas de *O. ficus-indica* contienen una gran cantidad de agua (de 91 a 95.5%) y una baja proporción de nutrientes, como puede observarse en el cuadro 1. El valor biológico de su proteína es de 72.6% respecto a la del huevo de gallina (Feitosa, *et. al.*, 1984) y sus cenizas están compuestas principalmente de potasio, calcio y magnesio (Akrimi y Zaafouri, 1990; Barbera, 1991; Bravo y Piña, 1979 y Retamal, *et. al.*, 1987a). La proporción de sólidos totales de esta hortaliza aumenta con la madurez, y su contenido en fibra, ácido y mucílagos llega a ser tal que resulta poco atractiva para el consumo humano y generalmente es destinada a la alimentación del ganado o se utiliza como materia orgánica para la misma plantación (Granados y Castañeda, 1991; Retamal, *et. al.*, 1987a y Russell y Felker, 1987b).

CUADRO 1

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS CLADODIOS TIERNOS DEL NOPAL (*O. FICUS-INDICA*)
VALORES MEDIOS POR CADA 100 GRAMOS DE MATERIA SECA

COMPUESTO	PORCENTAJE
PROTEÍNA (Nx6.25)	5.3-14.8
EXTRACTO ETÉREO	1.2-3.5
FIBRA CRUDA	1.2-12.7
CENIZAS	18.0-29.8
CARBOHIDRATOS	23.0-70.0
AZÚCARES REDUCTORES	4.0-6.5

FUENTE: AKRIMI Y ZAAFURI, 1990; BARBERA, 1991; BRAVO Y PIÑA, 1979 Y RETAMAL, *ET. AL.*, 1987A.

En relación con el contenido de mucílagos es importante mencionar que se trata de un complejo de polisacáridos de estructura y propiedades variables parecido a las pectinas (Paulsen y Lund, 1979 y Trachtenberg y Mayer, 1981b) y que en algunas especies del género *Opuntia* se encuentra en cantidades considerables, como en el caso de la especie *O. basilaris* que contiene un promedio de 19% (en base seca) y de *O. acanthocarpa* que alcanza 26% (Nobel, *et. al.*, 1992). Los monómeros que lo forman son, en la especie *O. ficus-indica*, arabinosa (42% del peso seco de los mucílagos), galactosa (21%), ácido galacturónico (8%), ramnosa (7%) y xilosa (22%), aunque se ha encontrado también hasta 19.5% de ácidos urónicos en general. La masa molecular de estas sustancias es de 4.3×10^6 y su aumento de peso por absorción de agua en un ambiente a 100% de humedad relativa llega a ser de 1.75 veces el peso inicial (Nobel, *et. al.*, 1992; Paulsen y Lund, 1979; Trachtenberg y Mayer, 1981a y Trachtenberg y Mayer, 1981b). Estos datos sugieren el estudio de las características reológicas y las posibles aplicaciones alimentarias de tales compuestos.

Otros estudios muestran que las glóquidas o "ahuates" del género *Opuntia*, se componen exclusivamente de celulosa cristalina (Pritchard y Hall, 1976).

IV. Transformación de los cladodios del nopal

Tradicionalmente el consumo de los cladodios tiernos del nopal se realiza en estado fresco. Los aspectos de industrialización o desarrollo de nuevos productos a partir de esta verdura han sido poco estudiados, a diferencia de aquellos relacionados con la tuna, y los pocos resultados que se han obtenido al respecto no tienen una difusión adecuada. En México los productos comerciales más conocidos son los nopales en salmuera enlatados y las cápsulas o comprimidos de nopal deshidratado y molido, destinados a personas diabéticas o con un régimen dietético especial. Algunas alternativas que se han propuesto son la elaboración de jaleas, productos confitados o mermeladas de nopal; la transformación de la materia seca de los cladodios en biomasa microbiana o en etanol a partir de una hidrólisis enzimática de la fibra y almidones que contienen y de la fermentación de los azúcares producidos y el uso de sus mucílagos como soporte o fijador natural de pinturas (Barbera, 1991; Bravo, 1978; Granados y Castañeda, 1991; Retamal, *et. al.*, 1987a; Retamal, *et. al.*, 1987b y Russell y Felker, 1987a).

V. Empleo de las tunas en la alimentación humana

1. Cosecha, acondicionamiento y conservación

La cosecha de tuna se realiza manualmente, la capacidad de un trabajador oscila entre 100 y 150 kg por día. Para llevar a cabo esta actividad existen dos tipos de prácticas esencialmente diferentes. La primera consiste en desprender el fruto de la planta provocándole un giro mayor de 90° a fin de evitar el desgarramiento de su epidermis. Los estudios tecnológicos muestran que tal giro es un par no mayor de 1 Nm (Newton-metro) alrededor de su eje longitudinal (Brutsch y Zimmermann, 1993 y Lara, 1993). En la segunda, la tuna se corta junto con una parte del cladodio al cual se encuentra adherida; de esta manera se incrementa considerablemente la conservación poscosecha debido a que no se le daña y la porción de raqueta impide la deshidratación o alteración de la misma.

