



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 202-238. Enero-Junio, 2011  
http://www.rvcta.org  
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)  
© Asociación RVCTA, 2011. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

## **Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos.**

### **Componentes funcionales y propiedades antioxidantes**

New technologies developed for the use of cactus plant in food processing.

Functional constituents and antioxidant properties

Mónica Azucena **Nazareno**<sup>1</sup>, Carlos Alberto **Padrón Pereira**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INQUINOA-CONICET. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avda. Belgrano (S) 1912, C. P. 4200, Santiago del Estero, Argentina.

Tel: 0054-385-4509500 / ext.: 1790. E-correo: nazareno@unse.edu.ar

<sup>2</sup>Asociación RVCTA. Avenida Andrés Bello N° 101-79, Municipio Valencia, Estado Carabobo.

C. P. 2001, Venezuela. E-correo: carlospadron1@gmail.com

Aceptado 15-Julio-2011

#### **Resumen**

Las cactáceas han sido consideradas por nuestros ancestros y contemporáneos una fuente de alimento y también de medicinas. La mayoría presenta frutos y cladodios comestibles que a su vez pueden ser procesados a una amplia variedad de nuevos productos. Se ha demostrado que su consumo ofrece beneficios nutricionales y promueve la salud, y debido a esto existe un marcado interés en el desarrollo de nuevas tecnologías y la adquisición de nuevos conocimientos sobre su naturaleza química y propiedades para un mejor aprovechamiento, lo que genera nuevos estudios. En tal sentido, en este trabajo se recopiló información de la literatura que fue revisada, con el propósito de aportar una visión general sobre las nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de los cactus en la elaboración de alimentos con énfasis en sus componentes bioactivos y propiedades antioxidantes. Se concluye que un amplio espectro de nuevas tecnologías está siendo explorado a fin de obtener

alimentos cuya función no sea solamente un aporte nutricional sino también que represente un beneficio para la salud de los consumidores.

**Palabras claves:** Cactaceae, composición química, compuestos bioactivos, tecnologías de procesamiento de cactus, productos.

### Abstract

Cacti have been considered a good source of food and medicines by our ancestors and contemporaries. Most of them have edible fruits and cladodes, which can be processed to obtain a wide variety of new products. Cactus consumption offers nutritional benefits and promotes health; therefore, there is a strong interest to developing new technologies and acquiring new knowledge about their chemical nature and properties, to enhance their uses, giving place to new studies. This study collected information from the literature which was reviewed, in order to provide an overview on new technologies developed in food processing for the use of cactus with emphasis on its bioactive components and antioxidant properties. We conclude that a broad spectrum of new technologies is explored to obtain food whose function is not only nutritional but also represents a health benefit to the consumers.

**Key words:** bioactive compounds, Cactaceae, cactus processing technologies, chemical composition, products.

## INTRODUCCIÓN

El uso potencial y las aplicaciones tecnológicas a que pueden ser sometidas las cactáceas es muy extenso y abarca infinidad de áreas. Los campos de la ciencia y la tecnología en los ámbitos de los alimentos y la medicina están muy interrelacionados.

Numerosas investigaciones científicas confirman que los productos derivados de los cactus pueden ser utilizados eficientemente como una fuente de fitoquímicos, tales como mucílagos, fibras, pigmentos y antioxidantes (Nazareno, 2010).

Importantes revisiones referidas a cactáceas han sido elaboradas por diversos autores. En frutos, cabe destacar la de tecnologías de procesamiento y usos corrientes de Moßhammer *et al.* (2006a) y en cladodios, la de Stintzing y Carle (2005) que trata aspectos relacionados con la química, tecnología y usos. El libro de Sáenz *et al.* (2006) es una

importante fuente de documentación. El propósito del libro es dar a conocer detalles de varias tecnologías que pueden ser usadas para procesar frutos y cladodios de cactus para uso alimentario y otros usos. El libro cubre otros tópicos, tales como, el uso de cladodios de cactus para la producción de biocombustibles y ácido carmínico; presentando además el desarrollo o progreso del cactus en varios países (Sáenz-H, 2010). En el ámbito alimentario, un interés radica en el gran número de nutrientes potencialmente activos y las propiedades multifuncionales de los frutos y cladodios de cactus (*Opuntia* spp.) para la producción de alimentos y suplementos alimenticios con un rol promotor de la salud, lo cual se testifica en diversas fuentes bibliográficas como la de Feugang *et al.* (2006) y Nefzaoui *et al.* (2008). El libro de Ochoa *et al.* (2010) presenta un relevamiento de numerosas cactáceas nativas y cultivadas en Santiago del Estero, Argentina, así como sus

usos populares y recomendaciones para la elaboración de alimentos. Estas propiedades le otorgan a sus frutos un valor agregado por los conocidos beneficios en la salud que produce su consumo. Además, incluye un recetario original de platos dulces y salados que se pueden elaborar con las distintas partes de la planta así como también la preparación de arropes, jaleas y mermeladas.

Con el transcurrir del tiempo, nuevas tecnologías y/o mejoramiento de las ya existentes son exploradas para la obtención de nuevos productos derivados de cactus, como también nuevos descubrimientos en torno a la naturaleza química y propiedades de estas especies. Las investigaciones concernientes a menudo se encuentra dispersas, lo que conlleva a la necesidad de compendio de esa información, y en tal sentido, en el presente trabajo se recopila, analiza, discute y comenta información actualizada y en algunos casos en comparación a otra ya preexistente, sobre algunas investigaciones en procesos tecnológicos, aplicaciones y composición química de los cactus, especialmente orientadas a procesos de secado, elaboración de jugos y propiedades de componentes bioactivos.

## CONTENIDO

- 1.- Procesos de secado y deshidratación
- 2.- Hidrólisis enzimática
- 3.- Productos derivados del uso de cactus
  - 3.1.- Elaboración de jugos y bebidas
- 4.- Composición química (frutos, cladodios y semillas)
  - 4.1.- Mucílago y pectina
  - 4.2.- Betalaínas
  - 4.3.- Otros componentes bioactivos
- 5.- Actividad atrapadora de radicales

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 1.- Procesos de secado y deshidratación

En cladodios. Los cladodios revisten interés industrial y su utilización puede variar

según la edad. Cuando están parcialmente lignificados para la producción de harinas (Sáenz *et al.*, 2006). El secado de cladodios de cactus se realiza de manera convencional a temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C con aireación sostenida. La modificación estructural sufrida bajo estos esquemas de secado produce encogimiento, fracturas, endurecimiento superficial y pérdida de nutrimentos. Con el propósito de minimizar estos efectos, Zabala-Loza *et al.* (2010) evaluaron, cualitativamente, la migración de agua durante el secado de cactus mediante proceso de secado convencional, en comparación a un proceso de secado con intervalos de tiempo de aireación (15 min) y reposo (30 min) denominado, secado con ciclos de atemperado. Entre las ventajas de este último esquema destacaron, a 70° C, una mayor retención de la actividad peroxidasa y mayor capacidad de rehidratación. En todos los casos con ciclos de atemperado se obtuvo disminución del costo de energía del proceso por reducción del tiempo de aireación.

La cinética del secado de cladodios de *Opuntia ficus indica* fue estudiada por López *et al.* (2009) observando 2 condiciones: cladodio completo con cutícula intacta y esta última parcialmente removida empleando un secador de túnel con flujo forzado. El estudio se llevó a cabo con temperaturas del aire a 35, 45 y 60 °C y velocidades de 1,5 y 3,0 m/s. Los resultados mostraron que el tiempo de secado se redujo considerablemente cuando aproximadamente el 30 % de la denominada cutícula que protege al cladodio fue removida, ofreciendo la temperatura mayor influencia que la velocidad del aire. Touil *et al.* (2010) han observado que los valores de las tasas de secado de frutos y cladodios de la misma especie citada casi se duplican cuando la temperatura se incrementa de 40 a 60 °C.

El efecto de parámetros del proceso de secado convectivo sobre el contenido de polifenoles en cladodios de cactus fue estudiado por Gallegos-Infante *et al.* (2009). Los cladodios fueron secados a 45 °C y velocidades

de aire de 3 y 5 m/s, donde el secado a velocidad de 3 m/s mostró los mas altos valores de fenoles, flavonoides y flavonoles, por lo que la velocidad del flujo de aire afecta el contenido de polifenoles. En este mismo sentido, Medina-Torres *et al.* (2011) evaluando el proceso de secado convectivo en el contenido de compuestos bioactivos en cladodios antes y después del secado en las mismas condiciones de velocidades de aire citadas y temperaturas de 45 y 65 °C, observaron a temperatura de 65 °C, reológicamente, un comportamiento de espesamiento por cizalla o comportamiento dilatante, es decir, aumento de la viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla, el cual fue atribuido posiblemente a escisión térmica de la cadena de los componentes de alto peso molecular. Los autores obtuvieron los mismos resultados del estudio de Gallegos-Infante *et al.* (2009) en relación a las mejores condiciones de secado (temperatura 45 °C, velocidad de aire 3 m/s) e informaron contenidos de fenoles de 40,97; flavonoides 23,42;  $\beta$ -caroteno 0,543 y ácido ascórbico 0,2815 g por kg de muestra extracto.

En cladodios de *Opuntia ficus-indica* han sido identificados los carotenoides  $\alpha$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno y luteína, este último en mayor concentración, y se ha señalado que los tratamientos térmicos por una parte, incrementan la extractabilidad de estos pigmentos y por la otra, disminuyen el contenido de fenólicos totales (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003).

Polvos de cladodios. En relación a los polvos de cladodios de cactus, que pueden obtenerse mediante secado, estos constituyen una rica fuente de fibra dietética y pueden ser utilizados como ingrediente funcional en alimentos. Sepúlveda *et al.* (2010) estudiaron características químicas, tecnológicas y funcionales de 2 tipos de polvos de cactus (*Opuntia ficus-indica*) obtenidos a partir de cladodios integrales y cladodios que fueron pelados mediante exfoliación ('peeling'), es decir, con y sin epidermis. Los cladodios (2 a 3

años) luego de lavados, fueron cortados, secados y molidos 2 veces hasta alcanzar un tamaño de partícula de 200  $\mu$ . La capacidad de absorción de agua del polvo de cactus pelado fue mayor (9,51 g/g) a la del polvo de cactus integral (8,94 g/g) y los índices de absorción de aceite fueron 1,34 y 1,48 g/g, respectivamente. Los autores informaron contenidos de fibra dietética insoluble de 41,90 y 41,66; y fibra dietética soluble de 14,03 y 9,15 g/100 g, para los polvos de cactus pelado e integral, respectivamente, observando diferencias significativas para la fibra soluble. Del mismo modo, diferencias significativas se presentaron en el contenido de compuestos fenólicos, presentando valores de 4,32 y 2,96 mg GAE/g para los polvos integral y pelado, respectivamente. En términos de la TEAC ('Trolox Equivalent Antioxidant Capacity') el polvo de cactus integral presentó mayor actividad antioxidante y en líneas generales los autores concluyeron que el polvo de cactus integral mostró alto contenido de fibra soluble, compuestos fenólicos y mayor actividad antioxidante que el polvo de cactus pelado, y que pudo deberse a los mucílagos de la epidermis.

Es de hacer notar un estudio presentado por Harrak y Jaouan (2010) en el que se evaluaron criterios tecnológicos, entre otros, de los polvos en relación con la edad de los cladodios utilizados, y en el cual concluyen que es importante la elección o preferencia de cladodios según su edad con miras a la futura utilización del polvo; por ejemplo, cabe mencionar, que el índice de absorción de agua de un polvo es mayor cuando se utilizan cladodios de mayor edad (< 1 año, 6 mL/g; 3-3,5 años, 7,76 mL/g). Asimismo, a mayor edad el color verde (valores negativos de la coordenada de color  $b^*$ ) se incrementa en cladodios frescos y en polvos disminuye. Desde otro punto de vista, Hernández-Urbiola *et al.* (2011) recomiendan promover el consumo de cladodios en estados avanzados de maduración (como polvo) por los mayores contenidos de

calcio, con posible aplicación en la prevención y tratamiento de enfermedades como la osteoporosis; y de fibra, por su relación con la salud.

En frutos. Existen antecedentes del uso del secado por spray o atomización como técnica para lograr la estabilización de pulpa de frutos de *Opuntia streptacantha*. Rodríguez-Hernández *et al.* (2005) evaluaron el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de un polvo y producto reconstituido obtenidos a partir de jugo de *Opuntia streptacantha* que fue sometido a secado spray, concluyendo que: el grado de polimerización de la maltodextrina y la interacción entre la temperatura del aire de entrada y la presión de aire ejercieron gran influencia en el contenido de humedad del polvo y la retención de vitamina C del producto reconstituido. Asimismo, el secado spray produjo ligeros cambios en el color (coordenadas HunterLab), con incremento del valor de la coordenada 'a', disminución de la coordenada 'b', mientras que el valor de luminosidad (L) no se vio afectado por las condiciones de secado. Adicionalmente en los ensayos fue observado que a condiciones de temperatura 205 °C y presión 0,1 MPa hubo mayor retención de vitamina C y por otra parte a 225 °C y 0,2 MPa menor higroscopicidad en el polvo, recomendando realizar experiencias a temperatura de 215 °C, presión 0,15 MPa y maltodextrina 10 DE ('dextrosa equivalente') (20,5 %). También señalan que el pH pudo contribuir a las pérdidas de vitamina C (pH 5,54 en el jugo estudiado). Moura *et al.* (1994) quienes estudiaron la influencia del pH en soluciones de ácido ascórbico sometidas a secado spray demostraron que la tasa de oxidación fue dependiente del pH, con un máximo a pH 4,0 y mínimo a pH entre 2,5 y 3,0. El secado spray puede ser usado para convertir el jugo en un polvo estable con nuevas posibilidades para aplicaciones industriales (Díaz-Sánchez *et al.*, 2006).

Sáenz *et al.* (2009) propusieron el microencapsulado de las sustancias activas

tanto de la pulpa como de extractos etanólicos de frutos de *Opuntia ficus-indica* por secado spray usando maltodextrina e inulina como agentes encapsulantes. Evaluaron el efecto de la temperatura del aire entrante, la relación entre compuestos activos y agentes encapsulantes, la estabilidad de los materiales obtenidos y las condiciones óptimas de preparación para cada sistema. La estructura exterior de las microcápsulas fue analizada por microscopía electrónica de barrido. Los autores observaron que la degradación de las indicaxantinas fue más lenta y los nuevos materiales obtenidos pueden ser considerados interesantes aditivos alimentarios funcionales como colorantes con propiedades antioxidantes.

El efecto de 2 diferentes temperaturas de secado en estufa al aire (60 y 70 °C) sobre pulpa de frutos de cactus de color anaranjado-amarillo (no se menciona la especie) en espesor de 15 mm y de temperatura de 60 °C en 3 espesores de pulpa (5, 10 y 15 mm) en bandejas con un área de 20 x 15 cm fue experimentado por El-Samahy *et al.* (2007) a velocidad de aire moderada (4 m/s). Esto se realizó para evaluar la tasa de deshidratación con el propósito de producir hojas o láminas de pulpa de cactus que fueron posteriormente preparadas mediante la adición de diferentes proporciones de sacarosa (0, 1, 2, 3, 4, 5, y 10 %). En este estudio preliminar observaron que la tasa de secado disminuyó por aumento de la capa o espesor, siendo los tiempos requeridos en el proceso de 26, 42 y 46 h en espesores de 5, 10 y 15 mm, respectivamente, para alcanzar una humedad final de 0,14 a temperatura de 60 °C. Luego se elaboraron las láminas (estableciendo: espesor 10 mm, temperatura 60 °C, tiempo 42 h) a las distintas proporciones de sacarosa citadas, y derivado de una evaluación sensorial llevada a cabo (atributos: sabor, color, aroma, textura), se concluyó que las que presentaron mayor aceptabilidad total (calculada a partir de la sumatoria de los puntajes de los atributos de cada proporción) fueron las preparadas con 2 y 3 % de sacarosa.

