

Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración¹

Physicochemical characterization of seven red-purple prickly pear fruit varieties (*Opuntia* spp.) and pigment stability of two varieties with the highest concentration

Elia Nora Aquino Bolaños,² Yazmín Chavarría Moctezuma,³ José Luis Chávez Servia,⁴
Rosa Isela Guzmán Gerónimo,⁵ Eryck R. Silva Hernández,⁶ Iñigo Verdalet Guzmán⁷

Aquino Bolaños, E. N.; Chavarría Moctezuma, Y.; Chávez Servia, J. L.; Guzmán Gerónimo, R. I.; Silva Hernández, E. R.; Verdalet Guzmán, I., Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 55, 3-10, 2012.

RESUMEN

Se evaluaron las características físico-químicas de frutos de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) que se producen en México, y la estabilidad del pigmento (betalaínas) de dos de ellas fue monitoreado durante 91 días bajo almacenamiento en tres niveles de pH y dos temperaturas. El intervalo de los valores fue registrado para las variables: contenido de agua (81.34-85.29 g 100 g⁻¹ de peso fresco (PF)), cenizas (0.48-0.57 g 100 g⁻¹ PF), proteína (0.20-0.39 g 100 g⁻¹ PF), grasa (0.13-0.83 g 100 g⁻¹ PF), fibra cruda (0.33-0.72 g 100 g⁻¹ PF), sólidos solubles totales (9.67-14.12 °Brix), acidez ti-

tulable (0.020-0.074 g 100 g⁻¹ PF) y pH (3.32-5.81). La concentración del pigmento tuvo una amplia variación entre las variedades: Pintadera tuvo la mayor concentración (86.69 mg betanina 100 g⁻¹ PF), seguida de Tapón Aguanoso (58.12 mg betanina 100 g⁻¹ PF). Bajo todas las condiciones de almacenamiento, el extracto de Tapón Aguanoso (tiempo de vida media = 321 a 533 días) tuvo mayor estabilidad que el extracto de Pintadera.

ABSTRACT

Physico-chemical characteristics were evaluated from the fruit of seven prickly pear (*Opuntia* spp.) varieties grown in Mexico and the pigment stability from two of them was monitored for 91 days under storage at three pH levels and two temperatures. Value ranges were recorded from the water content variables (81.34-85.29 g 100 g⁻¹ fresh weigh (FW)), ash (0.48-0.57 g 100 g⁻¹ FW), protein (0.20-0.39 g 100 g⁻¹ FW), fat (0.13-0.83 g 100 g⁻¹ FW), crude fiber (0.33-0.72 g 100 g⁻¹ FW), total soluble solids (9.67-14.12 °Brix), citric acid (0.020-0.074 g 100 g⁻¹ FW) and pH (3.32-5.81). Pigment concentration varied widely between varieties, with Pintadera having the highest (86.69 mg betanina 100 g⁻¹ FW), followed by Tapón Aguanoso (58.12 mg betanina 100 g⁻¹ FW). Tapón Aguanoso had higher pigment stability under all storage conditions (half-life time = 320.9 to 533.0 days) than Pintadera.

Palabras clave: variedades de tuna producidas en México, *Opuntia* spp., caracterización físico-química, frutos de tuna, estabilidad de betalaínas, pigmentos naturales.

Keywords: prickly pear varieties grown in Mexico, *Opuntia* spp., physicochemical characterization, prickly pear fruit, betalains stability, natural pigments.

Recibido: 5 de Marzo de 2012, aceptado: 8 de Junio de 2012

- ¹ Un agradecimiento al Dr. Clemente Gallegos (CRUCEN-UACH), quien amablemente donó los frutos utilizados en este estudio.
- ² Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, eliaquino@uv.mx.
- ³ Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, minepolis@yahoo.com.mx.
- ⁴ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, jchavezservia1@yahoo.com.
- ⁵ Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, rogzman@uv.mx.
- ⁶ Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, esilva@uv.mx.
- ⁷ Posgrado en Ciencias Alimentarias, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, iverdalet@uv.mx.

INTRODUCCIÓN

Se denomina tuna al fruto del género *Opuntia* (familia Cactaceae) y se le conoce también con los nombres de *cactus pear*, *prickly pear* y *fico d'india*. El fruto es ovoide con un pericarpio grueso, la pulpa es jugosa y dulce, y contiene numerosas semillas (Fernández y Almela, 2001). Presenta altos niveles de ácido ascórbico, fibra y algunos aminoácidos (prolina, glutamina y taurina), así como también calcio y magnesio (Piga, 2004). Debido a su alto contenido de fibra y polifenoles, la tuna es considerada como un alimento funcional y se ha reportado que su consumo reduce el azúcar en la sangre y los niveles de colesterol (Stintzing *et al.*, 2001).

La tuna se puede encontrar en una amplia gama de colores, que puede variar desde el blanco, amarillo, naranja, rojo y púrpura. La coloración del fruto está determinada por la presencia de pigmentos entre los cuales se encuentran las betalainas (Stintzing *et al.*, 2005). Las betalainas son pigmentos solubles en agua e incluyen a las betacianinas de color rojo-violeta y las betaxantinas de color amarillo; por lo tanto, el color del fruto depende de la concentración y el tipo de betalainas que se encuentren presentes. Estos compuestos presentan altos coeficientes de extinción molar con un poder de tinción comparable al de los colorantes sintéticos (Strack *et al.*, 2003).