Bajo los principios de torsión y corte se han diseñado herramientas que aumentan la seguridad y capacidad del trabajador en el momento de la cosecha. En general, una máquina manual que arranca el fruto por torsión es más eficiente que una diseñada para cortar las tunas, sin embargo, esta última les provoca menores daños (Lara, 1993).

Durante el ciclo de crecimiento de la tuna ocurre un conjunto de fenómenos fisicoquímicos que permiten definir algunos índices de cosecha prácticos y confiables. Entre ellos destacan: el aumento progresivo de la relación peso de la pulpa-peso del pericarpio (en la especie *O. amyclaea* llega a ser de 1.68); la acumulación de azúcares, que tiene lugar en las cuatro últimas semanas de desarrollo del fruto; el aumento en sólidos solubles; la disminución de la acidez titulable; el aumento en ácido ascórbico; el incremento en el peso seco de las semillas; el grosor del pericarpio; la gravedad específica (los frutos con una gravedad específica mayor que 1, indicativo del estado inicial de madurez, se sumergen en el agua, mientras que aquellos con una gravedad específica menor a 1, flotan) y la firmeza del fruto (de 4.4 a 5.9×10^5 N/m² de resistencia a la penetración) (Barbera, *et. al.*, 1992; Kuti, 1992 y Lakshminarayana, *et. al.*, 1979).

La eliminación de las espinas es una operación de acondicionamiento para la comercialización de las tunas; generalmente se realiza de forma manual utilizando cepillos, escobas o fibras diversas, aunque algunos autores sostienen que esta forma de limpieza provoca microlesiones en el pericarpio del fruto y,

CUADRO 2

**ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS PARTES CONSTITUYENTES DE LA TUNA
(VALORES MEDIOS ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR POR CADA 100 GRAMOS
DE MATERIA HÚMEDA)**

COMPUESTO	PARTES DEL FRUTO		
	PULPA	CÁSCARA	SEMILLA
HUMEDAD	84.66 ± 2.49	87.33 ± 0.47	5.01
PROTEÍNA (Nx6.25)	0.53 ± 0.27	0.43 ± 0.08	8.01 ± 3.13
EXTRACTO ETÉREO	0.20 ± 0.17	0.39	10.03 ± 0.91
FIBRA CRUDA	0.54 ± 0.73	1.28 ± 0.01	36.00 ± 8.08
CENIZAS	0.43 ± 0.02	1.16 ± 0.76	1.05 ± 0.67
CARBOHIDRATOS	12.89 ± 2.35	4.57 ± 0.42	28.41 ± 0.1
PECTINAS	0.19 ± 0.01	-	-
CAROTENOS			
(MGB-CAROTENO)	0.53 ± 0.00	-	-
ENERGÍA (KCAL)	44.15 ± 3.65	-	-
VITAMINA C (MG)	19.83 ± 3.5	-	-
TIAMINA (MG)	.01	-	-
RIBOFLAVINA (MG)	0.06	-	-
NIACINA (MG)	0.46	-	-
CA (MG)	24.55 ± 20.39	-	-
MG (MG)	20.07 ± 5.4	-	-
MN (MG)	0.8	-	-
NA (MG)	0.70 ± 0.08	-	-
K (MG)	169.33 ± 36.00	-	-
P (MG)	21.03 ± 8.32	-	-
FE (MG)	0.67 ± 0.60	-	-
ZN (MG)	0.40	-	-
Cu (MG)	0.10	-	-

FUENTE: EWAI DAH Y HASSAN, 1992; GRANADOS Y CASTAÑEDA, 1991; LERCKER, ET. AL., 1976; SALUNKHE, ET. AL., 1991; SAWAYA, ET. AL., 1983 Y SEPÚLVEDA Y SÁENZ, 1990.