En Colombia, país productor de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), destinada al mercado fresco, reviste interés la deshidratación osmótica de los frutos para darle valor agregado. Ayala-Aponte *et al.* (2010) utilizando rodajas de 5 mm de espesor en soluciones osmóticas de sacarosa comercial a 55 y 65 °Bx, con una relación fruta:solución de 1:20, en condiciones de temperatura de 30 °C, presión atmosférica y de vacío (esta última solo durante los primeros 5 minutos a 50 kPa); y ensayando tiempos de 0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180 y 240 min, favorecieron la pérdida de agua y la mayor ganancia de sólidos con la aplicación de presión de vacío durante los primeros 60 min. Para tiempos mayores, solo la concentración de la solución influyó significativamente.

La liofilización como tratamiento aplicado en muestras de rodajas (diámetro 40 mm; espesor 5 mm) de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) fue ensayado por Ayala-A. *et al.* (2010), así como también la aplicación, como tratamiento previo a la liofilización, de la deshidratación osmótica de las rodajas (osmoliofilización). Las soluciones osmóticas se prepararon con sacarosa comercial (55 °Bx), la relación muestra:solución fue de 1:20 y las rodajas se deshidrataron durante 35 min a 25 °C (las soluciones se agitaron a 240 rpm). Fueron evaluados parámetros relacionados con la calidad de los productos liofilizados y osmoliofilizados (actividad de agua, porosidad, variación de volumen, capacidad de rehidratación), además de elaborarse las curvas de las cinéticas de congelación y deshidratación para su estudio. La liofilización posibilitó en las muestras la reducción de la actividad de agua por debajo de 0,4; aumentando la porosidad y permitiendo una rehidratabilidad o reconstitución aproximada a su contenido inicial. En relación a la osmoliofilización los autores observaron que la utilización de las soluciones de sacarosa preparadas (55 °Bx) no fueron adecuadas porque produjo encogimien-

to, baja capacidad de rehidratación y no influyó en la pérdida de agua (no redujo el tiempo de secado). En cierta consonancia con el estudio anterior, el efecto de distintas velocidades de agitación (180, 220 y 240 rpm) sobre la pérdida de agua y la ganancia de azúcar en rodajas de pitahaya (*Selenicereus megalanthus* S.) deshidratadas osmóticamente, empleando soluciones de sacarosa con dos niveles de concentración (45 y 55 °Bx) fue estudiado por Ayala-Aponte *et al.* (2009) y determinaron que el tratamiento osmótico a 55 °Bx con 240 rpm fue el más eficaz para la extracción de agua en rodajas de pitahaya.

Rodajas de 5 mm de espesor de frutos de *Opuntia ficus indica* fueron deshidratadas osmóticamente por Moreno-Castillo *et al.* (2005) en soluciones osmóticas con concentraciones de azúcar de 40, 50 y 60 °Bx, relación fruto:solución de 1:15; condiciones de temperatura de 25, 40 y 55 °C y tiempo de inmersión de 10 h. De los resultados obtenidos, el incremento en la concentración de azúcar y de la temperatura provocó incrementos en la pérdida de agua, como es habitual, viéndose afectado el color a mayor temperatura y lográndose la mejor retención del mismo a 25 °C, independientemente de la concentración de azúcar.

## 2.- Hidrólisis enzimática

El efecto de un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas (celulasas y xilanasas), sobre la degradabilidad *in situ* de la materia seca, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida residual, en 2 dietas con harina de *Opuntia ficus-indica*, var. Itálica (10 y 33,3 %), así como la determinación de la concentración de ácidos grasos volátiles con diferentes niveles de enzimas fibrolíticas (0, 1, 2 y 3 g enzima/kg de materia seca) fue evaluado por Medina-Romo *et al.* (2006). En la experiencia, efectos no significativos fueron observados en el incremento de la digestibilidad y degradación de las fracciones de las paredes celulares de

componentes fibrosos en la harina, y por el contrario, la aplicación de 1 g del preparado enzimático mostró efecto significativo sobre el incremento de los ácidos grasos volátiles, aunque solo en la dieta con 33,3 % harina. En otro estudio llevado a cabo por Padrón-Pereira *et al.* (2009a), la hidrólisis de harina de cladodios de cactus de la especie *Opuntia boldinghii* Britton y Rose (Fig. 1) con enzimas fibrolíticas (Pectinex® Ultra SP-L y Cellubrix® L., Novozymes, The Netherlands (Novozymes A/S, Bagsværd, Denmark)), permitió la degradación de constituyentes fibrosos, lo que se tradujo en un incremento de la concentración de azúcares solubles en 6,96 % (p/p), debido a una acción sinérgica entre las enzimas utilizadas, no obstante el resultado fue considerado modesto. En dicho estudio se presentaron dificultades metodológicas durante la hidrólisis, atribuidas a la viscosidad debida al mucílago, la cual fue minimizada aumentando la temperatura de secado para la obtención de la harina a ser hidrolizada de 60 °C (inicialmente) a 78 °C, lo que se tradujo en una notable mejoría del proceso de hidrólisis por disminución de la viscosidad.

En otro sentido, en jugo de cactus, el uso de enzimas pectinasa y celulasa para mejorar el rendimiento, estabilidad y calidad de jugo de frutos de cactus ha sido investigado por Essa y Salama (2002). La calidad del jugo mejoró con el tratamiento con pectinasa y un incremento significativo en la efectividad de la enzima fue observado cuando la concentración se aumentó de 0,05 a 0,50 % v/p, notando que a concentraciones mayores a 0,25 % el efecto fue impartir sabor amargo al jugo. El jugo clarificado despectinizado presentó, reológicamente, un comportamiento de fluido del tipo newtoniano, en el que la energía de activación para flujo viscoso estuvo en el intervalo de  $5,02 \times 10^3$  a  $20,06 \times 10^3$  kJ/mol, siendo dependiente de las concentraciones de enzimas, en contraste a la energía de activación del jugo no tratado enzimáticamente ( $22,15 \times 10^3$  kJ/mol). Las concentraciones de compuestos

volátiles no se vieron afectadas por ninguno de los tratamientos enzimáticos.

Por otra parte, Qin *et al.* (2008) informaron que la utilización de amilasa y pectinasa tuvo poco efecto en el rendimiento de un jugo de cactus utilizado para la preparación de una bebida mezclada con jugo de naranja, en la cual la combinación óptima de agentes estabilizantes fue de 0,20 % CMC y 0,20 % alginato de sodio.

Naderi *et al.* (2010) con el propósito de mejorar el rendimiento y obtener un concentrado a partir del extracto de frutos de *Hylocereus polyrhizus* (piel roja, pulpa púrpura) de 2 años de edad cultivados en Malasia (Johor), mediante tratamientos enzimáticos evaluaron además la susceptibilidad de las betacianinas a las distintas concentraciones de enzimas. Muestras de 100 g de pulpa (con pH ajustado a 4,0) fueron tratadas con la preparación comercial enzimática Pectinex® Ultra SP-L a concentraciones ensayadas de 0,1; 0,3; 0,5, 0,75, 1 y 2 % p/v, e incubadas por 2 h a 40 °C y con agitación continua (250 rpm). La inactivación enzimática se realizó a 90 °C por 5 min. Inmediatamente las muestras fueron centrifugadas durante 20 min a 18000 rpm (temperatura de 4 °C) y los sobrenadantes almacenados en envases oscuros. Una muestra control (sin adición de enzimas) fue preparada. Los autores no observaron cambios visuales en el color en los extractos concentrados finales, y para tener una clara idea de la susceptibilidad de las betacianinas a las distintas concentraciones de enzimas, análisis mediante HPLC se llevó a cabo. Fueron identificados betanina, filocactina, hilocerenina y sus isómeros isobetanina, isofilocactina e isohilocerenina. En la comparación de las áreas de los picos en los cromatogramas de los pigmentos tratados con diferentes concentraciones de enzimas versus la muestra control, encontraron que los contenidos de betanina e isobetanina disminuyeron en un 20 % de los valores iniciales con el incremento de las dosis de concentración de enzimas (siendo



**Figura 1.-** Cladodios y frutos de la especie *Opuntia boldingii* Britton y Rose.

los más estables) y filocactina declinó 39 %. En contraposición, para isofilocactina se observó una cantidad de 58 % de la proporción del área del pico en la dosis de concentración más alta de enzimas (2 % p/v). En la muestra tratada con la dosis de concentración más baja de enzimas, isohilocerenina no fue detectado pero a mayores dosis aumentó gradualmente a 7 %. En todas las muestras tratadas enzimáticamente, filocactina fue el menos estable y su degradación fue más rápida en comparación a los otros pigmentos y tomando en cuenta que las condiciones de pH, temperatura y tiempo se mantuvieron constantes en todo el estudio, la variación en la concentración de pigmentos fue

atribuida a las concentraciones de enzimas. Análogamente, Herbach *et al.* (2006) han sostenido que la estabilidad de los pigmentos y el color de jugos de frutos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton y Rose), depende del tipo, concentración de los aditivos y del pH, como también, los efectos estabilizadores de los aditivos pueden ser más pronunciados en el jugo que en la preparación de los pigmentos. Es oportuno mencionar que la formación de indicaxantina e isoindicaxantina tras el tratamiento térmico de jugo de pitaya fue observada por estos autores.

### **3.- Productos derivados del uso de cactus**

Siendo los frutos de cactus una buena fuente natural de nutraceuticos y componentes con propiedades funcionales, son usualmente consumidos frescos (Fig. 2) y pueden ser procesados para obtener diferentes productos.

Revisten interés las investigaciones de aprovechamiento de las diferentes partes del fruto tratando de aumentar el rendimiento, diversificar su utilización y lograr una gama amplia de productos secundarios y principales que motiven mayores esfuerzos para su utilización (Cerezal y Duarte, 2005a).

Bensadón *et al.* (2010) han indicado que alrededor del 20 % del peso fresco de los cladodios y 45 % en los frutos de la especie *Opuntia ficus-indica* son productos secundarios (derivados) y examinaron el contenido de fibra dietética y compuestos antioxidantes con el propósito de obtener ingredientes de calidad para alimentos funcionales e incrementar el valor agregado de esos subproductos.

La utilización de cáscaras de frutos de cactus en forma molida y su adición a la propia pulpa de los frutos en relación de 1:3 (p/p) es una alternativa de aprovechamiento que fue estudiada por Cerezal y Duarte (2005b), y en este sentido, Cerezal y Duarte (2005a) elaboraron 2 productos utilizando cáscaras de frutos de cactus frescas y molidas (sin piel) que consistieron en: 1) pulpa de cactus con incorporación parcial de cáscaras (3:1) y adición de sacarosa hasta conformar una pulpa endulzada concentrada, en la cual empleando tecnología de métodos combinados obtuvieron la mejor formulación con actividad de agua de 0,94 y pH 3,2 a 3,4; la cual luego de utilizada en la preparación de un néctar, fue categorizado como 'bueno' en la evaluación sensorial; y 2) un producto tipo mermelada de cactus empleando solo cáscaras molidas, con adición de azúcar y sin pectina, la cual fue calificada como 'aceptable'. En ambos productos fueron añadidos preservantes y acidulantes permitidos en bajas concentraciones. Cabe destacar que Cerezal y Duarte (2005b) han señalado que como en muchas frutas, los frutos de cactus

(*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) están compuestos de una parte carnosa denominada pulpa en la que se encuentran las semillas, protegida de una corteza de mayor dureza ("cáscara"), pero poco se ha informado de una capa mas externa y delgada que cubre a la cáscara denominada "piel", en la cual se encuentran las espinas y glóquidas. La piel y la cáscara en conjunto conformarían el pericarpio completo. Los autores destacan que la parte externa del pericarpio o piel es concebida e informada como pericarpio en sí en diversas regiones y países; siendo costumbre en el norte de Chile eliminar la piel antes de consumir el fruto fresco, de tal manera que la cáscara se ingiere como pulpa.

Los frutos de cactus son materias primas adecuadas para la elaboración de mermeladas y jaleas, de alta aceptabilidad por el público, siendo fuente natural de sustancias bioactivas (Nazareno, 2006). La factibilidad de elaborar mermeladas a partir de la pulpa de los frutos del cactus columnar cardón dato (*Stenocereus griseus* (Haworth) Buxbaum) de las variedades Blanca y Roja (con inclusión de las semillas) provenientes del Estado Falcón en Venezuela, fue estudiada por Emaldi *et al.* (2006). Los autores encontraron que la pulpa de los frutos de cardón dato de variedad Roja posee más del doble de contenido de pectina que los de la variedad Blanca, factor que podría influir en la capacidad de gelificación, siendo en ambos casos, mas bajos que los presentes en manzana, pera, naranja, fresa, durazno, guayaba y cambur. Además de considerar este factor y otros de índole experimental encontrados, principalmente una consistencia gomosa, en ensayos previos efectuados llevaron a cabo la modificación del esquema tecnológico tradicional de elaboración de mermeladas específicamente en el orden de adición de los ingredientes. Los productos finalmente obtenidos presentaron gelificación y consistencia propias de una mermelada, y es de hacer notar, que en la evaluación sensorial de los mismos, la aceptación de 8 en una escala



**Figura 2.-** Frutos de *Opuntia ficus-indica* para la venta a granel en un mercado de Palermo, Sicilia, Italia.

hedónica de 10 puntos para los atributos color, sabor y consistencia, se mantuvo. Otro fruto estudiado por los mismos autores con potencial alimentario en la región es el del cactus columnar cardón lefaria (*Cereus repandus*) (Emaldi *et al.*, 2004) y cabe agregar que los frutos del cardón de dato (*Lemaireocereus griseus* (Haw.) Britton y Rose), son una fuente de alimento para los pobladores locales y representa una alternativa de consumo fresco e industrial, presentando colores de pulpa, roja,

blanca, amarilla, anaranjada y fucsia (Terán *et al.*, 2008). Reviste interés el estudio de los pigmentos de esos frutos.

Mínimamente procesados. En frutos de *Opuntia ficus indica* Mill. cv. 'Gialla' mínimamente procesados y almacenados a 4 °C, Piga *et al.* (2003) estudiaron los cambios en el contenido de polifenoles y en la actividad antioxidante. Los frutos fueron pelados manualmente y empacados en bandejas cubiertas por films de alta permeabilidad a los

gases para simular condiciones de comercialización (Fig. 3). Se evaluaron distintos parámetros de calidad de los frutos después de 3, 6 y 9 días de almacenados así como también cambios en las concentraciones de gases en la atmósfera del empaque durante este periodo de almacenamiento. Los contenidos de ácido ascórbico y de polifenoles fueron determinados en la pulpa de los frutos por titulación con el reactivo 2,6-diclorofenol-indofenol y por el método de Folin-Ciocalteu, respectivamente, mientras que la capacidad antioxidante fue evaluada frente al radical DPPH<sup>•</sup> y expresada como TEAC. Los autores indicaron que el tratamiento no produjo disminuciones en las principales propiedades nutricionales y promotoras de la salud en frutos de cactus mínimamente procesados durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C por hasta 9 días. Otros parámetros de importancia como pH o acidez tampoco tuvieron variaciones significativas y no perjudicaron los caracteres sensoriales.

