



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (1): 113-129. Enero-Junio, 2012  
http://www.rvcta.org  
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)  
© Asociación RVCTA, 2012. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

## **Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria**

Pitahaya (*Hylocereus* sp.): fruit characteristics and its potential use in the food industry

Patricia **Esquivel\***, Yorleny **Araya Quesada**

Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca,  
San José, Costa Rica

\*Autora para correspondencia: patricia.esquivel@ucr.ac.cr

Aceptado 28-Junio-2012

### **Resumen**

Con esta revisión de literatura se buscó reunir información relacionada con las propiedades físico-químicas y morfológicas de la pitahaya (*Hylocereus* sp.). Se discute sobre las diferencias que se han observado entre diferentes genotipos cultivados en Costa Rica y sobre el comportamiento de los frutos durante su desarrollo. La pitahaya tiene gran potencial industrial debido a su alto contenido de betalaínas, pigmentos que han sido considerados como una alternativa al uso de colorantes artificiales en alimentos. Además, se ha observado que estos pigmentos poseen propiedades antioxidantes. Debido al gran potencial agroindustrial de la pitahaya, se ha incrementado el interés internacional en su cultivo, comercialización y la búsqueda de alternativas de procesamiento. Avances se exponen en el presente trabajo.

**Palabras claves:** betalaínas, colorante natural, fruta del dragón, *Hylocereus*, jugo de pitahaya, pitaya, semillas.

### **Abstract**

The goal of this review was to gather information related to physico-chemical and morphological characteristics of pitahaya fruits (*Hylocereus* sp.). Differences among different

genotypes grown in Costa Rica are discussed and also the behavior of the fruits during development. Because of the high contents on betalains pitahaya fruits have great industrial potential. Betalainic pigments have been considered as an alternative to artificial food dyes. Furthermore, it was found that these compounds have antioxidant properties. Due to the large industrial potential of pitahaya there is an increased international interest concerning cultivation, marketing and pitahaya processing.

**Keywords:** betalains, dragon fruit, *Hylocereus*, natural color, pitahaya juice, pitaya, seeds.

## INTRODUCCIÓN

Varias especies de cactus son cada vez más importantes en todo el mundo como fuente de frutas, hortalizas y forrajes (Russell y Felker, 1987; Nerd *et al.*, 2002). La familia de las cactáceas pertenece al orden Caryophyllales, compuesto por unos 130 géneros. Se han descrito entre 1500-1800 especies en América (Russell y Felker, 1987; Barthlott y Hunt 1993; Wallace y Gibson, 2002; Mihalte *et al.*, 2010).

La mayoría de los frutos de cactus comercialmente cosechados son de la especie *Opuntia ficus-indica* (popularmente ‘tuna’), con cerca de 100.000 hectáreas cultivadas en el mundo, donde el 70 % se encuentra en México (Inglese *et al.*, 2002; Inglese, 2010).

Desde 1980 se han realizado esfuerzos para cultivar cactus de los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus* y cactáceas columnares de los géneros *Cereus* y *Stenocereus*. *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose es el cactus trepador más distribuido a nivel mundial, mientras que *Stenocereus queretaroensis* (F. A. C. Weber) Buxbaum es el cactus columnar de mayor cultivo, aunque restringido a México (Nerd *et al.*, 2002).

Los cactus trepadores del género *Hylocereus* son nativos de las regiones tropicales de América del Norte, Central y América del Sur y se conocen en América Latina con el nombre común de pitahaya o pitaya (Esquivel, 2004). La planta tiene tallos alargados que trepan en árboles y rocas (Fig. 1). Algunas especies dentro del género de *Hylocereus* han alcanzado importancia

económica a nivel mundial. *H. undatus* (con cáscara roja y pulpa blanca) ha sido ampliamente cultivada, mientras que otras especies, como *H. polyrhizus* (Weber) Britton & Rose (con cáscara roja y pulpa de color rojo-violeta) e *H. costaricensis* (Weber) Britton & Rose (con cáscara roja y pulpa de color rojo) se cultivan en menor escala (Mizrahi y Nerd, 1999). Además, existe cierta confusión en cuanto a ubicación taxonómica de algunos genotipos que se cultivan comercialmente, por ejemplo, la pitahaya roja o púrpura que crece en Nicaragua, Costa Rica y Guatemala, está clasificada como *H. costaricensis* por parte de algunos productores y como *H. polyrhizus* por otros. Sólo hay coherencia en la clasificación, como *H. polyrhizus*, de las pitahayas color rojo-púrpura que crecen en Israel (Mizrahi *et al.*, 1997). Inclusive, se hace alusión a especies del género *Stenocereus* como pitahaya (Bárcenas-Abogado y Jiménez-Castañeda, 2010; Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán, 2012). Por otro lado, se han descrito genotipos comúnmente comercializados en Nicaragua y cultivados en Costa Rica, como lo son “Lisa”, “Orejona”, “Rosa” y “San Ignacio”. Nicaragua es el país centroamericano con la mayor producción de pitahaya; aproximadamente 3.000 toneladas en 420 hectáreas (Vaillant *et al.*, 2005), mientras que en Costa Rica el cultivo de la pitahaya es una actividad en incremento, sin que la producción nacional logre satisfacer la demanda (García-Barquero y Quirós-Madrigal, 2010). Esquivel *et al.* (2007a) realizaron estudios sobre las propiedades morfológicas y físico-químicas de frutos de los diferentes



**Figura 1.-** Planta de pitahaya (*Hylocereus* sp.), un cactus trepador.

genotipos comercializados en Nicaragua, así como de un genotipo propio de Costa Rica (“Nacional”), para caracterizar cada uno de ellos y evaluar su potencial agroindustrial.

Esta fruta ha ganado popularidad en Europa y Estados Unidos por su apariencia exótica e impresionante. Además, el fruto se

conoce por su riqueza en nutrientes y por sus beneficios para la salud, por lo que se ha considerado un potencial alimento nutraceutico (Dembitsky *et al.*, 2011). Se encontró que la pulpa de *Hylocereus polyrhizus* demostró un efecto antihepatotóxico en ratas y ratones, después de la inducción de hepatotoxicidad

mediante paracetamol (Bin A. Latif *et al.*, 2012). No se han observado signos de toxicidad aguda y subcrónica al realizar estudios en ratas mediante el suministro de dosis orales del extracto alcohólico de los frutos (Hor *et al.*, 2012). El extracto de pulpa de *Hylocereus costaricensis* se ha sugerido como agente efectivo para potenciar la fertilidad masculina, después de observar un incremento en el conteo y viabilidad de los espermatozoides, tras la administración oral de extractos del fruto en ratones (Abdul-Aziz y Mat-Noor, 2010).