CUADRO 3

**CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA Y CÁSCARA DE LA TUNA
(VALORES MEDIOS ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR)**

	PULPA	CÁSCARA
PH	6.04 ± 0.34	5.52 ± 0.14
ACIDEZ (% ÁCIDO CÍTRICO)	0.06 ± 0.05	0.17
SÓLIDOS SOLUBLES (*Bx a 20°C)	13.87 ± 1.34	9.96 ± 2.36
VISCOSIDAD (M PA S)	129.45 ± 55.6	-
GLUCOSA (G/100G MATERIA HÚMEDA)	7.19 ± 1.07	2.27 ± 1.36
FRUCTOSA (G/100G MATERIA HÚMEDA)	6.15 ± 1.86	1.80 ± 1.12
SACAROSA (G/100G MATERIA HÚMEDA)	0.08 ± 0.08	0.32 ± 0.18
GLUCOSA/FRUCTOSA	1.23 ± 0.23	1.37 ± 0.57

FUENTE: CRIVELLI Y NANI, 1993; EWAI DAH Y HASSAN, 1992; JOUBERT, 1993; LAKSMINARAYANA, ET. AL., 1979; RUSSELL Y FELKER, 1987A; SAWAYA, ET. AL., 1983 Y SEPÚLVEDA Y SÁENZ, 1990.

por lo tanto, una disminución en su calidad comercial (Barbera, *et. al.*, 1988 y Gorini, *et. al.*, 1993). Una alternativa, es el lavado con agua antes del empaquetado.

Las tunas se comportan como un fruto no climatérico. Durante 15 días de almacenamiento a las condiciones ambientales, éstas manifiestan una pérdida significativa de sólidos solubles, acidez y azúcares totales. Sin embargo, y fuera de este comportamiento son frutos que tienen la cualidad de sintetizar ácido

ascórbico en este periodo (Lakshminayarana, *et. al.*, 1979).

Los frutos cosechados al inicio de la madurez resisten más los daños por frío y el ataque microbiológico y desarrollan ampliamente sus características organolépticas y comerciales que aquellos cosechados en completa madurez o al contrario, muy verdes. Su temperatura crítica de almacenamiento varía entre 5 y 8°C. Bajo un régimen térmico cíclico (2°C durante dos semanas y 8°C durante una semana) se produce un incremento en la síntesis de ácido ascórbico y los daños por frío disminuyen significativamente al igual que el ataque de microorganismos (el uso de antisépticos como el Bemonyl, el Captano o el Vinclozolin no tienen un efecto evidente), pudiéndose conservar por aproximadamente 60 días. De la misma manera, una atmósfera controlada (5°C, 2% de O₂ y 2-5% de CO₂) permite la conservación de las características típicas de dureza, acidez y dulzor del fruto por más de dos meses (Barbera, *et. al.*, 1993; Chessa y Barbera, 1984; Gorini, *et. al.*, 1993 y Lakshminayarana y Estrella, 1978).

2. Características bioquímicas y organolépticas de la tuna

El fruto maduro del nopal puede desagregarse, atendiendo al modo de consumo tradicional del mismo, en pericarpio, pulpa y semillas. El porcentaje de cada una de estas fracciones depende básicamente de la especie, pero en general oscila de 40 a 52%, 30 a 57% y 7 a 10%, respectivamente (Granados y Castañeda, 1991; Lercker, *et. al.*, 1976; Piña, 1970; Russell y Felker, 1987a; Sawaya, *et. al.*, 1983 y Sepúlveda y Sáenz, 1990). El cuadro 2 muestra el análisis bromatológico de cada una de estas partes y, como podrá observarse, la composición química de la pulpa de tuna es parecida a la de muchos otros frutos: es pobre en proteína, rica en azúcares y contiene una cantidad considerable de vitamina C y de minerales como el potasio y el fósforo.

El cuadro 3 muestra un conjunto de índices que permiten definir la forma de conservación o transformación industrial de las tunas. Así, la baja acidez y el pH cercano a la neutralidad, indican un tratamiento térmico especial para la conservación de la pulpa; su viscosidad intermedia está ligada al tipo de producto que se pretenda obtener: jugo néctar o pastas tipo mermelada, jalea, etcétera; la semejanza entre las características de la pulpa y de la cáscara indicaría la posibilidad de utilización íntegra de los frutos.

La preferencia de la tuna por un conjunto de consumidores determinado se ubica en un nivel de 6 a 7.6 en la escala de 1 a 9 (Russell y Felker, 1987a y

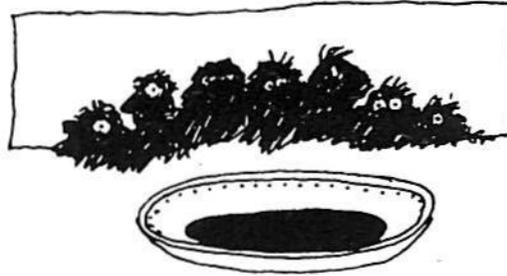
Sepúlveda y Sáenz, 1990). El aroma, uno de los atributos directamente ligado a las propiedades organolépticas de este fruto, ha sido estudiado de manera precisa y se han reportado las cantidades y tipos de constituyentes volátiles de diversas variedades de frutos de la especie *O. ficus-indica*. Se ha encontrado que los principales componentes son los alcoholes (etanol y hexanol), aldehídos y cetonas (Di Cesare y Nani, 1992), y que entre los compuestos típicos se encuentran el 1-nonanol, varios nonen-1-oles, los nonadien-1-oles y el 2-nonenal (Flath y Takahashi, 1978). Las fluctuaciones en la concentración de estos compuestos en este fruto se deben a las condiciones climáticas, al modo de extracción del jugo para el análisis, a las características de almacenamiento y al estado de madurez del mismo (Di Cesare, *et. al.*, 1993).