Por otra parte, el deterioro microbiano frecuentemente limita el uso del procesamiento mínimo como una tecnología conveniente. Corbo *et al.* (2004) estudiaron el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la vida de estantería y sobre la calidad microbiológica de frutos de cactus ligeramente procesados. Los autores evaluaron la posibilidad del uso del modelado predictivo para la estimación de la vida de estantería de frutos empacados. Para ello, frutos de *Opuntia ficus indica* procedentes de Italia fueron pelados manualmente. Se estudió el efecto de la composición de la atmósfera y de la temperatura del almacenamiento en el crecimiento de los microorganismos presentes naturalmente. La temperatura de almacenamiento tuvo una fuerte influencia en la vida de estantería de los frutos empacados siendo ésta mayor para un valor de 4 °C. Observaron un incremento en el daño sensorial y el crecimiento microbiano en los frutos cortados y almacenados a altas temperaturas. El empaque en atmósferas modi-

ficadas resultó, después del almacenamiento, en una población bacteriana homogénea en comparación con la aislada de los frutos empacados en aire.

Otro factor que ha sido objeto de estudio en la comercialización de productos mínimamente procesados, pero en este caso, en cladodios jóvenes (llamados nopalitos), es el oscurecimiento enzimático. Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) considerando que en México la producción de nopalitos se basa en la explotación de 4 variedades y tomando en cuenta la riqueza del material genético existente en el país, estudiaron 21 variedades en términos de pruebas químicas y físicas de interés; y entre las químicas: actividad de la polifenoloxidasas y el potencial de oscurecimiento. La susceptibilidad al oscurecimiento fue dependiente de la variedad y recomendaron para el procesamiento mínimo (en relación al oscurecimiento) las variedades 'Chicomostoc', 'Negrito' y 'Jade' de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

Concentrados de pulpa. A partir de la pulpa de frutos de cactus también se ha ensayado la obtención de concentrados, que como los polvos, ofrecen alternativas de disminución de los costos de almacenamiento y transporte, además de prolongación de la vida útil cuando se manejan adecuadamente (Moßhammer *et al.*, 2006b).

Castellar *et al.* (2006) tomaron frutos de *Opuntia stricta* que fueron homogeneizados mediante agitación magnética por 20 min (en oscuridad) en relación fruto:solvente 1:5, empleando como solvente agua y etanol:agua (40:60, 60:40 y 80:20 v/v). Luego de la agitación las muestras fueron centrifugadas a 15000 x g y temperatura de 10 °C por 10 min removiendo residuos del tejido vegetal, para posteriormente, concentrar los sobrenadantes en rotavapor (condiciones controladas: temperatura 30 °C y presión de vacío 3 kPa). Después del proceso de concentración y la remoción completa del solvente, obtuvieron un concentrado de betanina de concentración  $4,73 \pm 0,07$  g/L.



**Figura 3.-** Frutos de *Opuntia ficus-indica* mínimamente procesados dispuestos para la venta en un mercado de Palermo, Sicilia, Italia.

El-Samahy *et al.* (2009) estudiaron la posibilidad de producir helado tipo 'ice cream' usando concentrados de pulpa de frutos de cactus (*Opuntia ficus-indica*) a concentraciones de 5, 10 y 15 % en la mezcla, determinando porcentajes de incremento en volumen de helado en relación a la cantidad de mezcla inicial utilizada ('overrun') de 46,67; 43,78 y 43,11 %, respectivamente, es decir una

disminución a mayor concentración; siendo en el control (sin pulpa) de 55,71 %. Los valores de 5 y 10 % de sustitución fueron deseables; y con 5 %, sensorialmente fue muy estrecha la diferencia con las muestras control de helado.

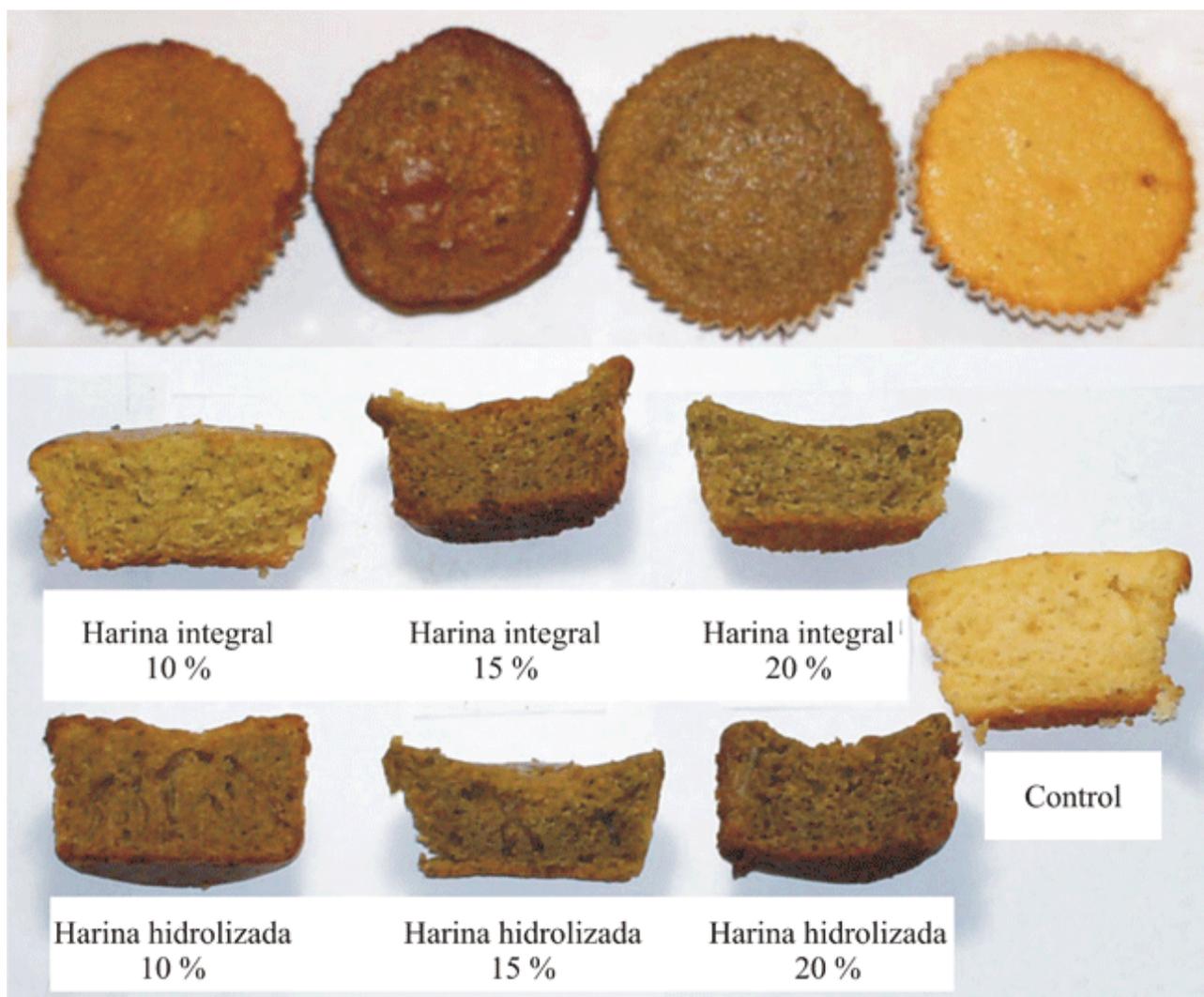
Formulaciones con cladodios. En relación a los cladodios, la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cladodios de cactus reviste interés por ser importante fuente

de fibra y calcio (componentes necesarios para una dieta saludable) (Moreno-Álvarez *et al.*, 2006; Sáenz *et al.*, 2006), en algunos países es un recurso subutilizado y su aprovechamiento conllevaría a disminuir la dependencia del trigo (Moreno-Álvarez *et al.*, 2009); también permite la incorporación de nuevos productos en especial para consumo por personas que no toleran el gluten de trigo (enfermos celíacos) y para diversificar la dieta (Sangronis *et al.*, 2006).

Moreno-Álvarez *et al.* (2009) incorporó harina de cladodios del cactus *Opuntia boldingii* Britton y Rose, en la formulación de panes en cantidades porcentuales de 5, 10, 15 y 20 %; observando que a concentraciones de 15 y 20 % de sustitución la estabilidad de la masa se vio afectada, por lo que no es recomendable para pan a tales concentraciones, y en tal caso, si para galletas y bizcochos. A concentraciones de 5 y 10 % el perfil farinográfico indicó que estas harinas compuestas son más adecuadas para elaborar pan, recibiendo mayores calificaciones que un control en evaluación sensorial llevada a cabo, en los atributos sabor, olor, color y textura. Con el mismo propósito, Padrón-Pereira *et al.* (2009b) utilizaron la misma especie de cactus en la formulación de postres tipo ponquecitos ('cupcakes' en inglés) sustituyendo la harina de trigo en 10, 15 y 20 % por harina de cladodios integral e hidrolizada enzimáticamente con enzimas fibrolíticas (Fig. 4). El postre control (sin harina de cactus) fue el preferido en todos los atributos evaluados (consistencia, color, olor y sabor) seguido del postre elaborado con 10 % de harina integral y a concentraciones mayores la tendencia fue hacia el desagrado, siendo atribuido a la no existencia de tradición de consumo de productos con harina de cactus en el país (Venezuela), y al aroma y sabor herbáceo. Es de hacer notar que todos los postres formulados con las harinas de cactus presentaron mayor contenido de fibra (menor con harina hidrolizada), cenizas y calcio.

Cerezal y Duarte (2004) llevaron a cabo 12 formulaciones de cladodios de cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) pelados en almíbar y conservados por tecnología de factores combinados, en las que se modificó la actividad de agua (0,960 y 0,975), concentraciones de bisulfito de sodio (0, 50 y 100 ppm), ácido fosfórico (50 % v/v) y mezcla de ácido fosfórico y cítrico (50 % v/v); manteniendo constantes las concentraciones de ácido ascórbico (500 ppm), cloruro de calcio (120 ppm) y sorbato de potasio (1000 ppm). La conclusión principal del trabajo fue que de acuerdo a la caracterización sensorial todas recibieron una calificación de 'aceptable', siendo la mejor alternativa de formulación (previo análisis en mayor profundidad de las características sensoriales) la que no poseía adición de bisulfito de sodio empleando una mezcla de ácido fosfórico y cítrico (50 % v/v) y con actividad de agua = 0,960.

Otras tecnologías y productos. Finalmente, entre otros estudios de interés, destacan el procesamiento térmico de néctar de pulpa de cactus enlatado realizado por El-Samahy *et al.* (2008) donde concluyen que condiciones de temperatura 100,9 °C por 20 min evitan que se afecte la calidad del producto. La aplicación de la tecnología del proceso de extrusión en frutos de cactus y su utilización como ingrediente para la producción de productos alimenticios expandidos extruidos (Sarkar *et al.*, 2011). En la elaboración de cerveza, el uso de jugo de *Opuntia dillenii* Haw., siendo determinado por Dong *et al.* (2004) una adición óptima de 3 a 4 %. Fluidos de frutos fermentados de *Opuntia ficus-indica* que se han ensayado como aditivo alimentario en dietas para peces en proporciones de hasta 5 % (Go *et al.*, 2007). El estudio para la preservación de jarabes de frutos de cactus en el tiempo, mediante pasteurización a 80 °C con variaciones en la inclusión de aditivos y temperaturas de almacenamiento (Kunyang *et al.*, 2009).



**Figura 4.-** Postres tipo ponquecitos con sustitución parcial de harina de trigo por harina de cladodios de cactus (*Opuntia boldinghii* Britton y Rose).

### 3.1.- Elaboración de jugos y bebidas

La utilización de frutos de cactus con el propósito de elaborar jugos ha tenido creciente interés porque implica la utilización de pigmentos naturales asociados a su vez a las propiedades benéficas para la salud que estos confieren.

Diferentes métodos para la producción de jugos de frutos de cactus han sido desarrollados (Moßhammer *et al.*, 2005a). Los

pasos operacionales que siguen a la recepción de los frutos involucran luego de lavados, molienda o triturado, colado o despulpado (remoción de semillas, epicarpio y fibras del mesocarpio). La pulpa o zumo obtenido puede involucrar separación del material mucilaginoso, acidificación, hidrólisis enzimática de sustancias pécticas, inactivación enzimática, dilución, filtración y pasteurización. En algunos casos como alternativa sustituta a la pasteurización, se ha

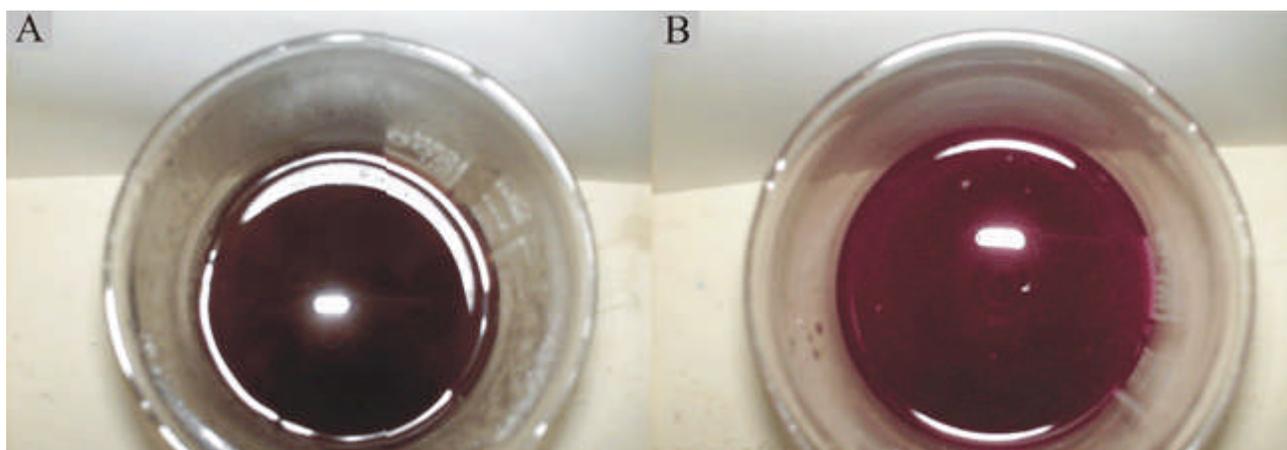
empleado microfiltración de flujo cruzado (a través de membrana cerámica de 0,2  $\mu\text{m}$ ) para la preservación del jugo (Moßhammer *et al.*, 2006b) y la ultrafiltración (Cassano *et al.*, 2010).