En el presente trabajo se reúne información sobre las propiedades de los frutos, sus pigmentos y los avances en la industrialización de la pitahaya, esto debido al alto potencial de los frutos y al creciente interés mundial en su cultivo, comercialización y procesamiento.

#### CONTENIDO

- 1.- Características morfológicas del fruto de la pitahaya
- 2.- Características físico-químicas del fruto de la pitahaya
- 3.- Betalaínas en frutos de *Hylocereus*
- 4.- Posibilidades de industrialización de la pitahaya

#### REVISIÓN DE LA LITERATURA

##### 1.- Características morfológicas del fruto de la pitahaya

Los frutos de la pitahaya (Fig. 2), son bayas con brácteas de tamaño mediano a grande (Nerd y Mizrahi, 1997). Esquivel *et al.* (2007a) describieron diferencias entre genotipos con respecto al tamaño de los frutos. En el caso de genotipo “Nacional”, propio de Costa Rica, observaron frutos pequeños con diámetros ecuatoriales de 4,54 cm, mientras que para el genotipo “Rosa” frutos de mayor tamaño, con diámetros hasta de 7,74 cm.

Una ventaja para el cultivo de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) con respecto a la

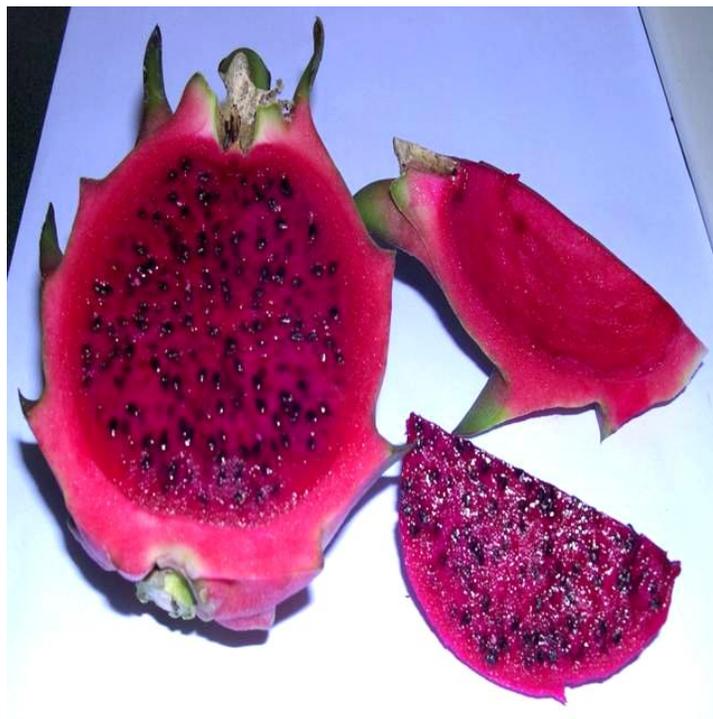
‘tuna’ (*Opuntia ficus-indica*) es que la pitahaya es más fácil de manipular, ya que el fruto no cuenta con espinas en la parte externa. Además, a diferencia del fruto de la ‘tuna’, la pitahaya posee semillas pequeñas comestibles. El mesocarpio es la parte comestible del fruto que está constituida por una pasta mucilaginoso con miles de pequeñas semillas blandas (Fig. 3). Se ha observado que el porcentaje de semillas en la pulpa varía para los diferentes genotipos estudiados entre 3,22 % y 4,60 %, para los genotipos “Rosa” y “Nacional”, respectivamente (Esquivel *et al.*, 2007b). El porcentaje del mesocarpio varía entre 60 % y 80 % del peso del fruto maduro dependiendo de los diferentes genotipos (Nerd *et al.*, 1999); para el genotipo “Nacional” se han encontrado porcentajes de pulpa de 55 %, mientras que para el genotipo “Lisa” porcentajes de pulpa de hasta 74 % con respecto al peso del fruto (Esquivel *et al.*, 2007a).

En Israel, el crecimiento y la maduración de frutos de *H. undatus* e *H. polyrhizus* bajo condiciones de invernadero y después de la polinización manual fue descrito por Nerd *et al.* (1999). El crecimiento de los frutos tuvo un comportamiento sigmoidal con un fuerte descenso en la tasa de crecimiento después del inicio en el cambio de coloración de la cáscara. La fase de crecimiento lento se caracterizó por una disminución en la proporción de cáscara, concomitante con un aumento en la proporción de pulpa, un aumento en la concentración de sólidos solubles y azúcares solubles, junto con una disminución de la firmeza. Los primeros cambios en el color de la cáscara se observaron generalmente a 24-25 días después de la floración en *H. undatus*, y después de 26-27 días en *H. polyrhizus*. La cáscara se tornó completamente roja 4 ó 5 días más tarde. Los autores encontraron un aumento en la acidez antes del cambio de color, siendo este descrito como un indicador del inicio de la fase de maduración.

Nerd *et al.* (1999) describen a *Hylocereus* como frutos no climatéricos, frutos



**Figura 2.-** Fruto maduro de pitahaya (*Hylocereus* sp.), genotipo “Orejona”.



**Figura 3.-** Mesocarpio del fruto de pitahaya (*Hylocereus* sp.) maduro, genotipo “Orejona”.

que no pueden continuar el proceso de maduración después de separarse de la planta. Por lo tanto, el tiempo de cosecha tiene una gran influencia en la calidad de la fruta. Cuando se recolectan cerca de la coloración completa, los frutos conservan la calidad del mercado por lo menos 2 semanas a 14 °C y 1 semana a 20 °C.