Otro de los atributos sensoriales de la tuna es su color. Los compuestos responsables del mismo, pertenecen a un grupo de pigmentos nitrogenados, hidrosolubles, derivados del ácido betalámico, llamados betalainas. El color rojo está determinado por las betacianinas, principalmente la betanina y sus derivados, y el color amarillo-naranja por las betaxantinas, la indicaxantina, la neobetanina y el ácido betalámico (Impellizzeri y Piattelli, 1972; Lea, 1988; Strack, *et. al.*, 1987 y Valadez, *et. al.*, 1979). Por ejemplo, en un estudio de los pigmentos de un cultivar italiano llamado "sanguigno", de la especie *O. ficus-indica* se reportaron cantidades de 40 mg de colorantes rojo-violeta (betanina e isobetanina) y 14 mg de colorantes amarillo-naranja (indicaxantina y otro glucósido betalámico) por cada 100g de pulpa húmeda (Forni, *et. al.*, 1992).

3. Transformación e industrialización de la tuna

Con el objeto de valorizar la producción agrícola de la tuna y de proponer nuevas formas de consumo de estos frutos, se han desarrollado diversas técnicas de conservación y de transformación que se incorporan a las formas tradicionales de industrialización, las cuales han sido descritas y reportadas por varios autores (Barbera, 1991; Bravo y Piña, 1979; Granados y Castañeda, 1991; Meyer y Mc Laughlin, 1981 y Russell y Felker, 1987a).

Las técnicas de transformación tradicional de la tuna se practican básicamente en México. Entre las más importantes cabe mencionar la elaboración de "queso de tuna", que es una pasta endurecida obtenida por la ebullición de la pulpa filtrada del fruto de la especie *O. streptacantha* hasta la máxima concentración (*sic*) (de 70 a 80°Bx); el "colonche", bebida fermentada de bajo contenido alcohólico; la "miel de tuna", jarabe obtenido por la concentra-



ción del jugo; la "melcocha", una especie de mermelada; las "tunas pasas" o frutos secos. De especial importancia es la elaboración de "queso de biznaga" y "queso de conserva" actualmente productos muy raros porque se trata de dos formas de pasta obtenidas a partir de la mezcla de la pulpa de tunas de la especie *O. streptacantha* y de biznagas (*Ferocactus histrix* y *Echinocactus platyacanthus*), otro tipo de cactus (Del Castillo y Trujillo, 1991).

Entre las principales formas de conservación y transformación actuales se ha propuesto la elaboración de tunas enlatadas, jugos, jaleas y mermeladas, pasta de tuna, tunas congeladas deshidratadas y vino de tuna, con más o menos buenos resultados. Productos con características más atractivas al consumidor han sido por ejemplo, una jalea aromatizada a la naranja, uva o almendra y acidificada a base de ácido cítrico y tartárico; la combinación de la tuna con otros frutos tales como la fruta de la pasión, la guayaba o la piña para la elaboración de jugos y el aporte natural de ácido; y la deshidratación de la pulpa aromatizada con las especias, acidificada con ácido cítrico y azucarada con sacarosa para producir una pasta cortable.

Siguiendo la línea industrial clásica, se ha encontrado que el pelado de los frutos a base de ebullición y NaOH 18% (m/v), es poco eficiente porque el pericarpio se remueve parcialmente y la sosa ataca la parte comestible; el escaldado del fruto no tiene efectos significativos sobre las características sensoriales de los productos obtenidos; la pulpa tiene un aroma y sabor muy delicado que no resiste un tratamiento térmico prolongado; el proceso de esterilización provoca pérdidas en la textura, color y sabor, aunque la adición de 0.25% de CaCl₂ en el jarabe de soporte aumenta la firmeza de los frutos (Crivelli y Nani, 1993; Ewaidah y Hassan, 1992; Joubert, 1993; Paredes y Rojo, 1973; Sawaya, *et. al.*, 1983 y Villareal, *et. al.*, 1964).