La pulpa de frutos de cactus ha sido empleada en la formulación de bebidas con el propósito de aprovechar el poder pigmentante de las betalaínas; compuestos con propiedades antioxidantes (Sáenz *et al.*, 2006; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010) y termolábiles (Castellar *et al.*, 2003). En un estudio realizado por Moreno-Álvarez *et al.* (2003) con formulaciones de 15 % de jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.) + 15 % de jugo de toronja (*Citrus paradisi* M.) + 65 % de agua + 5 % de pulpa de frutos del cactus *Opuntia boldighii* Britton y Rose, acondicionadas con concentraciones de ácido ascórbico de 0; 0,01; 0,1 y 0,5 %; los autores determinaron que las concentraciones de ácido añadidas no afectaron los atributos de color, ni del aroma y el sabor; ofreciendo un efecto protector sobre la estabilidad de las betalaínas durante 21 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ( $7 \pm 0,1$  °C). Es de hacer notar que luego de la pasteurización LTLT ( $60 \pm 0,1$  °C durante 30 min) de la bebida control (sin adición de ácido ascórbico) no se presentaron cambios de coloración. Años más tarde, en otro estudio a nivel piloto, con el propósito de incrementar el rendimiento en producción de la misma mezcla de pulpa y jugos, utilizando enzimas fibrolíticas (Rapidase® TF y Rapidase® LIQ Plus, DSM, Heerlen, The Netherlands), se presentaron grandes cambios de coloración, visualmente, en la mezcla hidrolizada enzimáticamente, mas no así, en el control (sin enzimas) luego de pasteurizadas a  $62 \pm 1$  °C durante 30 min (Fig. 5), esto último como ocurrió en el trabajo precursor; por lo que la acción de las enzimas fibrolíticas sobre los componentes estructurales que sirven de soporte a las betalaínas modificaron su estructura haciéndolas más susceptibles a la degradación por efecto del calor. La adición de

ácido ascórbico en concentración de 0,5 % (p/v) antes de la pasteurización, permitió la preservación del color en ambas mezclas, hasta 15 días después del tratamiento térmico y el rendimiento en producción de la mezcla de jugos hidrolizada fue 38,3 % mayor al de la mezcla sin hidrolizar (Padrón-Pereira y Moreno-Álvarez, 2010).

En un estudio donde el efecto de tres sistemas de pasteurización fueron evaluados sobre el color y la estabilidad de las betalaínas de jugo de pitahaya púrpura (*Hylocereus polyrhizus*), Herbach *et al.* (2007) determinaron que las pérdidas de betacianina y alteración del color fueron mínimas en la pasteurización mediante sistema HTST y asimismo, los efectos en detrimento de la coloración del jugo por causa de exposición a la luz, fueron prevenidos completamente mediante la adición de ácido ascórbico al 1,0 % previo al almacenamiento; reteniéndose el 70 % del contenido de inicial de betacianina después de 6 meses.

El-Samahy *et al.* (2007) además de evaluar la pulpa de cactus seca laminada, que se comentó con antelación, también en el mismo trabajo evaluaron la pulpa de frutos de cactus para la obtención de jugos pasteurizados y jugos esterilizados. Para los jugos, la pulpa de frutos filtrada a través de tela de algodón fue mezclada con una solución de azúcar de 16,5 °Bx (sólidos solubles totales finales de 15 °Bx), a pH 5 (ajustado con ácido cítrico) y en una relación 1:1 (pulpa:solución) previo a los tratamientos térmicos. El jugo preparado se dividió en 3 partes. La primera se pasteurizó a 95 °C por 25 min. La segunda de manera similar pero fue tratada con benzoato de sodio (100 ppm) antes del calentamiento y la tercera se esterilizó a 121 °C por 10 min; todas en botellas de vidrio y subsecuentemente fueron enfriadas con agua después de los tratamientos térmicos. Los 3 jugos embotellados ( $n = 10$  para cada uno) se almacenaron a temperatura de  $28 \pm 5$  °C y en refrigeración ( $8 \pm 2$  °C) durante 6 meses. Durante el periodo de almacenamiento, el pH medido mensualmente,



A: bebida hidrolizada enzimáticamente sin adición de ácido ascórbico antes de la pasteurización.

B: bebida hidrolizada enzimáticamente con adición de 0,5 % (p/v) de ácido ascórbico antes de la pasteurización.

**Figura 5 .-** Bebida cítrica de naranja y toronja pigmentada con pulpa de cactus.

se mantuvo relativamente estable en todos los jugos. En las evaluaciones del color mediante coordenadas del espacio CIE-L\*a\*b\*, en general, los jugos esterilizados presentaron los menores valores de a\*, b\*, C\* y mayores de L\* en comparación con los 2 jugos pasteurizados (cabe agregar que un menor valor a\* (positivo) implica menor color rojo y de b\* (positivo) menor amarillo), por lo que los pigmentos de los jugos que se esterilizaron se vieron afectados. Si bien los autores también determinaron que valores del color de los jugos pasteurizados fueron mayores que los de los jugos esterilizados y disminuyeron durante el periodo de almacenamiento a ambas temperaturas ensayadas, la disminución fue mayor en los almacenados a temperatura de  $28 \pm 5$  °C. Todos los jugos fueron microbiológicamente estables durante el periodo de almacenamiento. Atributos sensoriales evaluados mensualmente en los jugos (sabor, aroma, color, apariencia, textura en boca y aceptabilidad general) mostraron que la aceptabilidad general de los jugos esterilizados fue significativamente menor que

la de los jugos pasteurizados (con o sin benzoato de sodio) presentando los menores puntajes en sabor, aroma y color (corroborado con el análisis físico), por lo que el proceso térmico en las condiciones establecidas resultó destructivo. Los jugos almacenados en refrigeración presentaron mayor puntaje en la aceptabilidad general. Finalmente, en relación a la viscosidad, los valores de los jugos esterilizados fueron mayores, y en este sentido cabe destacar que en otro estudio realizado por los mismos autores, publicado con anterioridad (El-Samahy *et al.*, 2006) en el que evaluaron en parte, propiedades reológicas de frutos de pulpa de cactus de una variedad de Egipto de color anaranjado-amarillo llamada 'Shameia', señalaron que todos los valores de los parámetros estudiados (excepto el índice de comportamiento de flujo y la viscosidad plástica) disminuyeron con el incremento de la temperatura para la pulpa extraída de diferentes frutos hasta temperatura de 50 °C, y por encima de este valor se incrementaron, mientras que los del índice de flujo y la viscosidad plástica disminuyeron.

Una formulación óptima para una bebida fue establecida por Xiao *et al.* (2005) con 35 % de jugo clarificado de *Opuntia dillenii* Haw. y piña; 53,6 % agua; 8 % sacarosa; 2,8 % miel; 0,4 % ácido cítrico y 0,2 % citrato de potasio; siendo el mejor estabilizante la combinación de 0,2 % carboximetilcelulosa de sodio (CMC-Na) + 0,01 % goma xantán + 0,15 % pectina. En jugo de frutos de *O. dillenii* han sido identificados mayoritariamente los pigmentos betanina e isobetanina los cuales, en condiciones HPLC analíticas presentan idénticos tiempos de retención y migración a los de la remolacha (*Beta vulgaris*). La betanina e isobetanina mediante hidrólisis pueden ser convertidas a betanidina e isobetanidina, respectivamente (Lin *et al.*, 2001).

Stintzing *et al.* (2003) evaluaron parámetros del color en soluciones elaboradas con frutos de especies de cactus *Opuntia* e *Hylocereus* en intervalos de pH de 1,0 a 8,0; determinando que entre pH 3 y 7 todas las muestras fueron estables basándose en los parámetros croma (C\*) y ángulo de tono (h°). Los resultados de este trabajo fueron posteriormente confirmados en otro llevado a cabo por Moßhammer *et al.* (2005b) donde se informa que el máximo croma se alcanzó para las betaxantinas y jugo de color amarillo-naranja a pH 3 y para las betacianinas y jugo de color púrpura a pH 5.

En otro orden con el mismo sentido, Khatabi *et al.* (2010) han propuesto la utilización de extractos de cladodios de *Opuntia ficus indica* para la preparación de jugos pasteurizados como ingredientes promotores de la salud. Los autores estudiaron las características en relación a sus componentes bioactivos de plantas de 5 regiones de Marruecos: Khouribga (espinosa e inerme), Oud Zem (inerme), Boujaad (inerme), Béni Mellal (inerme) y Elkalaa (inerme). Determinaron el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante de los extractos por tres métodos: por decoloración de los radicales

DPPH<sup>•</sup> y ABTS<sup>•+</sup> (expresado como TEAC) y la habilidad de reducir iones Fe (FRAP, 'Ferric Reducing Ability of Plasma'), y encontraron cierta dependencia en la actividad en relación a la altura del cladodio en la planta. La actividad antioxidante fue atribuida por los autores a su composición de polifenoles, siendo la planta originaria de Elkalaa, la de mayor concentración de polifenoles totales con un nivel superior a 400 mg ácido gálico/L jugo.

#### 4.- Composición química (frutos, cladodios y semillas)

Frutos. En pulpa de frutos de *Opuntia ficus indica*, valores de composición química (en g/100 g de materia seca) de proteína 5,26 %; fibra cruda 1,44 % y extracto libre de nitrógeno 2,27 % han sido determinados por El-Samahy *et al.* (2009); y por Salim *et al.* (2009) contenidos de proteína 1,45 %; extracto etéreo 0,7 %; cenizas 1,0 %; sacarosa 0,19 %; glucosa 29 % y fructosa 24 %. En relación a estos 3 azúcares, Naderi *et al.* (2010) en análisis de la composición de azúcares (mediante sistema HPLC equipado con detector de índice de refracción) de extractos concentrados de frutos de *Hylocereus polyrhizus* revelaron que los 3 azúcares están presentes y la sacarosa fue detectada en todas las experiencias, en contraposición a Stintzing *et al.* (2003), quienes informaron que esos frutos carecen de sacarosa. Los autores expresaron que la contradicción en los resultados pudo deberse a los diferentes métodos utilizados. Mientras Stintzing *et al.* (2003) emplearon kits de prueba enzimáticos, ellos HPLC que es más fiable y preciso; señalando adicionalmente que la actividad de la invertasa en frutos puede ser diversa, lo que explicaría los resultados.

En el Cuadro 1 se presentan valores de composición química de frutos de cactáceas recopilados de otras fuentes.

**Cuadro 1.-** Composición proximal de frutos de diferentes especies de cactus (material fresco).

Especie	Humedad	Proteína cruda	Extracto etéreo	Fibra cruda	ELN	Cenizas	Autores
<i>O. ficus indica</i>	86,79	-	-	0,38	-	0,34	El-Samahy <i>et al.</i> , 2008
	88,27	0,9	0,5	-	-	0,39	Díaz-Medina <i>et al.</i> , 2007
<i>O. ficus indica</i> (verde)	81,7	1,5	0,1	3,7	16,3	0,4	Repo de Carrasco y Encina-Zelada, 2008
<i>O. ficus indica</i> (roja)	78,4	0,9	0,1	3,5	20,2	0,4	
<i>O. ficus indica</i> (anaranjada)	80,6	0,9	0,1	3,9	17,9	0,5	
<i>O. boldinghii</i>	-	0,57	0,37	-	-	0,16	Moreno-Álvarez <i>et al.</i> , 2006
<i>O. dillenii</i>	81,68	0,52	0,71	-	-	0,44	Díaz-Medina <i>et al.</i> , 2007
<i>O. elatior</i>	88,17	0,83	0,30	2,38	8,01	0,31	Moreno-Álvarez <i>et al.</i> , 2008
<i>O. joconostle</i>	87,30 -89,05	0,71-1,56	< 0,1	2,35-4,28	5,81-7,98	0,49-0,65	Contreras <i>et al.</i> , 2011

ELN: extracto libre de nitrógeno.

En relación a la composición mineral, para especies cultivadas en España (Isla de Tenerife, en diferentes regiones y altitud), valores promedios en peso fresco (en mg/kg) de Na 153 y 6,25; K 908 y 1583; Ca 535 y 263; Mg 454 y 251; Fe 1,53 y 198 han sido informados por Díaz-Medina *et al.* (2007) en frutos *Opuntia dillenii* y *Opuntia ficus indica*, respectivamente, observándose diferencias notables entre ambas especies. Cabe destacar que los autores comentan que estas especies en el año de 1820 fueron llevadas desde la costa este de México a Cádiz en España y fueron introducidas en las Islas Canarias en 1824. Por otra parte, El-Samahy *et al.* (2008) publicaron valores de Na 80,3; K 838,9; Ca 333,0; Mg 183,6 y Fe 6,43 mg/kg para frutos de la especie *O. ficus indica* adquiridos en Egipto (Kaluobia), los cuales en comparación con los de Díaz-Medina *et al.* (2007) también difieren notablemente incluso en el caso de la misma especie.

En especies que crecen de manera silvestre en Venezuela, Moreno-Álvarez *et al.* (2008) determinaron (en base húmeda) contenidos de calcio 50,66 y fósforo 8,88 mg/100 g en frutos de *Opuntia elatior* y de 24 mg/100 g de material fresco, para frutos de *Opuntia boldinghii* (Moreno-Álvarez *et al.*, 2006).

**Cladodios.** En cladodios de *Opuntia boldinghii* Britton y Rose, valores de composición química (en g/100 g de materia húmeda) de proteína 0,33 %; grasa 0,36 %; fibra dietética 4,15 %; pectina 0,17 %; cenizas 2,60 % y calcio 386,50 mg/100 g fueron publicados por Moreno-Álvarez *et al.* (2006). En cladodios de la especie *Opuntia elatior*, Moreno-Álvarez *et al.* (2008) informó (en peso fresco, %) valores de humedad 91,32; proteína 0,32; extracto etéreo 0,34; fibra cruda 0,37; cenizas 2,19 y extracto libre de nitrógeno 5,46.

En el Cuadro 2 se presentan datos de composición química de cladodios de cactáceas compilados de otras fuentes.

**Cuadro 2.-** Composición proximal de cladodios de diferentes especies de cactus.

Especie	Humedad (% peso fresco)	Proteína cruda	Extracto etéreo	Fibra cruda	ELN	Cenizas	Autor(es)
	94,12-94,88	2,07-2,59	2,59-3,85	8,57-13,42	-	17,83-19,15	Hernández <i>et al.</i> , 2010
<i>O. ficus indica</i>	88-12-94,72	3,10-11,00	-	-	-	11,20-22,96	Mounia y Mohamed, 2010
	-	7,07-8,99	1,42-2,38	11,00-23,33	-	17,65-24,30	Hernández- Urbiola <i>et al.</i> , 2011
<i>O. ficus indica</i> (cv. Aissa)	85,76-92,39	-	-	-	-	10,21-16,59	Boujnah, 2010
<i>O. ficus indica</i> (cv. Moussa)	85,09-92,49	-	-	-	-	10,59-14,23	
<i>O. monocantha</i>	91,10	5,40	1,40	18,50	-	15,00	Valente <i>et al.</i> , 2010
<i>O. boldinghii</i>	-	9,50	0,95	9,33	59,87	20,34	Padrón-Pereira <i>et al.</i> , 2009a

ELN: extracto libre de nitrógeno.

En relación a la composición mineral de cladodios, Moreno-Álvarez *et al.* (2008) determinaron contenidos (en material húmedo) de Na 275 y P 12,23 mg/100 g en la especie *Opuntia elatior*, que crece en Venezuela (Estado Carabobo). Contenidos en base húmeda de Na 0,0018-0,0183; Ca 0,042-0,339; K 0,00098-0,145 y Fe 0,0792-0,322 % para cladodios (*Opuntia ficus-indica*) de aproximadamente 1 mes a 1 año de edad, respectivamente, fueron publicados por Guzmán-Loayza y Chávez (2007) en Perú (Arequipa a 1620 msnm).

Es ampliamente conocido que los cladodios son fuente importante de calcio y mayores estudios acerca de su biodisponibilidad serían convenientes (Sáenz *et al.*, 2006).