Durante el proceso de maduración de los genotipos más cultivados en condiciones naturales en Centroamérica: “Nacional”, “Orejona”, “Rosa” y “San Ignacio”, el cambio de color de la cáscara de verde a rojo estuvo acompañado por un descenso del peso, la firmeza y la acidez titulable (Esquivel *et al.*, 2007b). Los frutos de los genotipos “Nacional” y “Orejona” fueron más pequeños y con un tiempo de maduración menor, comparado con los genotipos “Rosa” y “San Ignacio”, donde los cambios de color fueron evidentes después de 24 días de la antesis para el primer grupo y 28 días para los genotipos “Rosa” y “San Ignacio”. La maduración se presentó entre los 25 y 31 días después de la apertura floral en frutos cultivados en Yucatán, México, bajo precipitación de 73,9 mm y temperatura media de 26,1 °C. Durante la maduración ocurrió la mayor acumulación de porción comestible del fruto, se incrementaron los contenidos de azúcares reductores y sólidos solubles, mientras que la firmeza y el contenido de ácido ascórbico disminuyeron. Los frutos con 29 y 31 días de maduración después de la apertura floral tuvieron mayor aceptación sensorial (Centurión-Yah *et al.*, 2008). Wanitchang *et al.* (2010) desarrollaron un modelo para predecir la madurez de la pitahaya roja usando como predictores parámetros no destructivos, tales como, peso específico, esfericidad, parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y la reflectancia en el espectro visible.

## 2.- Características físico-químicas del fruto de la pitahaya

En relación a la composición química

del mesocarpio, se ha descrito que contiene alrededor de 82-88 % de agua, con un contenido de sólidos solubles totales de 7 a 11 % (Vaillant *et al.*, 2005). El genotipo “Nacional” mostró el más alto contenido de sólidos solubles, con 13 g/100 g, seguido por “Orejona”, “Lisa”, “San Ignacio” y “Rosa”, este último con 7,50 g/100 g (Esquivel *et al.*, 2007a). El contenido de sólidos solubles, constituido básicamente por glucosa y fructosa, varió desde 30 a 55 g/L y 4 a 20 g/L, respectivamente, dependiendo del genotipo. Mientras que algunos autores no pudieron detectar la presencia de sacarosa (Stintzing *et al.*, 2003; Vaillant *et al.*, 2005), otros han determinado intervalos que oscilan entre 2,8 y 7,5 mg/g en especie de pulpa blanca y 2,9 a 6,8 mg/g en pulpa roja con respecto al total de azúcares (Wu y Chen, 1997). En cuanto a la relación glucosa/fructuosa, Esquivel *et al.* (2007b) han señalado que esta varía entre 3,0 y 5,2 sin observarse diferencias significativas entre genotipos.

El contenido de oligosacáridos de distintos pesos moleculares encontrado por Wichienchot *et al.* (2010) en pulpa de pitaya blanca (*H. undatus*) de Vietnam y roja (*H. polyrhizus*) de Tailandia fue de 86,2 y 89,6 g/kg, respectivamente. Dichos oligosacáridos mostraron propiedades prebióticas, tales como, resistencia a condiciones ácidas similares a las del estómago, resistencia parcial a la  $\alpha$ -amilasa de la saliva humana y capacidad para estimular el crecimiento de *Lactobacillus delbrueckii* BCC 13296 y *Bifidobacterium bifidum* NCIMB 702715.

Ramírez-Truque *et al.* (2011) encontraron que las fracciones de pectina de la pulpa de *Hylocereus* sp. están compuestas principalmente por arabinosa y galactosa, mientras que la fracción de hemicelulosa consiste principalmente de glucosa, xilosa y galactosa. Además determinaron que el contenido de ácido urónico es de 32,3 % , y que la pectina tiene un grado de esterificación de  $80 \pm 3$  %. En cáscaras de *H. polyrhizus* se ha

obtenido pectina con rendimientos (en base seca) de 14,96 a 20,14 % (Nazaruddin *et al.*, 2011; Norazalina *et al.*, 2012) y grados de esterificación de 31,05 a 46,96 % (Norazalina *et al.*, 2012) que fueron dependientes de diferentes condiciones de extracción.

La acidez de la pulpa, en completo estado de madurez, es baja. Para los genotipos que se cultivan en Costa Rica la acidez titulable osciló entre 3,1 g/L y 6,8 g/L, sin encontrarse diferencias significativas entre ellos (Esquivel *et al.*, 2007b). En jugo de pitahaya, el principal ácido orgánico presente es el ácido málico con concentraciones que varían entre 8,20 y 6,08 g/L en los diferentes genotipos de Costa Rica (Stintzing *et al.*, 2003; Esquivel *et al.*, 2007b). Además, se encontró la presencia de ácido cítrico (0,95 - 2,11 g/L), ácido láctico (0,48 - 0,91 g/L) y ácido oxálico (0,19 - 0,42 g/L) (Esquivel *et al.*, 2007b). Inicialmente se consideró que el contenido de vitamina C en los frutos de *Hylocereus* era bajo (Stintzing *et al.*, 2003; Vaillant *et al.*, 2005); sin embargo, otros autores encontraron contenidos similares a los de otras frutas tropicales oscilando entre 0,26 y 0,58 g/L (Esquivel *et al.*, 2007b).

Wu *et al.* (2006) estudiaron en pitahaya roja el contenido de fenoles totales, actividad antioxidante y actividad antiproliferativa en células del melanoma, a fin de determinar si se trata de una valiosa fuente de antioxidantes y agente anticancerígeno. Sus resultados mostraron que la pulpa y la cáscara son ricas en polifenoles y buenas fuentes de antioxidantes, e inhiben el crecimiento de las células del melanoma. Kim *et al.* (2011) por su parte, estudiaron el contenido de polifenoles totales, el contenido de flavonoides, la actividad antioxidante contra varios radicales libres y el efecto antiproliferativo de varias líneas de células cancerosas, para cáscara y pulpa de pitahaya roja y blanca, recolectadas en Korea. El contenido de polifenoles totales y de flavonoides totales fue mayor en las cáscaras que en la pulpa. Los extractos de las cáscaras mostraron mayor actividad antiproliferativa

respecto a los extractos de pulpa. Se encontró una correlación directa entre el contenido de polifenoles totales con la capacidad antioxidante. Esquivel *et al.* (2007c) al evaluar la capacidad antioxidante de diferentes genotipos, determinaron que “Lisa” y “Nacional” presentaron un valor de TEAC (‘Trolox Equivalent Antioxidant Capacity’) de 36,1 mg/100 mL y 34,8 mg/100 mL, respectivamente; mayor capacidad antioxidante en comparación a los genotipos “Orejona” (27,9 mg/100 mL), “Rosa” (26,8 g/100 mL) y “San Ignacio” (24,5 mg/100 mL), esto posiblemente relacionado con el contenido de betalaínas.

En cuanto a composición de aminoácidos, Kugler *et al.* (2006) encontraron cantidades relativamente bajas en los zumos de *H. undatus* e *H. polyrhizus*, siendo la prolina el principal aminoácido. Mientras que Kim *et al.* (2011) encontraron tirosina tanto en cáscara como pulpa de pitahayas rojas y blancas cultivadas en Korea.