Otras alternativas han sido la producción de etanol por medio de la fermentación, aprovechando los azúcares del fruto (a nivel experimental se ha obtenido un rendimiento de 5.45 ml por cada 100 ml de

jugo integral, utilizando una cepa comercial de *S. cerevisiae* (Retamal, *et. al.*, 1987b), y la obtención de colorantes. Al respecto es importante hacer notar que entre los colorantes naturales aceptados por la Comunidad Económica Europea está el "rojo de remolacha" (clasificado con el código E162), producto en polvo obtenido por la deshidratación de la remolacha de mesa (*Beta vulgaris*); su composición es básicamente betacianinas y su concentración va de 30 a 100 mg de pigmento por 100g de materia húmeda, encontrándose en promedio 74.5mg (Sapers y Hornstein, 1979 y Von-Elbe, *et. al.*, 1981). Los pigmentos de la tuna son semejantes y la concentración encontrada en algunas especies rojas se encuentra, como ya se vio, dentro del rango que presenta la remolacha. Esto sugiere el estudio del potencial de algunas especies o cultivos de tunas como fuente de colorantes alimentarios.

Actualmente se conocen bien las características y comportamiento de las betalainas en general y, específicamente, de los pigmentos de la tuna se ha estudiado la influencia de la temperatura, el pH y el

tiempo de almacenamiento sobre la estabilidad de este tipo de colorantes. Por ejemplo, se sabe que el pH de mayor estabilidad es entre 4 y 5, que entre más concentrado se encuentre el pigmento se deteriora menos bajo un tratamiento térmico y que durante el almacenamiento hay una tendencia al aumento del color rojo. (En realidad las betalainas después de ser hidrolizadas térmicamente tienen cierta capacidad de regenerarse durante un determinado periodo de almacenamiento) (Forni, *et. al.* 1992; Merin, *et. al.*, 1987; Sáenz, *et. al.*, 1993; Saguy, 1979; Valadez, *et. al.*, 1979 y Von-Elbe, *et. al.*, 1981).

Otra alternativa en proceso de estudio es la extracción y caracterización a nivel industrial de la enzima invertasa β -fructofuranosidasa, glicoproteína formada por 510 a 512 residuos de aminoácidos, de masa molar de aproximadamente 54,000, con un pH de mayor estabilidad entre 5 y 7 y cuya inactivación térmica comienza a 58°C (Ghrir y Ellouz, 1987; Kuti y Galloway, 1994 y Ouelhazi, *et. al.*, 1992). ♦

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E.; Badilla, I. y Nobel, P. (1983). "Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*", *Plant Physiol.* Vol. 72, No. 3, pp. 775-780.
- Akrimi, N. y Zaafouri, M. (1990). "Étude des arbustes fourragères les plus couramment utilisés dans la mise en valeur des régions arides tunisiennes", *Revue des Régions Arides.* Vol. 1, pp. 3-83.
- Bailey, C. y Day, C. (1989). "Traditional plant medicines as treatments for diabetes", *Diabetes Care.* Vol. 12, No. 8, pp. 553-564.
- Barbera, G.
 ____ (1991). "Utilizzazione economica delle opunzie in Messico", *Rivista di Frutticoltura.* Vol. 53, No. 2, pp. 41-48.
- ____ Aggabio, M.; Carimi, F.; Chessa, I.; D'Hallewin, G.; Forni, E.; Gorini, F.; Inglese, P.; Martelli, S.; Mulas, M.; Nieddu, G.; Polese, A.; Schirra, M.; Scopelliti, G. y Spano, D. (1993). "Fico d'India (*Opuntia ficus-indica* Mill.)", *L'Informatore Agrario.* Vol. 1, pp. 52-56.
- ____ Carimi, F. y Inglese, P. (1988). "La coltura del ficodindia e possibili indirizzi produttivi", *Rivista di Frutticoltura.* Vol. 50, No. 10, pp. 37-43.
- ____ Carimi, F.; Inglese, P. y Panno, M. (1992). "Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller", *J. Hort. Sci.* Vol. 67, No. 3, pp. 307-312.
- Bravo, H.
 ____ (1978). *Las cactáceas de México. Vol. 1.* Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- ____ y Piña, I. (1979). "Algunos aspectos sobre la industrialización de los nopales", *Cact. Suc. Mex.* Vol. 24, pp. 27-31.
- Brulfert, J.; Guerrier, D. y Queiroz, O. (1984). "Rôle de la photopériode dans l'adaptation à la sécheresse: cas d'une plante à métabolisme crassulacéen, l'*Opuntia ficus-indica* Mill", *Bull. Soc. bot. Fr. Actualités Botaniques.* Vol. 131, No. 1, pp. 69-77.
- Brutsch, M. y Zimmermann, H. (1993). "The prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (cactaceae)] in South Africa: utilization of the naturalized weed, and of the cultivated plants", *Economic Botany.* Vol. 47, No. 2, pp. 154-162.
- Cantwell, M.; Rodríguez, A. y Robles, F. (1992). "Postharvest physiology of prickly pear cactus stems", *Scientia Hort.* Vol. 50, No. 1-2, pp. 1-9.
- Chessa, I. y Barbera, G. (1984). "Indagine sulla frigoconservazione dei frutti della cv gialla di ficodindia", *Rivista di Frutticoltura.* Vol. 46, No. 8, pp. 57-61.
- Crivelli, G. y Nani, R. (1993). "Utilizzazione industriale della frutta tropicale e subtropicale", *L'Informatore Agrario.* Vol. 49, No. 1, pp. 93-96.
- Del Castillo, R. y Trujillo, S. (1991). "Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (cactaceae) in the semi-arid central Mexico: past, present and future", *Economic Botany.* Vol. 45, No. 4, pp. 495-502.
- Di Cesare, L.
 ____ y Nani, R. (1992). "Analysis of volatile constituents of prickly pear juice (*Opuntia ficus-indica* var. *Fructa sanguinea*). *Fruit Processing.* 2 (1):6-8". In: *Flüssiges Obst.* Vol. 59, No. 1, pp. 12-14.