**Semillas.** En relación a las semillas de cactus, la composición proximal de semillas de *Opuntia boldinghii* Britton y Rose ha sido determinada por García-Pantaleón *et al.* (2009) presentando contenidos de proteína de  $2,89 \pm$

0,15 % y de extracto etéreo de  $5,53 \pm 0,16$  % (en base húmeda). Asimismo, en la fracción lipídica determinaron una mayor concentración de ácido linoleico (67,2 %) seguido del ácido oleico (18 %) y entre los ácidos saturados, el palmítico con 10,4 %. Esta tendencia es igual a las concentraciones en ácidos grasos cuantificadas por Özcan y Al Juhaimi (2011) en semillas de *Opuntia ficus indica* L. con ácido linoleico 61,01 % seguido del ácido oleico 25,52 % y ácido palmítico 12,23 %, quienes encontraron además bajas concentraciones de los ácidos grasos mirístico, esteárico y araquidónico. Tanto García-Pantaleón *et al.* (2009) como Özcan y Al Juhaimi (2011) coincidieron en recomendar el aceite obtenido como posible agente nutraceutico. Valores similares de linoleico 70,3 y 74,8 %; oleico 16,8 y 12,8 % y palmítico 9,32 y 7,21 %; fueron publicados por Ennouri *et al.* (2005) para las especies *O. ficus indica* and *O. stricta*, respectivamente. En *O. ficus indica* los ácidos oleico y linoleico, constituyen

el 87 % del total de ácidos grasos y la relación de ácidos grasos saturados (12,43 %) a monoinsaturados (18,19 %) y poliinsaturados (70,29 %), ha sido establecida en 1:1,5:5,6 por Ennouri *et al.* (2006) quienes además han informado que el patrón de lípidos del aceite de las semillas es comparable al de los aceites de girasol y de semillas de uva.

En semillas de *Opuntia ficus indica* L. han sido cuantificados por Özcan y Al Juhaimi (2011) contenidos de Ca 471,2; K 532,7; Mg 117,3; P 1627,5 y *natrium* (Na) 71 mg/kg para una especie de *Opuntia ficus indica* L. que crece en Turquía.

Coşkuner y Tekin (2003) han sugerido que las semillas de frutos de *Opuntia ficus-indica* L. son adecuadas para ser utilizadas en la alimentación animal, estos autores, llevaron a cabo análisis químicos durante el periodo de maduración de los frutos durante 15 semanas, determinando en promedio, contenidos de aceite crudo 61,9, proteína 9,4, fibra cruda 507,4, cenizas 12,3 y carbohidratos 409,0 g/kg y en el aceite de las semillas cantidades de ácido linoleico de 522,5 – 577,6, oleico 210,5 – 256,0 y palmítico 132,1 – 156 g/kg, comparables al aceite de maíz.

Por otra parte, la composición proximal de harina de semillas de frutos maduros de *Opuntia ficus indica* adquiridos en un mercado local en Egipto (Assuit) fue determinada por Nassar (2008), presentando valores promedios de humedad 9,03; proteína 13,62; extracto etéreo 10,43; cenizas 6,47 y carbohidratos 51,11 %. En el mismo trabajo realizaron otro ensayo y obtuvieron un concentrado de proteínas de las semillas con las siguientes cantidades porcentuales: humedad 7,16; proteína 62,41; extracto etéreo 3,57; cenizas 5,31 y carbohidratos 15,79. Tanto a la harina como al concentrado de proteínas le determinaron la composición de aminoácidos observando que en ambos productos, de los 8 aminoácidos esenciales, solo metionina, treonina y tirosina se encontraron en menores niveles que los referenciados por la FAO

(‘Food and Agriculture Organization of the United Nations’) sobre el contenido de aminoácidos en alimentos. La capacidad espumante (FC, ‘foam capacity’) y la estabilidad de la espuma (FS ‘foam stability’) en el tiempo (de 0 a 90 min) de ambos productos también fueron experimentadas. Respectivamente para la harina y el concentrado proteico, los mas bajos valores de FC (30 y 27 %) fueron obtenidos a pH 4,5; FC se incrementó significativamente a pH 8 y 10, alcanzando 84 y 96, 97 y 100 %. En el efecto del pH sobre FS, en todos los casos para ambos productos disminuyó gradualmente y con comportamientos similares. A los 90 min a pH 4,5 el valor de FS del concentrado proteico de las semillas fue de 11 % y a pH 6 el FS de la harina fue de 12 %. A pH ácido (2) y alcalino (8 y 10) FS se incrementó. Finalmente, la capacidad de absorción de agua y aceite del concentrado proteico fueron mayores que los de la harina de semillas.

Cabe destacar en otro sentido, que en ratas a las que se les suministró dietas suplementadas con polvo de semillas de *Opuntia ficus-indica* versus un control, ha sido demostrado que el polvo ejerce un efecto hipolipidémico (Ennouri, 2008) y también cuando se suplementa la dieta con aceite de las semillas (Ennouri *et al.*, 2007).

#### 4.1.- Mucílago y pectina

El contenido de mucílago en cladodios de cactus puede variar de 3,78 a 8,5 % y el de pectina de 5,32 a 14,19 % según un estudio llevado a cabo por Peña-Valdivia *et al.* (2006) en 13 variedades de *Opuntia* spp.

Los cladodios son ricos en mucílago, carbohidratos complejos con gran capacidad de absorber agua y considerados fuente potencial industrial de hidrocoloides; contienen L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico en proporciones que varían acorde al manejo del cultivo, temperatura y humedad (Sáenz *et al.*, 2004). El mucílago, sin

capacidad de gelificación pero con la característica de formar soluciones con alto grado de viscosidad cuando se mezcla con agua, presenta composición química similar a las pectinas y por esta razón es generalmente asociado a ellas, no obstante, no parece estar químicamente relacionado, de manera covalente o no, a las pectinas estructurales de la pared celular (Goycoolea y Cárdenas, 2003). Sepúlveda *et al.* (2007) caracterizaron el mucílago de cladodios de la especie *Opuntia ficus indica* llevando a cabo 2 ensayos. Uno para determinar el mejor método de extracción de mucílago a partir de los cladodios y otro para optimizar la precipitación del mucílago luego de la extracción. En la extracción el mejor rendimiento (1,56 % en peso fresco) se alcanzó en relación 1:7 (cladodio:agua), temperatura  $40 \pm 2$  °C y tiempo 4 h. En la precipitación utilizando alcohol isopropílico y etanol (ambos al 95 %) los autores notaron que a relación 1:3 (extracto:alcohol) el mucílago precipitado fue ligeramente superior con etanol, sin embargo, aumentando el volumen de alcohol (1:4) los valores fueron similares para ambos. En la caracterización del mucílago obtuvieron para los ensayos de extracción y precipitación, respectivamente, contenidos promedios (en base fresca) de proteína 7,6 y 7,2 % y cenizas 39,3 y 37,3 %; con humedades de 5,9 y 5,2 %.

En frutos pelados de *Opuntia ficus indica*, la composición en azúcares del mucílago fue caracterizada por Matsuhiro *et al.* (2006). A partir de 12 kg de frutos obtuvieron un rendimiento de 3,8 % en mucílago el cual contuvo 93,48 % de azúcares. El contenido de ácido urónico determinado espectrofotométricamente por el método m-hidroxidifenil fue de 23,4 % y luego de saponificación del mucílago se incrementó a 42,3 % lo que indicó que una considerable proporción de ácido urónico fue esterificada. La hidrólisis ácida total y posterior análisis cromatográfico mostró la presencia de arabinosa, ramnosa, xilosa y galactosa, y un

análisis HPLC de la fracción ácida del hidrolizado identificó al ácido urónico como ácido poligalacturónico. Los autores concluyen que el mucílago aislado es una compleja mezcla de polisacáridos, de los cuales menos del 50 % corresponden a polímeros similares a las pectinas. Adicionalmente, mediante el método Bradford no detectaron proteínas en el mucílago.

En el estudio de composición de polisacáridos de la pared celular de pulpa de frutos de *Hylocereus* sp., Ramírez-Truque *et al.* (2011) consideraron que el limitado contenido de ácido urónico (32,3 %) obtenido en el residuo insoluble de alcohol extraído en su experiencia y el alto grado de esterificación de las pectinas, la consistencia altamente viscosa de la pulpa de estos frutos no puede ser atribuida a fracciones de pectina. Esta última observación se encuentra en estrecha relación con la apreciación de Goycoolea y Cárdenas (2003).

En relación a las pectinas, Cárdenas *et al.* (2008), aislaron pectina totalmente desesterificada de cladodios frescos de *Opuntia ficus indica* con un rendimiento de 0,6 % p/p (peso fresco), presentando el extracto alcalino de pectina de cactus una composición de azúcares de 85,4 % de ácidos urónicos, galactosa 7,0 %, arabinosa 6,0 % y cantidades menores de ramnosa y xilosa. La glucosa y el ácido galacturónico son los principales azúcares presentes en cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Ginestra *et al.*, 2009).

En frutos de *Opuntia boldinghii* (material húmedo) han sido publicados valores de contenido de pectina 0,14 % (Moreno-Álvarez *et al.*, 2006) y para la especie *Opuntia elatior* 0,12 % (Moreno-Álvarez *et al.*, 2008). En cladodios (material húmedo) de *Opuntia elatior* 0,10 % de pectina (Moreno-Álvarez *et al.*, 2008).

Cabe agregar que los cladodios poseen una acción protectora contra la formación de úlceras en la mucosa gástrica y para dilucidar dicho efecto citoprotectivo, Galati *et al.* (2007)

extrajeron el mucílago y pectina suministrándolo a ratas a las que se les indujo úlcera, considerando en el estudio que el efecto protectorio de los cladodios puede ser atribuido al mucílago y no significativamente a la pectina.

En otro sentido, tecnológicamente, el mucílago extraído de cladodios de *Opuntia ficus indica* ha sido ensayado como cubierta protectora en la inhibición del oscurecimiento durante el secado en tunel a 50 °C, velocidad de aire 2 m/s por 5 h, de rebanadas de plátano var. Roatán. En el estudio realizado por Aquino *et al.* (2009), los autores luego de extraer y secar el mucílago, probaron diluciones del mismo en agua a distintas viscosidades (10 a 40 mPa) y los tratamientos incluyeron la utilización de ácido cítrico (0,5 y 1,0 %) y bisulfito de sodio (200 y 500 ppm), concluyendo que para la reducción del oscurecimiento se requirió una solución de mucílago con viscosidad 35 mPa, ácido cítrico 1,0 % y bisulfito de sodio 500 ppm. En el estudio de las coordenadas de color (L\*, a\* y b\*) observaron que el mucílago proporcionó brillo al material deshidratado. También se ha señalado que el mucílago presente en los cladodios disminuye la extractabilidad de los carotenoides contenidos en los mismos (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003).

#### 4.2.- Betalaínas

Los aminoácidos y aminos son los precursores de las betalaínas (Kugler *et al.*, 2006), pigmentos mayoritarios en frutos de diversas especies de cactus. Las betalaínas presentan ventajas comparativas frente a otros pigmentos naturales tales como las antocianinas debido a su estabilidad en un intervalo mayor de pH y su variedad de color relacionada con la diversidad estructural. Comparativamente frente a las betalaínas extraídas de remolacha, las obtenidas de frutos de cactáceas no presentan impactos sensoriales negativos ni carga de nitratos por lo cual son una alternativa muy promisoría para la obtención de colorantes

alimentarios, especialmente en la gama de los amarillos donde los pigmentos naturales hidrosolubles son escasos. Moßhammer *et al.* (2005a) desarrollaron un preparado a base de betalaínas para colorear alimentos a partir de jugos de *Opuntia ficus-indica* cv. Gialla and cv. Rossa, (frutos amarillos y rojos, respectivamente). Para ello separaron la pulpa de la piel y removieron las semillas a partir de los frutos congelados. El jugo obtenido fue tratado enzimáticamente para la degradación de sustancias pécticas. Durante este proceso se realizó un monitoreo de cambios en calidad considerando los parámetros químicos y de color. Los autores concluyen que son necesarios más estudios para lograr la retención del color y su estabilización durante el almacenamiento.

En clones de *O. ficus-indica* y *O. robusta* Stintzing *et al.* (2005) determinaron valores de betaxantinas, pigmentos de color amarillo-naranja, y de betacianinas, pigmentos de color rojo a violeta, en intervalos entre 65,9 y 1140,4 mg/kg siendo estos valores concordantes con publicaciones anteriores (Stintzing *et al.*, 2001; Stintzing *et al.*, 2003). En pulpa de frutos de *Escontria chiotilla* (Weber) Britton y Rose, Soriano-Santos *et al.* (2007) identificaron el pigmento rojo como betalaínas, cuantificando en el extracto crudo 89 ± 6,5 mg de betacianinas/kg de pulpa (betanina) y 119,31 mg de betaxantinas/kg de pulpa (vulgaxantina I, vulgaxantina II e indicaxantina).

Contenidos de betalaínas determinados en frutos de 9 variedades de *Opuntia* spp. por Chávez-Santoscoy *et al.* (2009) presentaron las siguientes variaciones: betanina de 1,6 (*Opuntia robusta*, Gavia) a 300,5 µg/g (*Opuntia robusta*, Tapon) e indicaxantina de 3,1 (*Opuntia leucotracha*, Duraznillo Rojo) a 189,9 µg/g (*Opuntia robusta*, Tapon). Los mismos pigmentos fueron cuantificados en 12 variedades de *Opuntia* spp. por Figueroa-Cares *et al.* (2010) oscilando en intervalos de 5,94 mg/L en el cv. Mansa (blanco) a 681,94 mg/L

en el cv. Tapón Aguanoso (púrpura) para betanina y de 7,23 mg/L a 276 mg/L para indicaxantina en los mismos cultivares, respectivamente, por lo que las variaciones pueden ser notables entre variedades.

En frutos de *Opuntia boldinghii* y *Opuntia elatior*, han sido cuantificados contenidos de betalaínas de 5,88 mg/100 mL (Moreno-Álvarez *et al.*, 2006) y 6,93 mg/100 mL (Moreno-Álvarez *et al.*, 2008), respectivamente para ambas especies.

Estos pigmentos son termolábiles. En frutos de *Opuntia stricta*, *Opuntia undulata* y *Opuntia ficus-indica*, Castellar *et al.* (2003) estudiaron las propiedades colorantes de sus pigmentos y observaron que la estabilidad térmica de los extractos de pigmentos fue dependiente del pH; con máxima estabilidad a pH 5. Asimismo, Fernández-López *et al.* (2007) han informado que el mecanismo de la degradación del color de la betacianina de extractos de frutos de cactus (*Opuntia stricta*) en calentamiento moderado (50 °C) se vio influenciado de manera dependiente por el pH. En su estudio, concentraciones idénticas de betacianinas fueron ensayadas a 50 °C y a valores de pH de 3, 5 y 7 por 28 horas. A pH 3 y 5 cerca del 50 % de las cantidades iniciales fueron detectadas a las 16 h y a pH 7 una rápida pérdida de color afectó a todos los pigmentos, excepto a betanina.

En otro sentido, numerosos estudios indican que las betalaínas poseen propiedades antioxidantes relacionadas con efectos benéficos para la salud, preventivos de enfermedades (Galati *et al.*, 2003) y sus efectos positivos sobre el nivel antioxidante del organismo (Tesoriere *et al.*, 2004). Luego de la ingestión de frutos frescos de cactáceas, las betalaínas presentan su máximo nivel en sangre a las 3 horas con una posterior disminución gradual de la concentración hasta su total desaparición al cabo de 8 horas (Tesoriere *et al.*, 2005). El rol de las betalaínas en la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo y en el incremento en la resistencia a

la oxidación de LDL en humanos también ha sido documentado (Tesoriere *et al.*, 2003). La ingesta regular de *Opuntia robusta* es capaz de reducir significativamente daños oxidativos *in vivo* en un grupo de pacientes que sufren de hipercolesterolemia, según lo informado por Budinsky *et al.* (2001) aunque en el mencionado estudio no alcanzó a establecerse cuales son los compuestos responsables de tal bioactividad.