La característica más notable de los frutos de pitahaya es la presencia de pigmentos betaláinicos, que parecen estar relacionados con la elevada actividad antioxidante observada en los jugos de estos frutos (Stintzing *et al.*, 2003; Strack *et al.*, 2003; Esquivel *et al.*, 2007c; Kim *et al.*, 2011).

### 3.- Betalaínas en frutos de *Hylocereus*

Se conoce la existencia de betalaínas en trece familias de plantas del orden Caryophyllales, nunca se ha encontrado la presencia simultánea de betalaínas con antocianinas (Stafford, 1994; Clement y Mabry, 1996; Brockington *et al.*, 2011). Al respecto Harris *et al.* (2012) estudiaron la producción de betalaínas en plantas que producen antocianinas, demostrando que la introducción de enzimas dioxigenasas (DODs) y la adición del sustrato L-DOPA fueron suficientes para inducir la producción de betacianinas y betaxantinas.

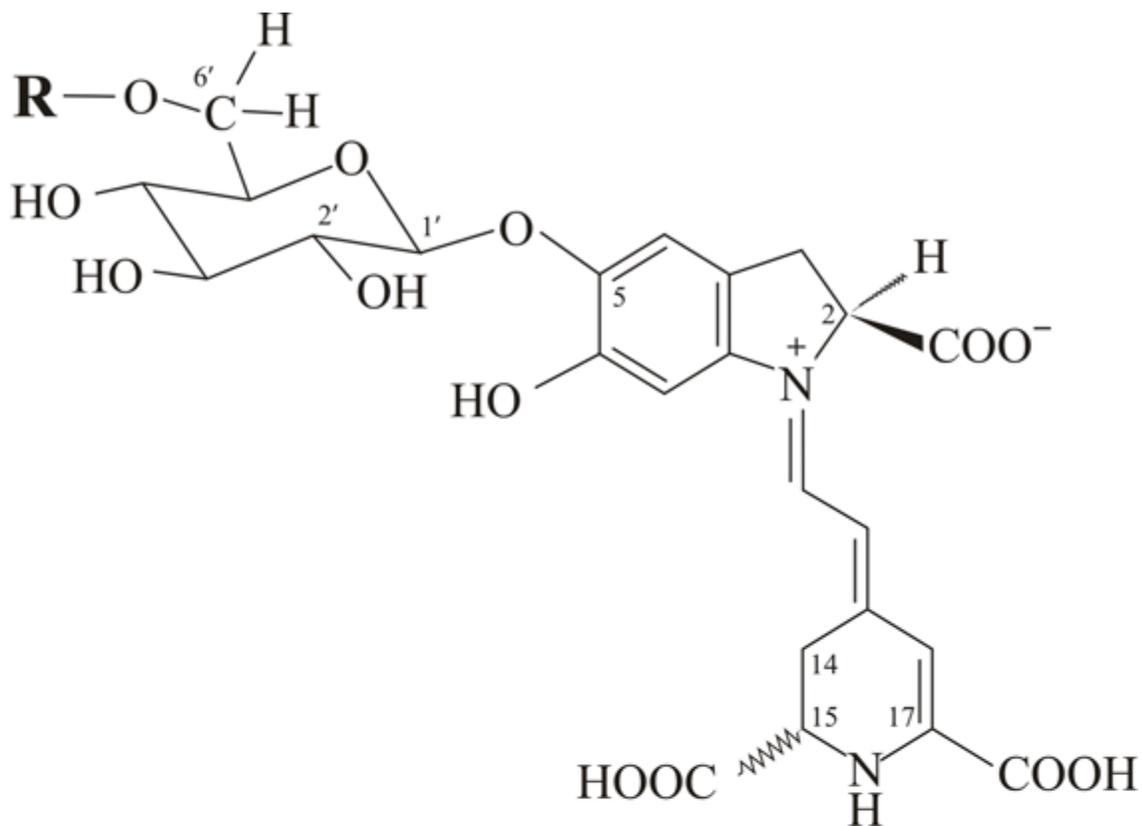
Las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua que usualmente se encuentran en las vacuolas de las plantas. Están divididas en betacianinas y betaxantinas (Strack *et al.*, 2003; Stintzing y Carle, 2007). Las betacianinas son glucósidos o acilglucósidos de betanidina (Fig. 4), formados a partir de ácido betalámico y ciclo-DOPA, mientras que las betaxantinas son productos de condensación del ácido betalámico con aminas o aminoácidos (Strack *et al.*, 2003).

El efecto positivo de las betalaínas contra los trastornos relacionados con el estrés en los seres humanos se debe a su potencial para inhibir la oxidación y la peroxidación lipídica (Kanner *et al.*, 2001). Han sido observados efectos anti-inflamatorios (Gentile *et al.*, 2004), antirradicales, actividad antioxidante y también ha sido descrito el efecto inhibitorio de la betanina en el crecimiento de las células del melanoma (Butera *et al.*, 2002; Cai *et al.*, 2003; Gentile *et al.*, 2004, Wu *et al.*, 2006, Kim *et al.*, 2011).

Además de las antocianinas, los carotenoides y las clorofilas, las betalaínas representan una de las cuatro clases de pigmentos vegetales utilizados comercialmente como colorantes naturales en alimentos. En comparación con los colorantes sintéticos, las betalaínas no son tóxicas ni causan reacciones alérgicas (Schwartz *et al.*, 1983; Lucas *et al.*, 2001). En contraste con las antocianinas estables únicamente en medio ácido, el color de las betalaínas se mantiene en un amplio rango de pH de 3 a 7. Esta propiedad las convierte en alternativa para colorear alimentos de baja acidez (Stintzing *et al.*, 2000). Dado que las betalaínas poseen altos coeficientes de extinción molar, su poder colorante es comparable con los colorantes sintéticos (Henry, 1996). Debido a la diversidad estructural de las betacianinas rojo-violeta (presentes en los frutos de la pitahaya y de la

‘tuna’) y las betaxantinas amarillo-naranja (presentes en los frutos de la ‘tuna’), se puede lograr una amplia gama de tonalidades mediante la mezcla de distintas betalaínas. En el caso de la pitahaya se ha observado principalmente la presencia de betacianinas, mientras que las betaxantinas solo se han detectado en pequeñas cantidades. Las principales betacianinas, descritas en la literatura, que están presentes en *H. polyrhizus* e *H. costaricensis* son betanina, isobetanina, filocactina, isofilocactina, hilocerrenina e isohilocerrenina (Stintzing *et al.*, 2002; Wybraniec y Mizrahi, 2002; Esquivel *et al.*, 2007d; Wybraniec *et al.*, 2007; Naderi *et al.*, 2012). Naderi *et al.* (2012) encontraron que al extraer los pigmentos de la pitahaya con alcohol se induce la presencia de los isómeros. Debido a la presencia de estos pigmentos, las frutas de la familia de las cactáceas se han propuesto como una prometedora fuente de colorantes alimentarios naturales (Stintzing *et al.*, 2001; Stintzing *et al.*, 2003).