- ____ Testoni, A. y Sansovini, G. (1993). "Studio dei componenti volatili del fico d'India durante la conservazione in atmosfera normale e controllata", *Industrie Alimentari*. Vol. 32, No. 7-8, pp. 725-733.
- Espinosa, A.; Borrocal, A.; Jara, M.; Zorrilla, G.; Zanabria, P. y Medina, T. (1973). "Quelques propriétés et essais préliminaires de conservation des fruits et du jus de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*)", *Fruits*. Vol. 28, No. 4, pp. 285-289.
- Ewaidah, E. y Hassan, B. (1992). "Prickly pear sheets: a new fruit product", *J. Food Sci. Technol.* Vol. 27, No. 3, pp. 353-358.
- Feitosa, F.; Warren, J.; Brown, W. y Whiting, F. (1984). "Amino and organic acids of the prickly pear cactus (*Opuntia ficus indica* L.)", *J. Sci. Food Agric.* Vol. 35, No. 4, pp. 421-425.
- Flath, R. y Takahashi, J. (1978). "Volatile constituents of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* Mill., de Castilla Variety)", *J. Agric. Food Chem.* Vol. 26, No. 4, pp. 835-837.
- Forni, E.; Polesello, A.; Montefiori, D. y Maestrelli, A. (1992). "High-performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)", *J. of Chromatography*. Vol. 593, No. 1-2, pp. 177-183.
- Frati, A.
- ____ Fernández, J.; Bañales, M. y Ariza, C. (1983b). "Disminución de glucosa e insulina sanguíneas por nopal (*Opuntia Spp.*)", *Arch. Invest. Méd. (Méx.)*. Vol. 14, No. 3, pp. 269-274.
- ____ Fernández, J.; De la Riva, H.; Ariza, R. y Torres, M. (1983a). "Efecto del nopal (*Opuntia spp.*) sobre los lípidos séricos, la glucemia y el peso corporal", *Arch. Invest. Méd. (Méx.)*. Vol. 14, No. 2, pp. 117-125.
- ____ Yeber, A.; Islas, S.; Ariza, C. y Chávez, A. (1987). "Estudios sobre el mecanismo de la acción "hipoglucemiante" del nopal (*Opuntia spp.*)", *Arch. Invest. Méd. (Méx.)*. Vol. 18, No. 1, pp. 7-12.
- García de Cortázar, V. y Nobel, P. (1992). "Biomass and Fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*", *J. Am. Soc. Hort. Sci.* Vol. 117, No. 4, pp. 558-562.
- Ghrir, R. y Ellouz, R. (1987). "Purification partielle et propriétés de l'invertase d'*Opuntia ficus-indica*", *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. Serie 3: Sciences de la Vie*. Vol. 304, No. 20, pp. 489-492.
- Gorini, F.; Testoni, A.; Cazzola, R.; Lovati, F.; Bianco, M.; Chessa, I.; Schirra, M.; Budroni, M. y Barbera, G. (1993). "Aspetti tecnologici: conservazione e qualità di fico d'India ed avocado", *L'Informatore Agrario*. Vol. 1, pp. 89-92.
- Goulder, T., Williams, D. y James, W. (1979). "Guar and diabetes", *The Lancet*. Vol. 17, No. 3, (IAN MUNRD Editeur), pp. 612.
- Granados, D. y Castañeda, A. (1991). *El nopal*. Trillas.
- Ibañez, R.
- ____ (1978). "Nopal (*Opuntia spp.*)", *Medicina Tradicional*. Vol. 1, No. 40, pp. 1-4.
- ____ y Meckes, M. (1983). "Efecto de un producto semipurificado obtenido de *Opuntia streptacantha* L. (nopal) sobre la glucemia y la trigliceridemia del conejo", *Arch. Invest. Méd. (Méx.)*. Vol. 14, No. 4, pp. 437-443.
- ____ y Román, R. (1979). "Efecto hipoglucemiante del nopal", *Arch. Invest. Méd. (Méx.)*. Vol. 10, No. 4, pp. 223-230.