Extracción de betalaínas. Se han realizados ensayos para la extracción u obtención de estos colorantes. La extracción de colorantes de frutos de *Opuntia lasiacantha* Pfeiffer fue llevada a cabo por Díaz-Sánchez *et al.* (2006), quienes identificaron al pigmento betanina (betacianina de las betalaínas) con contenidos en extractos de 19,33; 20,80 y 27,70 mg/100 g, en especies de 3 localidades del Estado de Hidalgo, México. Uno de los extractos (19,33 mg/100 g) fue homogeneizado con maltodextrina 10 DE (agente protector) y sometido a secado spray obteniendo una cantidad de betanina en polvo de 67,5 mg/100 g. En las muestras, la retención de pigmentos basada en las coordenadas de color a\* y C\* (referidas a la intensidad de rojo) después de 24 semanas fue de 86,20 %.

El colorante betanina a altas concentraciones y baja viscosidad ha sido obtenido mediante fermentación del jugo de frutos *Opuntia stricta* (Haw.) por Castellar *et al.* (2008) utilizando el cultivo *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* AWRI 796, presentando el producto final, características de pH 3,41, grados Brix 5,2, concentración de 9,65 g/L de betanina y viscosidad 52,5 cP.

#### 4.3.- Otros componentes bioactivos

Nazareno (2010) realizó una exposición en la que presentó una revisión de los usos tradicionales y populares de los productos de cactus y de los resultados de los estudios científicos más recientes sobre las propiedades medicinales. Un resumen es el siguiente: las

antiguas civilizaciones mesoamericanas (hace miles de años) ya reconocían la capacidad de preparados de cactus para curar enfermedades y sanar las heridas. Tanto el nopal, como los frutos y las flores han sido tradicionalmente utilizados como medicamentos en varios países. Los cladodios todavía se utilizan en medicina popular para el tratamiento de la úlcera gástrica. También son conocidas las propiedades de las infusiones de flores de cactus secos para prevenir el cáncer de próstata. Notables progresos se han logrado en las últimas décadas en la prevención de enfermedades haciendo uso de los frutos, hierbas y verduras. Los estudios científicos en modelos experimentales, han confirmado que los cladodios liofilizados tienen significativo efecto antiulceroso, efecto protector contra las lesiones gástricas, así como actividad antiinflamatoria. Se ha demostrado que una suplementación de la dieta con frutas de *Opuntia ficus-indica* disminuye el estrés oxidativo en humanos sanos y, por tanto, mejora su nivel antioxidante total. También se demostró que estos frutos tienen efecto preventivo del cáncer de ovario siendo esta actividad evaluada en la supresión de la carcinogénesis en modelos *in vitro* e *in vivo*. Los cladodios de *Opuntia ficus-indica* suministrados a ratas con hipercolesterolemia produjeron una marcada disminución en el colesterol y los niveles de triglicéridos en muestras de plasma. Experimentos en pacientes con diabetes mellitus no insulino-dependiente han confirmado los efectos hipoglucemiantes de los cladodios de *Opuntia streptacantha*. Por otra parte, el consumo regular de cladodios ha demostrado reducir la obesidad y la glucosa en la sangre. Experimentos relativos a la acción antiviral de extractos de cladodios de cactus se han llevado a cabo contra los virus, como el herpes, virus VIH-1 y la gripe A. En base a lo expuesto puede concluirse que el conocimiento de las propiedades funcionales de los productos de cactus permitirá el aprovechamiento más eficiente en la alimentación tanto humana como animal, y en las industrias cosmética y farma-

céutica.

El descubrimiento de nuevos compuestos obtenidos a partir de fuentes naturales con alta actividad antioxidante, es un desafío constante para los investigadores. Hay muchos grupos de compuestos tales como, los carotenoides, betalaínas, vitamina C, flavonoides y compuestos fenólicos con esta propiedad, siendo los cactus, excelentes fuentes de estas sustancias bioactivas (Nazareno y González, 2008). El interés de muchas investigaciones se enfoca en el análisis de pigmentos (betacianinas y betaxantinas) y de otras, aunque pocas refieren a los flavonoides de especies y variedades de cactus (Moussa-Ayoub *et al.*, 2010). Además de los pigmentos, también se encuentran presentes en estos frutos otros componentes de fuerte acción antioxidante tales como los polifenoles (Lee y Lim, 2000). Se han encontrado flavonoles 3-*O*-glicosilados, dihidroflavonoles, flavononas, y flavanoles en plantas y frutas de la familia Cactaceae (Kuti, 2000). Se han informado muchas clases de flavonoides como componentes de las Opuntias, siendo su tipo y su contenido muy variable de acuerdo al tipo de tejido, la variedad, maduración (Wallace, 1986), estado de desarrollo y época de cosecha (Rodríguez-Félix *et al.*, 2010).

La identificación y cuantificación de agliconas de flavonoles en frutos de *Opuntia ficus indica* fue realizada por Moussa-Ayoub *et al.* (2011) mediante el uso de agentes hidrolíticos suaves como pectinasas y celulasas sobre el extracto de flavonoides glicosilados. La hidrólisis ácida del extracto produjo la degradación de los flavonoles dando como producto principal el ácido protocatechuico, por el contrario la hidrólisis enzimática tuvo un efecto menos agresivo y el proceso se completó en 16 h. En este trabajo se demostró que la piel de los frutos de cactáceas son una fuente única de glicósidos de isoramnetina siendo el contenido de 91  $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$  de piel. Estos resultados están en acuerdo con publicaciones de otros autores quienes han informado la pre-

sencia de cantidades significativas de flavonoides como isoramnetina-3-rutinósido, rutina y kaempferol-3-rutinósido en cultivares de *Opuntia ficus indica* de frutos rojos y amarillos (Galati *et al.*, 2003).

Kuti (2004) informó acerca de la actividad antioxidante de extractos de frutas de 4 variedades de Opuntias (*O. ficus-indica*, *O. lindheimeri*, *O. streptanantha* y *O. stricta* var. *stricta*, frutos de cáscaras verde, morada, roja y amarilla, respectivamente) siendo esta capacidad atribuida a la presencia de flavonoides (derivados de quercetina, principalmente para todas las variedades y de derivados de kaempferol e isoramnetina), ácido ascórbico y carotenoides. El contenido de flavonoides presentó valores comprendidos entre 9,8 a 93,5 µg/g de fruta fresca, observándose el mayor valor para los frutos de cáscara morada. El contenido de ácido ascórbico fue muy variable y el intervalo para los frutos morados fue de 10 a 111 µg/g, y de 23 a 792 µg/g para los de cáscara roja. En el caso de los carotenoides, los mayores valores se encontraron para los frutos de cáscara amarilla. (6,0 a 17,7 µg/g) y los menores valores para los de cáscara verde (1,2 a 1,7 µg/g). Asimismo, se encontró correlación entre los valores determinados de ORAC ('Oxygen Radical Antioxidant Capacity') y los contenidos de flavonoides, no así con los contenidos de ácido ascórbico y de carotenoides. Es decir la acción antioxidante de estos frutos fue atribuida por el autor fundamentalmente a la presencia de flavonoides.

Stintzing *et al.* (2005) evaluaron la capacidad antioxidante en términos de TEAC y ORAC en frutos clones de *O. ficus-indica* y *O. robusta* y la relacionaron con los contenidos de polifenoles, betalaínas y ácido ascórbico de estos frutos, encontrando que el potencial antioxidante de éstos tuvo una fuerte correlación con el total de polifenoles aunque en menor grado con los de betacianinas y betaxantinas. En este trabajo se determinaron contenidos de ácido ascórbico hasta 10 veces

menores que otros publicados con anterioridad por Butera *et al.* (2002) y Gurrieri *et al.* (2000). Los valores TEAC y ORAC para estos frutos de *Opuntia* y sus jugos fueron relativamente bajos comparados con los de otras frutas y vegetales estudiados con anterioridad.

Los contenidos de polifenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante del jugo extraído de frutos en 9 especies de *Opuntia* spp. fueron caracterizados por Chávez-Santoscoy *et al.* (2009). En el estudio, diferencias notables entre variedades fueron observadas. Los autores determinaron intervalos de contenido total de compuestos fenólicos de 22,3 (*Opuntia robusta*, Tapon) a 226,3 µg de ácido gálico equivalente/g (*Opuntia leucotricha*, Duraznillo Rojo) y flavonoides de 95,8 (*Opuntia leucotricha*, Duraznillo Rojo) a 374,3 µg de quercetina equivalente/g, (*Opuntia violaceae*, Moradillo). Los valores de ORAC oscilaron en intervalos de 17,4 (*Opuntia robusta*, Amarillo) a 25,8 µmol trolox equivalente/mL (*Opuntia rastrera*, Rastrero). En el mismo trabajo se realizaron pruebas *in vitro* contra 4 líneas celulares de cáncer: próstata, colon, mamario y hepático utilizando un control (fibroplastos normales). La viabilidad de las células de cáncer de próstata fue una de las mas afectadas, especialmente por el jugo de *Opuntia violaceae* (Moradillo), aunque también disminuyó el crecimiento del control. *Opuntia rastrera* (Rastrero) también disminuyó el crecimiento de células de cáncer de próstata pero no afectó la viabilidad del control; el jugo de esta especie fue efectivo en la disminución de la viabilidad de las 4 líneas celulares de cáncer estudiadas, destacando que tuvo la mayor capacidad antioxidante. El jugo de *Opuntia robusta* (Gavia) fue el mas efectivo contra el crecimiento de células de cáncer de colon. Los jugos de *O. rastrera* (Rastrero) y *O. robusta* (Gavia, Amarillo y Tapon) fueron los que disminuyeron la viabilidad de células de cáncer hepático.

La actividad antioxidante y efecto inhibi-

torio de extractos de *Opuntia dillenii* Haw. y sus compuestos activos en la peroxidación lipídica en lipoproteínas de baja densidad fueron estudiados por Chang *et al.* (2008), indicando los resultados que la TEAC y ORAC fueron mayores en el siguiente orden: semillas > piel > pulpa; determinando mediante HPLC que las semillas contienen altas cantidades de polifenoles y flavonoides (212,8 y 144,1 mg/100 g de semillas frescas, respectivamente), tales como, ácido gálico, catequina, ácido sinapínico, epicatequina, ácido *p*-cumárico, quercetina y ácido ferúlico, pero no betanina, isobetanina y ácido ascórbico, que si se encuentran presentes en la piel y pulpa.

El análisis cualitativo y cuantitativo de los flavonoides de un extracto metanólico de flores de *Opuntia ficus-indica* fue descrito por De Leo *et al.* (2010). Mediante análisis HPLC-PDA-ESI-MS/MS identificaron los compuestos: kaempferol, quercetina y derivados de isoramnetina. La cantidad total de flavonoides en las flores fue de 81,75 mg/1 g de material fresco, siendo isoramnetina-3-*O*-robinobiósido el mayor componente. La composición de volátiles también fue caracterizada, identificando 18 componentes, siendo los principales encontrados: germacreno D (12,6 %), 1-hexanol (12,3 %), *n*-tetradecano (9,1 %) y decanal (8,2 %).

### 5.- Actividad atrapadora de radicales

Considerando la gran diversidad de colores que presentan los frutos maduros en sus pulpas, la actividad antirradicalaria de frutos de *O. megacantha*, *O. ficus-indica* y *O. spp.* con pulpas de colores morado, morado oscuro, rosado, anaranjado, amarillo y verde fue evaluada por Coria-Cayupán *et al.* (2011) frente a los radicales DPPH<sup>•</sup> y ABTS<sup>•+</sup>. También determinaron en los frutos maduros el contenido de sustancias bioactivas, tales como, ácido ascórbico, polifenoles y betalaínas, diferenciando entre betacianinas y betaxantinas. Se encontraron niveles muy variables en sólidos

solubles totales y contenidos de vitamina C desde 0,26 a 0,48 mg/g mientras que el contenido de fenólicos presentó un intervalo entre 0,54 y 1,2 mg ácido gálico equivalente/g. La actividad antirradicalaria también presentó alta variabilidad entre los distintos frutos. Aún cuando los de color morado oscuro presentaron mayores niveles de betalaínas y de polifenoles, el mayor valor depurador de radicales libres fue para *Opuntia ficus-indica* color morado, indicando que el contenido de ácido ascórbico tiene un rol preponderante en la capacidad antioxidante total de los extractos.

Yahia *et al.* (2010) determinaron la actividad antioxidante de 10 cultivares y líneas de extractos de frutos de *Opuntia spp.*, así como también sus componentes nutricionales. Ensayaron el poder antioxidante de reductor de iones férricos y la capacidad de atrapar al radical DPPH<sup>•</sup> de extractos lipofílicos e hidrofílicos. Encontraron que el cv. 'Camuesa' presentó los mayores niveles de betalaínas, carotenoides totales y ácido ascórbico aunque su actividad antioxidante no mostró diferencias significativas frente a otros cultivares o líneas. La variedad emergente 'Roja Pelota' fue la de mayor actividad antirradicalaria aunque los contenidos de carotenoides y polifenoles no fueron altos.

Maataoui *et al.* (2006) evaluaron la actividad antioxidante de jugos de frutos de cactus *in vitro* mediante prueba de actividad DPPH<sup>•</sup>, donde los compuestos fenólicos, flavonoides y pigmentos del tipo betalaína mostraron mayor actividad que la vitamina C, siendo la acción antirradicalaria de los pigmentos (indicaxantina y betanina) superior a la de los compuestos fenólicos; presentando los frutos color púrpura mayor actividad que los amarillo-naranja. En el mismo sentido, Figueroa-Cares *et al.* (2010) evaluaron el contenido de fenoles, pigmentos (entre otros compuestos químicos) y la capacidad antioxidante de frutos de 12 cultivares de cactus. Cultivares con fruto blanco: Cristalina, Mansa y Vaquera (*O. albicarpa*); con fruto

amarillo: Amarilla Diamante (*O. ficus-indica*) y Mango (*O. albicarpa*); con fruto anaranjado: Amarilla Montesa y Pico Chulo (*O. megacantha*); con fruto rojo: Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla y Torreaja (*O. megacantha*); y con fruto púrpura: Cacalote (*O. cochineria*) y Tapón Aguanoso (*O. robusta* var. *Robusta*). Los frutos blancos presentaron contenidos de fenoles significativamente menores que el resto y en los cultivares Tapón Aguanoso (púrpura), Amarilla Diamante y Mango (amarillo) concentraciones mayores, no observando una relación directa con el color de los frutos. Todos los frutos a excepción del cv. Pabellón (rojo) presentaron alta capacidad antioxidante. Repo de Carrasco y Encina-Zelada (2008) han señalado que la capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de pigmentos de los frutos. En su investigación, que involucró el estudio de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* de distintos colores (roja, anaranjada y verde) los frutos rojos mostraron mayor capacidad antioxidante (77,65 % de inhibición del radical DPPH<sup>•</sup>) que los anaranjados (41,65 %), y estos a su vez, mayor que los verdes (34,20 %). Los autores expresaron que la capacidad antioxidante de un alimento se debe a la actividad antioxidante de sus diferentes compuestos, entre los cuales están los compuestos fenólicos, carotenos y ácido ascórbico, entre otros.