Con respecto al contenido de betalaínas en genotipos de *Hylocereus* de Costa Rica, los genotipos “San Ignacio” y “Orejona” mostraron mayores contenidos de betacianinas, 717 y 707 mg/mL, respectivamente, y el genotipo “Nacional” el menor contenido, 474 mg/mL. En el genotipo “Rosa” la betanina y la isobetanina representaron 42,3 % y 7,6 % de las betalaínas identificadas, comparado con “Orejona”, por ejemplo, donde la betanina representó 19,0 % de las betalaínas identificadas. En “San Ignacio” hilocerrenina representó 18 % con respecto a las betalaínas identificadas comparado con, por ejemplo, “Rosa” donde ésta representó 1,8 % de las betalaínas identificadas (Esquivel *et al.*, 2007d). Propiedades y características de los compuestos betalámicos se discuten a profundidad en los trabajos de Stintzing y Carle (2007) y Azeredo (2009).



$\mathbf{R} = \text{H} \Rightarrow$  Betanina, isobetanina

$\mathbf{R} = \text{CO} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \Rightarrow$  Filocactina, isofilocactina

$\mathbf{R} = \text{CO} - \text{CH}_2 - \overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}_{3''} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \Rightarrow$  Hilocerenina, isohilocerenina

**Figura 4.-** Estructuras de las principales betacianinas encontradas en los frutos de pitahaya (*Hylocereus* sp.).

#### 4.- Posibilidades de industrialización de la pitahaya

El incremento en el rechazo de los colorantes artificiales ha estimulado la demanda de colorantes naturales, adquiriendo cada vez más importancia en el mercado mundial. Respecto a las antocianinas y a los carotenoides, las betalaínas, cuya fuente más importante es la remolacha roja (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*), son menos usadas en el procesamiento de alimentos (Moreno *et al.*, 2008). Los frutos del genotipo *Hylocereus* de la pitahaya se han propuesto como prometedoras fuentes de color (Stintzing *et al.*, 2003). La mayoría de las áreas cultivadas de *Hylocereus* están destinadas a la producción de pulpa, muy demandadas por la industria alimentaria en los Estados Unidos y Europa como un ingrediente alimentario y colorante natural (Ortiz-Hernández, 1999). La pulpa se comercializa con semillas debido a la dificultad de la separación de las mismas. Es importante considerar para efectos de industrialización, que las frutas de *Hylocereus* pueden diferir en su calidad de color y contenido de pigmentos, lo cual es crucial para la selección de material de cultivo adecuado. Se considera que el cultivo de pitahaya puede ser prometedor, tanto como fruta fresca así como para su procesamiento industrial. Para el procesamiento de productos de pitahaya se debe considerar que la estabilidad de la betalaínas depende de varios factores como el contenido de pigmentos, el grado de acilación o glucosilación, la matriz de constituyentes, los agentes quelantes, la temperatura, el pH, la luz, antioxidantes, la actividad de agua y el contenido de nitrógeno en el empaque (Herbach y Carle, 2006; Moreno *et al.*, 2008; Azeredo, 2009). En cuanto a la selección de los genotipos, Esquivel *et al.* (2007a) recomiendan el uso del genotipo “Nacional” para procesamiento industrial, mientras que otros genotipos se recomiendan para consumo en fresco; lo anterior considerando aspectos relacionados con la

maduración de los frutos, así como características morfológicas y físico-químicas. Con respecto al consumo como fruta fresca, Vargas y Vargas *et al.* (2005) estudiaron diferentes condiciones para comercializar rodajas de pitahaya mínimamente procesadas, concluyendo que el uso de una película de polipropileno permitió mantener la vida útil de las rodajas de pitahaya por 28 días a 4 °C.

Ayala-Aponte *et al.* (2010) evaluaron las cinéticas de deshidratación osmótica para pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), determinando que la osmodeshidratación a presión atmosférica es una alternativa de pretratamiento en la industrialización de la pitahaya. En otro estudio, se evaluó la liofilización de rodajas de pitahaya amarilla, con pretratamiento de deshidratación osmótica y sin éste, encontrándose que es factible aplicar la liofilización como método de conservación de la fruta, y que no es recomendable realizar un pretratamiento de deshidratación osmótica porque provoca un encogimiento de la fruta, baja la capacidad de rehidratación y no supone una reducción del tiempo de secado (Ayala-A. *et al.*, 2010).

Una alternativa de industrialización es la producción de jugo de pitahaya, al respecto, Herbach *et al.* (2007) estudiaron el efecto de diferentes tratamientos térmicos. Herbach *et al.* (2004) destacan la alta estabilidad térmica de las betalaínas en el jugo de pitahaya al compararlas con soluciones puras de betanina y jugo diluido de remolacha roja, después de tratamientos a 85 °C hasta de 5 horas. Las pérdidas de betacianinas y la alteración del color fueron menores en jugos pasteurizados en un intercambiador de calor tubular a alta temperatura por corto tiempo, con respecto al jugo pasteurizado en una marmita de doble forro. Ochoa-Velasco y Guerrero-Beltrán (2012) encontraron que al tratar con luz UV-C (25 minutos con un flujo de 30,33 mL/s), jugo de otros frutos con compuestos betalaínicos (caso específico de la especie *Stenocereus griseus*), se logran reducciones logarítmicas de

2,11 y 1,14 en el conteo de bacterias aerobias mesófilas y de mohos y levaduras, respectivamente, sin observar cambio de color con un  $\Delta E = 0,87$ . Estos autores determinaron que las velocidades de flujo y los tiempos de tratamiento afectan el contenido de betalaínas y compuestos fenólicos totales.