- Impellizzeri, G. y Piattelli, M. (1972). "Biosynthesis of indicaxanthin in *Opuntia ficus-indica* fruits", *Phytochemistry*. Vol. 11, No. 8, pp. 2499-2502.
- Ivorra, M.; Paya, M. y Villar, A. (1989). "A review of natural products and plants as a potential antidiabetic drugs", *J. of Ethnopharmacology*. Vol. 13, pp. 243-275.
- Joubert, E. (1993). "Processing of the fruit of five prickly pear cultivars grown in South Africa", *J. Food Sci. Technol.* Vol. 28, No. 4, pp. 377-387.
- Kuti, J.
- ____ (1992). "Growth and compositional changes during the development of prickly pear fruit", *J. Hort. Sci.* Vol. 67, No. 6, pp. 861-868.
- ____ y Galloway, C. (1994). "Sugar composition and invertase activity in prickly pear fruit", *J. Food Sci.* Vol. 59, No. 2, pp. 387-388.
- Lakshminarayana, S.
- ____ Alvarado y Sosa, L. y Barrientos, F. (1979). "The development and postharvest physiology of the fruit of prickly pear (*Opuntia amyclaea* tenore)", *In: Tropical Food: Chemistry and Nutrition*. Vol. 1. Edited by Inglett, G. E. and Charalambous, G. Academic Press.
- ____ y Estrella, I. (1978). "Postharvest respiratory behaviour of tuna (prickly pear) fruit (*Opuntia robusta* Mill.)", *J. Hort. Sci.* Vol. 53, pp. 327-330.
- Lara, A. (1993). "Herramientas para cosecha de tunas (higos chumbos)", *Máquinas y Tractores Agrícolas*. Vol. 4, No. 6, pp. 68-70.
- Lea, A. (1988). "HPLC of natural pigments in foodstuffs. In: MA-CRAE, R. 1988", *HPLC in Food Analysis*. Academic Press.
- Lercker, G.; Leric, C. y Capella, P. (1976). "Caratteri chimici del fico d'India (Cactus *Opuntia*). 1: carboidrati e lipidi del frutto", *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. Vol. 53, No. 10, pp. 250-254.
- Merin, U.; Gagel, S.; Popel, G.; Bernstein, S. y Rosenthal, I. (1987). "Thermal degradation kinetics of prickly-pear-fruit red pigment", *J. Food Sci.* Vol. 52, No. 2, pp. 485-486.
- Meyer, B. y Mc Laughlin, J. (1981). "Economic uses of *Opuntia*", *Cact. Suc. J.* Vol. 53, pp. 107-112.
- Nobel, P.
- ____ Cavelier, J. y Andrade, J. (1992). "Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations", *J. of Experimental Botany*. Vol. 43, No. 250, pp. 641-648.
- ____ y García de Cortázar, V. (1991). "Growth and predicted productivity of *Opuntia ficus-indica* for current and elevated carbon dioxide", *Agron. J.* Vol. 83, No. 2, pp. 224-230.
- Ouelhazi, N.; Ghrir, R.; Diep Le, K. y Lederer, F. (1992). "Invertase from *Opuntia ficus-indica* fruits", *Phytochemistry*. Vol. 31, No. 1, pp. 59-61.
- Paredes, O. y Rojo, B. (1973). "Estudio para el enlatado de jugo de tuna", *Tecnología de Alimentos. (Méx.)*. Vol. 8, pp. 237-243.
- Paulsen, B. y Lund, P. (1979). "Water-soluble polysaccharides of *Opuntia ficus-indica* cv. "burbank's spineless", *Phytochemistry*. Vol. 18, No. 4, pp. 569-571.
- Periago, M.; Ros, G.; López, G.; Martínez, M. y Rincón, F. (1993). "Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos", *Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.* Vol. 33, No. 3, pp. 229-246.
- Piña, I. (1970). "Región productora de tuna en el Estado de Zacatecas", *Cact. Suc. Mex.* Vol. 55, pp. 64-72.