Por otra parte, la actividad antioxidante de extractos etanólicos pero de cladodios de *Opuntia ficus-indica* var. Saboten ha sido estudiada por Lee *et al.* (2002). En el ensayo, el extracto mostró potente actividad atrapadora de radicales (DPPH<sup>•</sup>), similar a la del ácido ascórbico; soportando su hipótesis con el alto contenido de compuestos fenólicos determinados ( $180,3 \pm 18,6$  mg/g). También, Guevara-Figueroa *et al.* (2010) en cladodios de variedades que crecen en su ambiente natural en México (Morado, Tempranillo, Blanco y Cristalino), encontraron alto contenido de ácidos fenólicos e identificaron 5 flavonoides (isoquercitrina, isoramnetina-3-*O*-glucósido,

nicotiflorina, rutina y narcisina) en todas las variedades estudiadas, siendo nicotiflorina el predominante, seguido de narcisina. Y por su parte, Valente *et al.* (2010) en cladodios de la especie *Opuntia monacantha* Haw., en Brasil, aislaron kaempferol e isoramnetina a través del fraccionamiento de la actividad-dirigida a partir del extracto metanólico activo empleando técnicas de TLC ('Thin Layer Chromatography'), HPLC-DAD ('High Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detection') y NMR ('Nuclear Magnetic Resonance') para detectar e identificar los compuestos.

Finalmente, un relevamiento del contenido de fitoquímicos y de la actividad atrapadora de radicales libres de distintas especies de cactáceas que se encuentran en la flora santiagueña (Argentina) fue llevado a cabo por Nazareno *et al.* (2010). El trabajo persigue revalorizar especies del monte nativo de gran potencialidad por sus propiedades nutricionales y antioxidantes. Se describen las características químicas de los frutos y su composición de vitaminas y pigmentos; especialmente vitamina C, betalaínas y clorofilas por ser los componentes bioactivos mayoritarios conjuntamente con compuestos polifenólicos. También se presentan estudios referidos a la variación de la actividad antioxidante y contenido de fitoquímicos durante la maduración de los frutos en la planta, una vez alcanzada la madurez fisiológica y el almacenamiento poscosecha en condiciones de refrigeración y en condiciones que simulan el transporte para su comercialización por un período de hasta 4 semanas. Es descrita también, la pérdida de la capacidad antioxidante por la elaboración de productos que requieren cocción y se sugieren los procesamientos que permiten el mayor nivel de retención de esta propiedad benéfica para la salud.

## CONCLUSIONES

En las últimas décadas numerosos estudios científicos demuestran que las cactáceas son ricas fuentes de fitoquímicos de gran potencialidad por sus propiedades funcionales y medicinales. Sin embargo, son muchos y diversos los factores que afectan la composición de vitaminas, pigmentos y otras sustancias bioactivas de las cactáceas, por este motivo, el relevamiento de la variación de los contenidos y naturaleza de estos constituyentes es información muy valiosa. Por otra parte, algunos componentes de las plantas de cactus pueden verse alterados por efecto del procesamiento destinado para su conservación o secado, aunque también pueden ser modificados para mejorar sus propiedades. En este sentido, un amplio espectro de nuevas tecnologías está siendo explorado a fin de obtener alimentos cuya función no sea solamente un aporte nutricional sino también que represente un beneficio para la salud de los consumidores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Sánchez, Laura; Martínez-Damián, María Teresa; Barrientos-Priego, Alejandro, F.; Aguilar-Gallegos, Norman y Gallegos-Vásquez, Clemente. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitas. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 9:165-184.
- Aquino, Laura V.; Rodríguez, Juan; Méndez Lilia L. y Torres, Kenia F. 2009. Inhibición del oscurecimiento con mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el secado de plátano Roatán. *Información Tecnológica*. 20(4):15-20.
- Ayala-A., Alfredo A.; Serna-C., Liliana y Mosquera-V., Esmeralda S. 2010. Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica (Universidad de Antioquia, Colombia)*. 17(2):121-127.
- Ayala-Aponte, Alfredo A.; Giraldo-Cuartas, Carlos Julián y Serna-Cock, Liliana. 2010. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Interciencia*. 35(7):539-544.
- Ayala-Aponte, Alfredo Adolfo; Serna-Cock, Liliana y Giraldo-Cuartas, Julián. 2009. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* S.) empleando soluciones de sacarosa. *Interciencia*. 34(7):492-496.
- Bensadón, Sara; Hervert-Hernández, Deisy.; Sáyago-Ayerdi, Sonia G. and Goñi, Isabel. 2010. By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant Foods for Human Nutrition*. 65(3):210-216.
- Boujnah, Mohammed. 2010. Development of processed products from cladodes in Morocco. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Budinsky, A.; Wolfram, R.; Oguogho, A.; Efthimiou, Y.; Stamatopoulos, Y. and Sinzinger, H. 2001. Regular ingestion of *Opuntia robusta* lowers oxidation injury. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 65(1):45-50.
- Butera, Daniela; Tesoriere, Luisa; Di Gaudio, Francesca; Bongiorno, Antonino; Allegra, Mario; Pintaudi, Anna Maria; Kohen, Rohn and Livrea, Maria 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(23):6895-6901.
- Cárdenas, Adriana; Goycoolea, Francisco M. and Rinaudo, Marguerite. 2008. On the gelling behaviour of 'nopal' (*Opuntia ficus indica*) low methoxyl pectin. Carbohydrate Polymers. 73():212-222.
- Cassano, Alfredo, Conidi, Carmela and Drioli, Enrico. 2010. Physico-chemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. Desalination. 250(3):1101-1104.
- Castellar, M.R.; Obón, J.M.; Alacid, M. and Fernández-López, J.A. 2008. Fermentation of *Opuntia stricta* (Haw.) fruits for betalains concentration. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56(11):4253-4257.
- Castellar, M.R.; Obón, J.M. and Fernández-López, J.A. 2006. The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from *Opuntia stricta* fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture. 86(1):122-128.
- Castellar, Rosario; Obón, José M.; Alacid, Mercedes and Fernández-López, José A. 2003. Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(9):2772-2776.
- Cerezal, P. y Duarte, G. 2004. Influencia sensorial de aditivos químicos en tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) peladas en almíbar conservada por métodos combinados. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6:102-119.
- Cerezal, P. y Duarte, G. 2005a. Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). Journal of the Professional Association for Cactus Development. 7:61-83.
- Cerezal, P. y Duarte, G. 2005b. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2<sup>da</sup> Región de Chile. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 7:34-60.
- Chang, Su Feng; Hsieh, Chiu Lan and Yen, Gow Chin. 2008. The protective effect of *Opuntia dillenii* Haw. fruit against low-density lipoprotein peroxidation and its active compounds. Food Chemistry. 106(2):569-575.
- Chávez-Santoscoy, R.A.; Gutiérrez-Urbe, J.A. and Serna-Saldívar, S.O. 2009. Phenolic composition, antioxidant capacity and *in vitro* cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. Plant Foods for Human Nutrition. 64(2):146-152.
- Contreras, L.E.; Jaimez, O.J.; Castañeda O.A.; Añorve M.J. and Villanueva R.S. 2011. Sensory profile and chemical composition of *Opuntia joconostle* from Hidalgo, Mexico. Journal of Stored Products and Postharvest Research. 2(2):37-39.
- Corbo, M.R.; Altieri, C.; D'Amato, D.; Campaniello, D.; Del Nobile, M.A. and Sinigaglia, M. 2004. Effect of temperature on shelf life and microbial population of lightly processed cactus pear fruit. Postharvest Biology and Technology. 31(1):93-104.
- Coria-Cayupán, Y.S.; Ochoa, María J. and Nazareno, Mónica A. 2011. Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. Food Chemistry. 126(2):514-519.
- Coşkuner, Yalçın; Tekin, Aziz. 2003. Monitoring of seed composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) fruits during maturation period. Journal of the Science of Food and Agriculture. 83(8):846-849.
- De Leo, M.; Bruzual De Abreu, M.; Pawlowska, A.M.; Cioni, P.L. and Braca, A. 2010. Profiling the chemical content of

- Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC–PDA-ESI-MS and GC/EIMS analyses. *Phytochemistry Letters*. 3(1):48-52.
- Díaz-Medina, E.M.; Rodríguez-Rodríguez, E.M. and Díaz-Romero, C. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemistry*. 103(1):38-45.
- Díaz-Sánchez, Fernando; Santos-López; Eva María; Filardo-Kerstupp, Santiago; Villagómez-Ibarra, Roberto and Scheinvar, Leia. 2006. Colorant extraction from red prickly pear (*Opuntia lasiacantha*) for food application. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 5(2):1330-1337.
- Dong, Wen Bin; Wang, Shun Min; Hu, Xian Li; Jiang, Hai Ying. 2004. Study on beer made from *Opuntia dillenii* Haw. *Niang Jiu (Liquor Making)*. 31(2):87-88.
- El-Samahy, S.K.; Abd El-Hady, E.A.; Habiba, R.A. and 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.
- El-Samahy, S.K.; Abd El-Hady, E.A.; Habiba, R.A. and Moussa-Ayoub, T.E. 2007. Cactus pear sheet and pasteurized and sterilized cactus pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 9:148-164.
- El-Samahy, S.K.; El-Mansy, H.A.; Bahlol, H.E.; El-Desouky, A.I. and Ahmed, A.E. 2008. Thermal process time and sensory evaluation for canned cactus pear nectar. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 10:85-107.
- El-Samahy, S.K.; Youssef, K.M. and Moussa-Ayoub, T.E. 2009. Producing ice cream with concentrated cactus pear pulp: A preliminary study. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 11:1-12.
- Emaldi, Unai; Nassar, Jafet M. and Semprum, Carla. 2004. Physicochemical character and food value of two Venezuelan cactus fruits. *Tropical Science*. 44(3):105-107.
- Emaldi, Unai; Nassar, Jafet M. y Semprum, Carla. 2006. Pulpa del fruto del cardón dato (*Stenocereus griseus*, Cactaceae) como materia prima para la elaboración de mermelada. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 56(1):83-89.
- Ennouri, Monia. 2008. Beneficial effect of *Opuntia ficus indica* seeds and oil on animal health. *Cactusnet Newsletter*. Issue 11:36-41.
- Ennouri, Monia; Bourret, Evelyne; Mondolot, Laurence and Attia, Hamaddi. 2005. Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seeds oils. *Food Chemistry*. 93(3):431-437.
- Ennouri, Monia; Fetoui, Hamadi; Bourret, Evelyne; Zeghal, Najiba and Attia, Hamadi. 2006. Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*. 97(12):1382-1386.
- Ennouri, Monia; Fetoui, Hamadi; Hammami, Mohamed; Bourret, Evelyne, Attia, Hamado and Zeghal, Najiba. 2007. Effects of diet supplementation with cactus pear seeds and oil on serum and liver lipid parameters in rats. *Food Chemistry*. 101(1):248-253.
- Essa, Hesham A. and Salama, Manal F. 2002. Effect of macerate enzymes on the yield, quality, volatile compounds and rheological property of prickly pear juice. *Nahrung*. 46(4):245-250.
- Fernández-López, José A.; Castellar, Rosario; Obón, Jose M. and Almela, Luis. 2007. Monitoring by liquid chromatography coupled to mass spectrometry the impact of pH and temperature on the pigment pattern of cactus pear fruit extracts. *Journal of Chromatographic Science*. 45(3):120-125.

- Feugang, Jean Magloire; Konarski, Patricia; Zou, Daming, Stintzing, Florian Conrad and Zou, Changping. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*. 11(September 1):2574-2589.
- Figuerola-Cares, Inés; Martínez-Damián, María T.; Rodríguez-Pérez, Enrique; Colinas-León, María T.; Valle-Guadarrama, Salvador; Ramírez-Ramírez, Sweetia y Gallegos-Vázquez, Clemente. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp.) de México. *Agrociencia*. 44(7):763-771.
- Galati, E.M.; Monforte, M.T.; Miceli, N.; Mondello, M.R.; Taviano, M.F.; Galluzzo, M.; Tripodo, M.M. 2007. *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. mucilages show cytoprotective effect on gastric mucosa in rat. *Phytotherapy Research*. 21(4):344-346.
- Galati, Enza Maria; Mondello, Maria Rita; Giuffrida, Daniele; Dugo, Giacomo; Miceli, Natalizia; Pergolizzi, Simona and Taviano, Maria Fernanda. 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(17):4903-4908.
- Gallegos-Infante, José Alberto; Rocha-Guzmán, Nuria Elizabeth; González-Laredo, Rubén Francisco; Reynoso-Camacho, Rosalía; Medina-Torres, Luis and Cervantes-Cardozo, Verónica. 2009. Effect of air flow rate on the polyphenols content and antioxidant capacity of convective dried cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60(2):80-87.
- García-Pantaleón, D.M.; Flores-Ortiz, M.; Moreno-Álvarez, M.J.; Belén-Camacho, D.R.; Medina-Martínez, C.A.; Ojeda-Escalona, C.E. and Padrón-Pereira, C.A. 2009. Chemical, biochemical, and fatty acids composition of seeds of *Opuntia boldinghii* Britton *et* Rose. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 11:45-52.
- Ginestra, Giovanna; Parker, Mary L.; Bennett, Richard N.; Robertson, Jim; Mandalari, Giuseppina; Narbad, Arjan; Lo Curto, Rosario B.; Bisignano, Giuseppe; Faulds, Craig B. and Waldron, Keith W. 2009. Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(21):10323-10330.
- Go, Gyung Min; Oh, Seong Lip; Satoh, Suichi. 2007. Effects of the dietary supplementation of fermented cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) fluid on the growth of red sea bream, *Pagrus major*. *Journal of Aquaculture*. 20(1):1-6.
- Goycoolea, Francisco M. and Cárdenas, Adriana. 2003. Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 5:17-29.
- Guevara-Figueroa, Teresita; Jiménez-Islas, Hugo; Reyes-Escogido, María L.; Mortensen, Anne G.; Laursen, Bente B.; Lin, Li Wei Lin; De León-Rodríguez, Antonio; Fomsgaard, Inge S. and Barba de la Rosa, Ana P. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 23(6):525-532.
- Gurrieri, Sergio; Miceli, Laura; Lanza, C. Maria; Tomaselli, Filippo; Bonomo, Raffaele. P. and Rizzarelli, Enrico, 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(11):5424-5431.
- Guzmán-Loayza, Deysi y Chávez, Jorge. 2007. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. Revista de la Sociedad Química del Perú. 73(1):41-45.
- Guzmán-Maldonado, Salvador Horacio; Herrera-Hernández, Guadalupe; Hernández-López, David; Reynoso-Camacho, Rosalia; Guzmán-Tovar, Abril; Vaillant, Fabrice and Brat, Pierre. 2010. Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. Food chemistry 121(2):381-386.
- Harrak, Hasnaâ and Jaouan, Fatiha. 2010. Technological, organoleptic and nutritional qualities of cladodes powder of cactus. (*Opuntia ficus indica*). In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Herbach, Kirsten M.; Maier, Christine; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007. Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice. European Food Research and Technology. 224(5):649-658.
- Herbach, Kirsten M.; Rohe, Michael; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2006. Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. Food Research International. 39(6):667-677.
- Hernández, Evangelina; Ramírez, María Eugenia; Corzo, Luis Jorge. 2010. Efecto del estado de madurez sobre la composición química del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) var. Milpa Alta. En Extensos del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica-VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica-VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. 24-26 Marzo. Acapulco, Guerrero, México. <http://bio.medbiotec.homelinux.org/congreso2010/Extensos/Alimentos/ALI271MER20091217.pdf>
- Hernández-Urbiola, Margarita, I.; Pérez-Torrero, Esther and Rodríguez-García, Mario E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. International Journal of Environmental Research and Public Health. 8(5):1287-1295.
- Jaramillo-Flores, M.E.; González-Cruz, L.; Cornejo-Mazón, M.; Dorantes-Álvarez, L.; Gutiérrez-López, G.F. and Hernández-Sánchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*). Food Science and Technology International. 9(4):271-278.
- Khatabi Omar, Elothmani Driss, Hanine Hafida, Emira Mehinagic. 2010. Study of antioxidant activity and phenolic composition of the extract of prickly pear cladodes (*Opuntia ficus indica*) of Moroccan origin. In Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Kugler, Florian; Graneis, Stephan; Schreiter, Pat P.Y.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2006. Determination of free amino compounds in betalainic fruits and vegetables by gas chromatography with