Schweiggert *et al.* (2009) desarrollaron un proceso para la producción de jugo de pitahaya empleando un tratamiento enzimático a baja temperatura (4-12 °C), logrando un 50 % de disminución de la viscosidad del jugo y con 80 % de retención de la betalaínas. El rendimiento del jugo se incrementó de 25-39 % a 48-60 %. También, Nur 'Aliaa *et al.* (2011) evaluaron los efectos de la aplicación de dos pectinasas comerciales para la obtención de jugo de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*). Este jugo tratado enzimáticamente y pasteurizado no mostró cambios importantes en el contenido de humedad, cenizas y carbohidratos, en el caso de la vitamina C pasó de 6,06 mg/100 g en la pulpa sin tratar a 3,27 y 4,61 mg/100 g en jugos tratados enzimáticamente, disminución que se atribuyó al tratamiento térmico, mientras que los fenólicos aumentaron ligeramente (de 1,244 mg/100 g a 1,336 y 1,255 mg/100 g); los autores señalan que el proceso enzimático es factible para obtener industrialmente un jugo. En jugo de pitahaya blanca tratado enzimáticamente con dos pectinasas comerciales no se observaron cambios significativos en humedad, cenizas, grasa y carbohidratos; mientras que en el contenido de polifenoles se observó un leve incremento de 0,73 mg/100 g a 0,81-0,84 mg/100 g en los jugos tratados (Nur 'Aliaa *et al.*, 2010).

Con respecto al uso de la pitahaya como colorante, un estudio realizado por Nizaha-Juhaida *et al.* (2011) demostró que un colorante en polvo de pitahaya con adición de maltodextrina es un producto apropiado para impartir color a un yogurt. Chemah *et al.* (2011) estudiaron el efecto del grado de polimerización de la maltodextrina y la adición de ácido ascórbico sobre el contenido de

polifenoles totales en un polvo de pitahaya obtenido por atomización. Se encontró que el grado de polimerización no provocó un efecto significativo sobre el contenido de polifenoles totales. Mientras que con la adición de 1,0 % de ácido ascórbico se obtuvo un polvo con mayor contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante.

Dado que la pitahaya tiene una gran cantidad de semillas, la caracterización del aceite que se obtiene de las mismas es importante para definir alternativas de aprovechamiento; se han informado contenidos de aceite, de 295 g/kg para *H. polyrhizus*, 320 g/kg para *H. undatus* (Ariffin *et al.*, 2009) en especies cultivadas en Malasia y de 296 g/kg para pitahaya cultivada en Centroamérica (Villalobos-Gutiérrez *et al.*, 2012). En ambas investigaciones encontraron que el aceite tuvo alta cantidad de ácidos grasos insaturados; asimismo Ariffin *et al.* (2009) señalan que el aceite de *H. polyrhizus* y de *H. undatus* posee cerca de 50 % de ácidos grasos esenciales. Con respecto a la composición de los ácidos grasos, Chemah *et al.* (2010) apreciaron que el ácido linoleico fue el más abundante, encontrándose en mayor proporción en las semillas de pitahaya *S. megalanthus* (654 g/kg) con respecto a *H. undatus* (538 g/kg) e *H. polyrhizus* (487 g/kg), y Villalobos-Gutiérrez *et al.* (2012) determinaron un contenido de ácido linoleico de 466 g/kg de aceite en *Hylocereus* sp. de Centroamérica. Estos últimos autores concluyen, que las semillas de pitahaya representan una fuente potencial de aceite para uso alimentario, cosmético o farmacéutico, y debido al contenido de proteína encontrado en las semillas (206 g/kg semilla en base seca), la torta del prensado, que se obtendría en el proceso de extracción del aceite, podría tener un uso potencial, por lo que recomiendan realizar un estudio del perfil de aminoácidos.

Tal y como se expuso en el presente trabajo se ha informado la presencia de pectinas en las cáscaras de pitahaya (Ramírez-Truque *et al.*, 2011; Nazaruddin *et al.*, 2011; Norazelina

*et al.*, 2012). En un estudio realizado por Tang *et al.* (2011) se evaluaron diferentes condiciones de extracción de la pectina para optimización. Bajo las condiciones analizadas, el máximo rendimiento (17 % aproximadamente) fue logrado a pH = 3,5 con una relación de etanol de 0,5; los autores señalan que el rendimiento logrado es equivalente al que se obtiene extrayendo pectina de manzana y levemente inferior a naranja, las mayores fuentes de extracción de pectina; por lo que concluyen que las cáscaras de pitahaya pueden ser utilizadas industrialmente para tal fin.

Rebecca *et al.* (2012) encontraron presencia de mioinositol en *Hylocereus polyrhizus* (4 mg mioinositol/g fruta), este compuesto está involucrado en mecanismos de osmorregulación en muchas plantas, es un compuesto esencial para muchos procesos metabólicos, por lo que los autores consideran que esta es una razón más para incluir la pitahaya como recomendación para una dieta saludable y también constituye otra razón adicional para considerarla fuente potencial de productos farmacéuticos.

## CONCLUSIONES

La composición química de la pitahaya, en especial la presencia de las betalaínas, como también, las demostradas propiedades antioxidantes y prebióticas, convierten a estos frutos en una alternativa muy importante para la obtención de productos alimenticios con propiedades nutraceuticas o productos farmacéuticos. Los numerosos estudios relacionados con la pitahaya demuestran el creciente interés por aprovechar sus beneficios. Se ha demostrado que es factible la comercialización de la fruta mínimamente procesada, la obtención de jugos y la fabricación de polvos para utilizarlos como colorante natural, la utilización de la cáscara para la obtención de pectina y que, adicionalmente, las semillas de pitahaya, por su

contenido de ácidos grasos insaturados, tienen potencial de uso alimentario, cosmético o farmacéutico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Aziz, Farid and Mat-Noor, Mahanem. 2010. Ethanol extract of dragon fruit and its effects on sperm quality and histology of the testes in mice. *Biomedical Research*. 21(2):126-130.
- Ariffin, Abdul Azis; Bakar, Jamilah; Tan, Chin Ping; Rahman, Russly Abdul; Karim, Roselina and Loi, Chia Chun. 2009. Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. *Food Chemistry*. 114(2):561-564.
- 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.
- Azeredo, Henriette M.C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(12):2365-2376.
- Bárceñas-Abogado, Patricia y Jiménez-Castañeda, Venus. 2010. Pitayas y pitahayas (*Stenocereus* spp. e *Hylocereus* spp.), recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 10(19):101-120.
- Barthlott, W. and Hunt, D.R. 1993. *Cactaceae*. In *The families and genera of vascular plants*. Vol II. (pp.161-197). Berlin: Springer Verlag.