- Pritchard, H. y Hall, J. (1976). "The chemical composition of glochids from *Opuntia*", *Can. J. Bot.* Vol. 54, No. 1-2, pp. 173-176.
- Ramayo, L.; Saucedo, C. y Lakshminarayana, S. (1978). "Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) por refrigeración", *Chapingo, Nueva Epoca.* Vol. 10, pp. 30-32.
- Retamal, N. Durán, J. y Fernández, J.
 ____ (1987a). "Seasonal variations of chemical composition in prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]", *J. Sci. Food Agric.* Vol. 38, No. 4, pp. 303-311.
 ____ (1987b). "Ethanol production by fermentation of fruits and cladodes of prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]", *J. Sci. Food Agric.* Vol. 40, No. 3, pp. 213-218.
- Russell, Ch. y Felker, P.
 ____ (1987a). "The prickly-pears (*Opuntia spp.*, Cactaceae). A source of human and animal food in semiarid regions", *Economic Botany.* Vol. 41, No. 3, pp. 433-445.
 ____ (1987b). "Comparative cold-hardiness of *Opuntia spp.* and cvs grown for fruit, vegetable and fodder production", *J. Hort. Sci.* Vol. 62, No. 4, 545-550.
- Sáenz, C.; Sepúlveda, E.; Araya, E. y Calvo, C. (1993). "Colour changes in concentrated juices of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) during storage at different temperatures", *Lebensm.-Wiss. Technol.* Vol. 26, No. 5, pp. 417-421.
- Saguy, I. (1979). "Thermostability of red beet pigments (betanine and vulgaxanthin-I): influence of pH and temperature", *J. Food Sci.* Vol. 44, No. 5, pp. 1554-1555.
- Salunkhe, D.; Bolin, H. y Reddy, N. (1991). *Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables.* 2nd Edition. Vol II. *Processed Fruits and Vegetables.* CRC Press. Boca Raton, Florida, pp. 181-183.
- Sapers, G. y Homstein, J. (1979). "Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments", *J. Food Sci.* Vol. 44, No. 4, pp. 1245-1248.
- Sawaya, W.; Khatchadourian, H.; Safi, W. y Al-Muhammad, H. (1983). "Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam", *J. Fd. Technol.* Vol. 18, No. 2, pp. 183-193.
- Sepúlveda, E. y Sáenz, C. (1990). "Nota. Características químicas y físicas de pulpa de tuna (*Opuntia ficus-indica*)", *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* Vol. 30, No. 4, pp. 551-555.
- Strack, D.; Engel, U. y Wray, V. (1987). "Neobetanin: a new natural plant constituent", *Phytochemistry.* Vol. 26, No. 8, pp. 2399-2400.
- Trachtenberg, S. y Mayer, A.
 ____ (1981a). "Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage", *Phytochemistry.* Vol. 20, pp. 2665-2668.
 ____ (1981b). "A stereological analysis of the succulent tissue of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill", *J. of Experimental Botany.* Vol. 32, No. 130, pp. 1091-1103.
- Valadez, V.; Valadez, A. y Chatelain, S. (1979). "Pigmentos de la tuna cardona como posibles colorantes alimentarios", *Fruticultura Mexicana.* Vol. 15, No. 1, pp. 18-32.
- Villarreal, F.; De Alva, B. y Ramos, G. (1964). "Estudio químico sobre jugos de tunas enlatadas", *Ciencia.* (Méx.). Vol. 23, No. 2, pp. 75-82.
- Von-Elbe, J.; Schwartz, S. y Hildenbrand, B. (1981). "Loss and regeneration of betacyanin pigments during processing of red beets", *J. Food Sci.* Vol. 46, No. 6, pp. 1713-1715.

**¿QUIERE SABER
UN SECRETO?**

*No somos especialistas
en mercadotecnia
pero llegamos al lugar
exacto donde esperan
noticias tuyas*

CIENCIA
ergo sum

USTED TIENE *QUÉ* ANUNCIAR
NOSOTROS *DÓNDE* ANUNCIARLO

Hay mucha gente que espera saber de los productos y servicios que usted ofrece. Nuestra revista se distribuye a través de librerías como: Librería UAEM, Imagen, El Parnaso, Ghandi, ANUIES, El Sótano, Tomo 17 y Librerías de las Universidades de Sinaloa, Veracruz y Tlaxcala.

INFORMES Y SUSCRIPCIONES:
revista **CIENCIA ergo sum**
Programa Editorial, UAEM.
21 de Marzo No. 101, Col. La Merced. Toluca,
Estado de México. C. P. 50080.
Teléfono: 91 (72) 14 19 45, fax: 14 59 85.

¡No siga en el anonimato!