- flame ionization and mass spectrometric detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(12): 4311-4318.
- Kunyanga, C.N.; Strum, S.; Graham, S.; Sipitiek, J. and Imungi, J.K. 2009. Physico-chemical methods for preservation of *Opuntia* cactus fruit syrup. In Proceedings of the 9th African Crop Science Conference. September 28-October 22. (pp. 333-337). Cape Town, South Africa.
- Kuti, J.O. 2000. Antioxidant activity of *Opuntia* cactus pear. *HortScience*. 35(3):433.
- Kuti, Joseph O. 2004. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry*. 85(4):527-533.
- Lee, Jeong Chae; Kim, Hak Ryul; Kim, Ju and Jang, Yong Suk. 2002. Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. Saboten. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(22):6490-6496.
- Lee, Jeong Chae and Lim, Kye Taek. 2000. Effects of cactus and ginger extracts as dietary antioxidants on reactive oxidant and plasma lipid level. *Food Science and Biotechnology*. 9(2):83-88.
- Lin, Hsiao Pei; Liou, Chien Chung and Tsai, Sun Chung. 2001. Study on chemical structure of *Opuntia dillenii* fruit pigment. *Taiwan Nongye Huaxue Yu Shipin Kexue* (Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science). 39(1):51-57.
- López, R; de Ita, A. and Vaca, M. 2009. Drying of prickly pear cactus cladodes (*Opuntia ficus indica*) in a forced convection tunnel. *Energy Conversion and Management*. 50(9):2119-2126.
- Maataoui, B.S.; Hmyene, A. et Hilali, S. 2006. Activites anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Lebanese Science Journal*. 7(1):3-8.
- Matsuhiro, Betty; Lillo, Luis E.; Sáenz, Carmen; Urzúa, Carlos C. and Zárate, Oriette. 2006. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymers*. 63(2):263-267.
- Medina-Romo, Marco; Tirado-Estrada, Gustavo; Mejía-Haro, Ignacio, Camarillo-Solís, Isaac y Cruz-Vázquez, Carlos. 2006. Digestibilidad *in situ* de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41(7):1173-1177.
- Medina-Torres, Luis; Vernon-Carter, E. Jaime; Gallegos-Infante, J. Alberto; Rocha-Guzmán, Nuria E.; Herrera-Valencia, E.E.; Calderas, Fausto and Jiménez-Alvarado. Rubén. 2011. Study of the antioxidant properties of extracts obtained from nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes after convective drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91(6):1001-1005.
- Moßhammer, M.R.; Stintzing, F.C. and Carle, R. 2005b. Colour studies on fruit juice blends from *Opuntia* and *Hylocereus* cacti and betalain-containing model solutions derived therefrom. *Food Research International*. 38(8-9):975-981.
- Moßhammer, Markus R.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2005a. Development of a process for the production of a betalain-based colouring foodstuff from cactus pear. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 6()221-231.
- Moßhammer, Markus R.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2006a. Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): a review of processing technologies and current uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 8:1-25.
- Moßhammer, Markus R.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2006b. Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 7(4):275-287.

- Mounia, Sibaoueih and Mohamed, Boujghagh. 2010. Evaluation of the nutritive value of some Moroccan *Opuntia ficus indica* ecotypes as a feed for ruminants. In Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Moreno-Castillo, E.L.; González-García, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.A. and Abud-Archila, M. 2005. Water diffusivity and color of cactus pear fruits (*Opuntia ficus indica*) subjected to osmotic dehydration. International Journal of Food Properties. 8:323-336.
- Moreno-Álvarez, M.J.; García-Pantaleón, D.; Belén-Camacho, D.; Medina-Martínez, C y Muñoz-Ojeda, N. 2008. Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 25(1):68-80.
- Moreno-Álvarez, M.J.; Hernández, R.; Belén-Camacho, D.R.; Medina-Martínez, C.A.; Ojeda-Escalona, C.E. y García-Pantaleón, D.M. 2009. Making of bakery products using composite flours: Wheat and cactus pear (*Opuntia boldinghii* Britton et Rose) stems (cladodes). Journal of the Professional Association for Cactus Development. 11:78-87.
- Moreno-Álvarez, Mario José; García-Pantaleón, David; Belén-Camacho, Douglas; Medina-Martínez, Carlos; Muñoz-Ojeda, Napoleón; Herrera, Irma y Espinoza, Claudio. 2006. Evaluación bromatológica de frutos y cladodios de la tuna (*Opuntia boldinghii* Britton y Rose). Boletín Nakari. 17(1):9-12.
- Moreno-Álvarez, Mario José; Medina, Carlos; Antón, Lilibeth; García, David y Belén-Camacho, Douglas Rafael. 2003. Uso de pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) en la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas. Interciencia. 28(9):539-543.
- Moura, T.; Gaudy, D.; Jacob, M. and Cassanas, G. 1994. pH influence on the stability of ascorbic acid spray-drying solutions. Pharmaceutica Acta Helvetiae. 69(2):77-80.
- Moussa-Ayoub, Tamer; Rohn, Sascha; El-Hady, El-Sayed Abd; Omran, Helmy; El-Samahy, Salah; and Kroh, Lothar W. 2010. *Opuntia ficus indica* and *Opuntia macrorhiza*: Promising sources of flavonols-comparison between varieties from different origins. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Moussa-Ayoub, Tamer E.; El-Samahy, Salad K.; Kroh, Lothar W. and Rohn, Sascha. 2011. Identification and quantification of flavonol aglycons in cactus pear (*Opuntia ficus indica*) fruit using a commercial pectinase and cellulase preparation. Food Chemistry. 124(3):1177-1184.
- Naderi, Nassim; Stintzing, F.C.; Ghazali, H.M.; Manap, Yazid A. and Jazayeri, S.D. 2010. Betalain extraction from *Hylocereus polyrhizus* for natural food coloring purposes. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 12:143-154.
- Nassar, A.G. 2008. Chemical composition and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) seeds flour and protein concentrate. World Journal of Dairy & Food Sciences. 3(1):11-16.
- Nazareno, M.A.; González, E.A. y Coria-Cayupán, Y. 2010. Actividad antioxidante de frutos de cactáceas de Santiago del Estero. En Cactáceas de Santiago del Estero. (pp. 97-122). Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero. ISBN: 978-987-1676-02-6.

- Nazareno, Mónica A. 2010. New insights about medicinal uses and health-beneficial properties of cactus products. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Nazareno, Mónica A. and González, Evangelina. 2008. Antioxidant properties of cactus products. Cactusnet Newsletter. Issue 11:18-28.
- Nazareno, Mónica Azucena. 2006. Actividad antioxidante de las opuntias. En Aprovechamiento integral de la tuna. (pp. 33-40). Santiago del Estero, Argentina: Editorial El Liberal.
- Nefzaoui, A.; Nazareno, Mónica and El Mourid, M. 2008. Review of medicinal uses of cactus. Cactusnet Newsletter. Issue 11:3-17.
- Ochoa, M.J.; Corvalán, D.B. y Nazareno, M.A. 2010. Cactáceas de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina: Universidad Nacional de Santiago del Estero. 128 p. ISBN: 978-987-1676-02-6.
- Özcan, Mehmet Musa and Al Juhaimi, Fahad Y. 2011. Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Turkey. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 62(5):533-536.
- Padrón-Pereira, C.; Aguirre-Oliveros, C. y Moreno-Álvarez, M. 2009b. Influencia de la sustitución parcial de harina de trigo con harinas de cladodios de cactus (*Opuntia boldinghii* Britton & Rose) integral e hidrolizada enzimáticamente como fuente de fibra en postres tipo ponquecito. Revista Tecnológica ESPOL. 22(1):63-71.
- Padrón-Pereira, C.A.; Moreno-Álvarez, M.J.; Medina-Martínez, C.A. and García-Pantaleón, D.M. 2009a. Obtention of enzymatically hydrolyzed product from cactus (*Opuntia boldinghii* Britton and Rose) cladodes whole flour. Pakistan Journal of Nutrition. 8(4):459-468.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto y Moreno-Álvarez, Mario José. 2010. Evaluación del uso de enzimas y filtración por gravedad para la clarificación de una mezcla diluida de pulpa de frutos de cactus (*Opuntia boldinghii* Britton & Rose), jugos de naranja y toronja. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 63(1):5429-5439.
- Peña-Valdivia, B.C. and Sánchez-Urdaneta, B.A. 2006. Nopalito and cactus pear (*Opuntia* spp.) polysaccharides: mucilage and pectin. Acta Horticulturae. 728:241-248.
- Piga, A.; Del Caro, A.; Pinna, I. and Agabbio, M. 2003. Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. 36(2):257-262.
- Qin, Hai Yuan; Nong, Zhi Rong and Huang, Wei Ping. 2008. Study on processing technology of mixed cactus and orange juice drink. Science and Technology of Food Industry (China). 2008:1.
- Ramírez-Truque, Carolina; Esquivel, Patricia and Carle, Reinhold. 2011. Neutral sugar profile of cell wall polysaccharides of pitaya (*Hylocereus* sp.) fruits. Carbohydrate Polymers. 83(3):1134-1138.
- Repo de Carrasco, Ritva y Encina-Zelada, Christian René. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Revista de la Sociedad Química del Perú. 74(2):108-124.
- Rodríguez-Félix, A.; Fortiz-Hernández, J. y Robles-Burgueño, M.R. 2010. Efecto del estado de desarrollo y época de cosecha en el contenido de flavonoides de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.). En Memorias del VII Simposio Internacional

- sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. 17-19 Marzo. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Rodríguez-Hernández, G.R.; González-García, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.A. y Abud-Archila, M. 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*. 23(4):955-973.
- Sáenz, Carmen; Berger, Horst; Corrales-García, Joel; Galletti, Ljubica; García de Cortázar, Víctor; Higuera, Inocencio; Mondragón, Candelario; Rodríguez-Félix, Armida *et al.* 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. N° 162.
- Sáenz, Carmen, Sepúlveda, Elena and Matsuhira, Betty. 2004. *Opuntia* spp. mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*. 57(3):275-290.
- Sáenz, Carmen; Tapia, Sandra; Chávez, Jorge and Robert, Paz. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*. 114(2):616-622.
- Sáenz-H., Carmen. 2010. A glance about the industrial possibilities of cactus pear. In Proceedings (Oral presentation) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Salim, Nebbache; Abdelwaheb, Chibani; Rabah, Chadli and Ahcene, Bouznad. 2009. Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*. 8(8):1623-1624.
- Sangronis, Elba; Teixeira, Patricia; Otero, Mariana; Guerra, Marisa e Hidalgo, Glida. 2006. Manaca, batata y ñame: posibles sustitutos del trigo en alimentos para dos etnias del Amazonas venezolano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 56(1):77-82.
- Sarkar, Preetam; Setia, Nikhil and Choudhury, Gour S. 2011. Extrusion processing of cactus pear. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 3(2):102-110.
- Sepúlveda, E.; Catalán, E.; Gorena, T. Chiffelle, I. and Sáenz, C. 2010. Effect of the cladodes peeling in the functional, technological, chemical characteristics and bioactive compounds in cladodes powder (*Opuntia ficus-indica*). In Proceedings (Poster) of the VIIth International Congress on Cactus Pear and Cochineal and VIIIth General Meeting of the FAO-ICARDA International Technical Cooperation Network on Cactus Pear and Cochineal. October 17-22. Agadir, Morocco.
- Sepúlveda, E.; Sáenz, C. Aliaga, E. and Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*. 68(4):534-545.
- Soriano-Santos, J.; Franco-Zavaleta, M.E.; Pelayo-Zaldívar, C.; Armella-Villalpando, M.A.; Yáñez-López, M.L. y Guerrero-Legarreta, I. 2007. Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la "jiotilla" (*Escontria chiotilla* [Weber] Britton & Rose). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6(1):19-25.
- Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*. 49(2):175-194.
- Stintzing, Florian C.; Herbach, Kirsten M.; Mosshammer, Markus R.; Carle, Reinhold; Yi, Weiguang; Sellappan, Subramani; Akoh, Casimir C.; Bunch, Ron and Felker, Peter. 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53(2):442-451.
- Stintzing, Florian C.; Schieber, Andreas and Carle, Reinhold. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*. 212(4):396-407.
- Stintzing, Florian C.; Schieber, Andreas and Carle, Reinhold. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*. 216(4):303-311.
- Terán, Yanira; D'Aubeterre, Ramón y de Camacaro, María P. 2008. Caracterización física y química del fruto de cardón de dato de los Municipios Torres y Jiménez, Estado Lara, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 58(1):17-20.
- Tesoriere, L.; Butera, D; D'Arpa, D.; Di Gaudio, F.; Allegra, M.; Gentile, C. and Livrea, M.A. 2003. Increased resistance to oxidation of betalain-enriched human low density lipoproteins. *Free Radical Research*. 37(6):689-696.
- Tesoriere, Luisa; Butera, Daniela; Allegra, Mario; Fazzari, Marco and Livrea, Maria A. 2005. 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(4):1266-1270.
- Tesoriere, Luisa; Butera, Daniela; Pintaudi, Anna Maria; Allegra, Mario and Livrea, Maria A. 2004. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 80(2):391-395.
- Touil, Amira; Chemkhi, Saber and Zagrouba, Fethi. 2010. Modelling of the drying kinetics of *Opuntia ficus indica* fruits and cladodes. *International Journal of Food Engineering*. 6(2):Article 11.
- Valente, Ligia M.M.; da Paixão, Djavan; do Nascimento, Adriana C.; dos Santos, Priscila F.P.; Scheinvar, Leia A.; Moura, Mirian R.L.; Tinoco, Luzineide W.; Gornes, Luiz Nelson F. *et al.* 2010. Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chemistry*. 123(4):1127-1131.
- Wallace, R.S. 1986. Biochemical taxonomy and the Cactaceae. *Cactus and Succulent Journal (USA)*. 58(1):35-38.
- Xiao, Mei; Wang, Sheng You; Qian, Zhi Feng and Pu, Yi. 2005. Study on processing technology of natural drinks made from *Opuntia dillenii* and pineapple. *Shipin Kexue (Food Science)*. 26(12):264-269.
- Yahia, E.M.; Castellanos, E. and Mondragon-Jacobo, C. 2010. Identification and quantification of pigments in prickly pear fruit. *Acta Horticulturae*. 877:1129-1136.
- Zabala-Loza, Cynthia; Cruz y Victoria, María Teresa; Anaya-Sosa, Irasema. 2010. Evaluación cualitativa de la migración del agua durante el secado de nopal con ciclos de atemperado mediante análisis microscópico y enzimático. En *Extensos del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica-VI Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica-VIII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular*. 24-26 Marzo. Acapulco, Guerrero, México. <http://biomedbiotec.homelinux.org/congreso2010/Extensos/Alimentos/AGR465FRE20100126.pdf>