- bin A. Latif, Ahmad Zubaidi; Haque, Mainul; Shanmugasundaram, C. and Mahadeva-Rao, U.S. 2012. Clinical study of preventive potentials of consumption of *Buah naga* [Cactaceae] against paracetamol-induced hepatotoxicity as well as the other associated biological effects. *Asian Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2(1):16-23.
- Brockington, Samuel F.; Walker, Rachel H.; Glover, Beverley J.; Soltis, Pamela S. and Soltis, Douglas E. 2011. Complex pigment evolution in the Caryophyllales. *New Phytologist*. 190(4):854-864.
- 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.
- Cai, Yizhong; Sun, Mei and Corke, Harold. 2003. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(8):2288-2294.
- Centurión-Yah, Alma R.; Solís-Pereira, Sara; Saucedo-Veloz, Crescenciano; Báez-Sañudo, Reginaldo y Sauri-Duch, Enrique. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(1):1-5.
- Chemah, T.C.; Aminah, A.; Noriham, A. and Wan-Aida, W.M. 2010. Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. *International Food Research Journal*. 17(4):1003-1010.
- Chemah, Tamby Chik; Aminah, Abdullah; Noriham Abdullah and Wan-Aida, Wan Mustapha. 2011. The effect of maltodextrin and additive added towards pitaya juice powder total phenolic content and antioxidant activity. In *International Proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering (IPCBE)*. 9:224-228. International Conference on Food Engineering and Biotechnology (ICFEB). May 28-29. Bangkok, Thailand.
- Clement, J.S. and Mabry, T.J. 1996. Pigment evolution in the Caryophyllales: a systematic overview. *Botanical Acta*. 109:360-367.
- Dembitsky, Valery M.; Poovarodom, Sumitra; Leontowicz, Hanna; Leontowicz, Maria; Vearasilp, Suchada; Trakhtenberg, Simon and Gorinstein, Shela. 2011. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. *Food Research International*. 44:1671-1701.
- Esquivel, Patricia. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2):215-219.
- Esquivel, P.; Stintzing, F.C. and Carle, R. 2007a. Fruit characteristics during growth and ripening of different *Hylocereus* genotypes. *European Journal of Horticultural Science*. 72(5):231-238.
- Esquivel, Patricia; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007b. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 81(1):7-14.
- Esquivel, Patricia; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007c. Phenolic compound profiles and their corresponding antioxidant capacity of purple pitaya (*Hylocereus* sp.) genotypes. *Zeitschrift für Naturforschung*. 62c(9/10):636-644.
- Esquivel, Patricia; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007d. Pigment pattern and expression of colour in fruits from different *Hylocereus* sp. genotypes.

- Innovative Food Science & Emerging Technologies. 8(3):451-457.
- García-Barquero, Manuel Enrique y Quirós-Madrigal, Olman. 2010. Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 23(2):14-24.
- Gentile, C.; Tesoriere, L.; Allegra, M.; Livrea, M.A. and D'Alessio, P. 2004. Antioxidant betalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1028:481-486.
- Harris, Nilangani N.; Javellana, John; Davies, Kevin M.; Lewis, David H.; Jameson, Paula E.; Deroles, Simon C.; Calcott, Kate E.; Gould, Kevin S. and Gould and Schwinn, Kathy E. 2012. Betalain production is possible in anthocyanin-producing plant species given the presence of DOPA-dioxygenase and L-DOPA. *BMC Plant Biology*. 12:34(12 March).
- Henry, B.S. 1996. Natural food colours. In *Natural food colorants*. (pp. 40-79). (2nd ed.). London, UK: Chapman & Hall.
- Herbach, Kirsten M.; Maier, Christine; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007. Effects of processing and storage on juice color and betacyanin stability of purple pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice. *European Food Research and Technology*. 224(5):649-658.
- Herbach, Kirsten M.; Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2004. Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya [*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose] monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric analyses. *European Food Research and Technology*. 219(4):377-385.
- Herbach, Kirsten Manuela and Carle, R. 2006. Investigations into stability and degradation of betacyanins from red beet and purple pitaya. Aachen, Germany: Shaker Verlag GmbH.
- Hor, Sook Yee; Ahmad, Mariam; Farsi, Elham; Yam, Mun Fei; Hashim, Mohd Akmal; Lim, Chung Pin; Sadikun, Amirin and Asmawi, Mohd. Zaini. 2012. Safety assessment of methanol extract of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*): acute and subchronic toxicity studies. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 63(1):106-114.
- Inglese, Paolo. 2010. Cactus pear, *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) for fruit production: an overview. (pp. 82-92). In Nefzaoui, A. Inglese, P. and Belay, T. (Eds.). *Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa*. Proceedings of International Workshop, Mekelle (Ethiopia), 19-21 October, 2009. *Cactusnet Newsletter*. Issue 12.
- Inglese, Paolo; Basile, Filadelfio and Schirra, Mario. 2002. Cactus pear fruit production. In *Cacti: biology and uses*. (pp. 163-184). Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Kanner, Joseph; Harel, Stela and Granit, Rina. 2001. Betalains - a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(11):5178-5185.
- Kim, HyoenJi; Choi, Hyung Kyoong; Moon, Jeong Yong; Kim, Young Suk; Mosaddik, Ashik and Cho, Somi Kim. 2011. Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. *Journal of Food Science*. 76(1):C38-C45.
- 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.

- Lucas, Christine D., Hallagan, John B. and Taylor, Steve L. 2001. The role of natural color additives in food allergy. *Advances in Food and Nutrition Research*. 43:195-216.
- Mihalte, Lucica; Sestras, Radu E.; Feszt, Gyotgy and Sestras, Adriana, F. 2010. Variability of seed traits in interspecific and intergeneric combinations between different genotypes of Cactaceae. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(3):246-252.
- Mizrahi, Yosef and Nerd, Avinoam. 1999. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In *Perspectives on new crops and new uses* (pp. 358-366). Proceedings of the Fourth National Symposium New Crops and New Uses: Biodiversity and Agricultural Sustainability. Alexandria, Virginia, USA: American Society for Horticultural Science. ISBN 0-9615027-0-3.
- Mizrahi, Yosef; Nerd, Avinoam and Nobel, Park S. 1997. Cacti as crops. In *Horticultural Reviews*. Volume 18. (pp. 291-320). Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- Moreno, Diego A.; García-Viguera, Cristina; Gil, José I. and Gil-Izquierdo, Ángel. 2008. Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. *Phytochemistry Reviews*. 7(2):261-280.
- Naderi, Nassim; Ghazali, Hasanah M.; Meor Hussin, Anis Shobirin; Amid, Mehrnoush and Abd. Manap, Mohd Yazid. 2012. Characterization and quantification of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) betacyanin pigments extracted by two procedures. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 35(1):33-40.
- Nazaruddin, R.; Norazelina, S.M.I.; Norziah, M.H. and Zainudin, M. 2011. Pectins from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Malaysian Applied Biology*. 40(1):19-23.
- Nerd, Avinoam and Mizrahi, Yosef. 1997. Reproductive biology of cactus fruit crops. In *Horticultural Reviews*. Volume 18. (pp. 321-346). Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- Nerd, Avinoam, Gutman, Feiga and Mizrahi, Yosef. 1999. Ripening and postharvest behavior of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*. 17(1):39-45.
- Nerd, Avinoam; Tel-Zur, Noemi and Mizrahi, Yosef. 2002. Fruits of vine and columnar cacti. In *Cacti: biology and uses*. (pp. 185-198). Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Nizaha-Juhaida, M.; Mohd-Syahir, M.N. and Balkis, M. 2011. Production of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) colorant with maltodextrin as drying aid agent and its application in yogurt. In *Extended Abstract for International Conference on Life Science*. Universiti Malaysia Terengganu 10th International Annual Symposium (UMTAS 2011). July 11-13. (pp. 324-327). Kuala Terengganu, Malaysia.
- Norazelina, Sah Mohd Ismail; Nazaruddin, Ramli; Norziah, Mohd Hani and Zainudin, Meon. 2012. Extraction and characterization of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) using various extraction conditions. *Sains Malaysiana*. 41(1):41-45.
- Nur 'Aliaa, A.R.; Siti-Mazlina, M.K. and Taip, F.S. 2010. Impact of commercial pectolytic enzymes on selected properties of white dragon fruit juice. *Journal of the Institution of Engineers (Malaysia)*. 71(4):25-31.
- Nur 'Aliaa, A.R.; Siti-Mazlina, M.K. and Taip, F.S. 2011. Effects of commercial pectinases application on selected properties of red pitaya juice. *Journal of Food Process Engineering*. 34(5):1523-1534.

- Ochoa-Velasco, Carlos Enrique y Guerrero-Beltrán, José Ángel. 2012. Ultraviolet-C light effect on pitaya (*Stenocereus griseus*) juice. *Journal of Food Research*. 1(2):60-70.
- Ortiz-Hernández, Yolanda Donají. 1999. Pitahaya, a new crop for Mexico. México: Limusa.
- 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.
- Rebecca, Ow Phui San; Boyce, Amru Nasrulhaq and Chandran, Somasundram. 2012. Isolation and identification of *myo*-inositol crystals from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Molecules*. 17(4):4583-4594.
- Russell, Charles E. and Felker, Peter. 1987. The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): a source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botanic*. 41(3):433-445.
- Schwartz, S.J.; von Elbe, J.H.; Pariza, M.W., Goldsworthy, T. and Pitot, H.C. 1983. Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hepatocarcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology*. 21(5):531-535.
- Schweiggert, Ralf M.; Villalobos-Gutiérrez, María G.; Esquivel, Patricia and Carle, Reinhold. 2009. Development and optimization of low temperature enzyme-assisted liquefaction for the production of colouring foodstuff from purple pitahaya (*Hylocereus* sp. [Weber] Britton & Rose). *European Food Research and Technology*. 230(2):269-280.
- Stafford, Helen A. 1994. Anthocyanins and betalains: evolution of the mutually exclusive pathways. *Plant Science*. 101(2):91-98.
- Stintzing, Florian C. and Carle, Reinhold. 2007. Betalains - emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology* 18(10):514-525.
- Stintzing, F.C.; Schieber, A. and Carle, R. 2000. Cactus pear - a promising component to functional food. *Obst-, Gemüse- und Kartoffelverarbeitung*. 85:40-47.
- Stintzing, Florian C.; Schieber, Andreas and Carle, R. 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. 2002. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food Chemistry*. 77(1):101-106, (4):517.
- 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.
- Strack, Dieter; Vogt, Thomas and Schliemann, Willibald. 2003. Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*. 62(3):247-269.
- Tang, P.Y.; Wong, C.J. and Woo, K.K. 2011. Optimization of pectin extracción from peel of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Asian Journal of Biological Sciences*. 4(2):189-195.
- Vaillant, Fabrice; Pérez, Ana; Dávila, Indiana; Dornier, Manuel and Reynes, Max. 2005. Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits*. 60(1):3-12.
- Vargas y Vargas, María de Lourdes; Centurión-Yah, Alma; Sauri-Duch, Enrique y Tamayo-Cortez, Jorge. 2005. Industrialización de la pitahaya (*Hylocereus undatus*): una nueva forma de comercialización. *Revista Mexicana de Agronegocios*. IX(16):498-509.
- Villalobos-Gutiérrez, M.G.; Schweiggert, R.M.; Carle, R. and Esquivel, P. 2012. Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. *CyTA - Journal of Food*. 10(1):78-83.

- Wallace, Robert S. and Gibson, Arthur C. 2002. Evolution and systematics. In *Cacti: biology and uses*. (pp. 1-22). Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Wanitchang, Jaitip; Terdwongworakul, Anupun; Wanitchang, Padungsak and Noypitak, Sirinad. 2010. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hylocereus polyrhizus*. *Journal of Food Engineering*. 100(3):409-416.
- Wichienchot, S.; Jatupornpipat, M. and Rastall, R.A. 2010. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. *Food Chemistry*. 120(3):850-857.
- Wu, Ming Chang y Chen, Chin Shu. 1997. Variation of sugar content in various parts of pitaya fruit. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 110:225-227.
- Wu, Li Chen; Hsu, Hsiu Wen; Chen, Yun Chen; Chiu, Chih Chung; Lin, Yu In and Ho, Ja an Annie. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*. 95(2):319-327.
- Wybraniec, Sławomir; Nowak-Wydra, Barbara; Mitka, Katarzyna; Kowalski, Piotr and Mizrahi, Yosef. 2007. Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. *Phytochemistry*. 68(2):251-259.
- Wybraniec, Sławomir and Mizrahi, Yosef. 2002. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21):6086-6089.