Actualmente, las betalainas utilizadas para colorear alimentos procesados son extraídas únicamente del betabel (*Beta vulgaris* L.); sin embargo, esta raíz presenta algunos problemas tecnológicos y sensoriales (Piga, 2004), por lo que los frutos de tuna con sabor y olor agradables, y que además han mostrado mejores propiedades nutricionales (Stintzing *et al.*, 2001; Castellano Santiago y Yahia, 2008) que el betabel, podrían llegar a ser una fuente importante de estos compuestos. El tiempo de vida media es el tiempo que le toma al pigmento en alcanzar la mitad de su concentración inicial, mientras mayor sea este valor el pigmento es más estable. Para los extractos de frutos de tuna *Opuntia stricta* almacenados a 4 °C se han reportando tiempos de vida media de 236.6 y 392 días (Castellar *et al.*, 2003, 2006).

México es el país con la mayor producción de tuna en el mundo, tiene la mayor área cultivada y la más grande diversidad de colores del fruto. No obstante, existe poca información que determine su uso potencial como colorante natural

en productos alimenticios. Los objetivos del presente estudio son determinar las características físico-químicas de los frutos de siete variedades de tuna color rojo-púrpura (*Opuntia* spp.) que se producen en México, establecer la concentración de betalainas y, en las dos variedades con mayor concentración, evaluar la estabilidad del pigmento bajo condiciones de refrigeración y congelación y tres niveles de pH. Las hipótesis que se plantearon fueron:

- Los frutos de tuna color rojo-púrpura presentan diferencias en sus parámetros físico-químicos y contenido de pigmento que está en función de la variedad.
- La estabilidad del pigmento de tuna durante el almacenamiento depende de varios factores, como la temperatura y el pH.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Durante dos años consecutivos con resultados muy similares, fueron estudiadas siete variedades de tuna color rojo-púrpura. Los frutos de las variedades Rubí Reyna y Camuezo (*Opuntia megacantha*), Tapón Aguanoso (*Opuntia robusta*), Moradilla 1, Moradilla 2 y Apastillada (*Opuntia* spp.) (figura 1) fueron obtenidos del Centro Regional Universitario del Centro Norte de la Universidad Autónoma de Chapingo (CRUCEN-UACH), ubicado en El Orito, Zacatecas, México; y los frutos de la variedad Pintadera (*Opuntia* spp.) se colectaron en San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. Todos los frutos fueron cosechados manualmente y se seleccionaron aquéllos con el color completamente desarrollado o en estado de madurez 8 de acuerdo a la escala reportada por Pelayo Zaldívar *et al.* (2010).

Caracterización física

Se seleccionaron 20 frutos de cada variedad, cada fruto fue separado en cáscara, pulpa y semilla, cada fracción se pesó y se expresó como porcentaje del peso fresco (PF) del fruto. El color de la pulpa fue registrado para cada fruto a través de los parámetros L^* , a^* y b^* usando un espectrofotómetro Minolta 508d (Konica Minolta, Japón) con iluminante D65 y ángulo de observador de 10°, donde L^* describe la luminosidad ($L^*=0$ para negro, $L^*=100$ para blanco), a^* describe la intensidad de color rojo ($a^*>0$) o verde ($a^*<0$) y b^* describe la intensidad de color amarillo ($b^*>0$) o azul ($b^*<0$) (Minolta Corporation Manual, 1994).



Figura 1. Variedades de tuna usadas en la investigación.

Caracterización fisicoquímica

Métodos de la AOAC (1990) fueron utilizados para cuantificar la humedad, cenizas, proteína ($N \times 6.25$), contenido de grasa y fibra cruda, que se expresaron con base en el peso fresco. Los sólidos solubles totales en el jugo de la pulpa fueron medidos con un refractómetro digital (escala de 0-32%) (ATAGO, Japón) y expresados como °Brix. Para medir el pH, 2.0 g de pulpa fueron homogenizados con 20 mL de agua recién hervida; la mezcla fue filtrada y la medición fue tomada directamente con un equipo Thermo Orion (420 A, USA), el cual fue previamente calibrado con amortiguadores pH 7 y 4. La acidez titulable fue cuantificada homogenizando 10 g de pulpa con 90 mL de agua destilada. La muestra se filtró y se ajustó a pH 8.2 con la adición de NaOH 0.01 N. La acidez fue reportada como g ácido cítrico 100 g⁻¹ de pulpa.

Extracción y análisis del pigmento

La extracción del pigmento se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Castellar *et al.* (2006). La pulpa fue homogenizada con agua en una relación 1:5 (g de pulpa: mL solvente) por 30 s mientras que el tejido vegetal residual fue removido por centrifugación a 15 000 x g por 10 min. (Hermle Z383K, Alemania). El sobrenadante fue concentrado 5-veces en un Rotavapor® (BÜCHI R-200, Suiza) bajo vacío a una temperatura inferior a 40 °C. La concentración del pigmento fue

expresada como betanina (mg 100 g⁻¹ PF) y calculada usando el peso molecular $PM = 550 \text{ g mol}^{-1}$ y el coeficiente de extinción para la betanina a 535 nm [$\epsilon = 60\,000 \text{ L (mol cm)}^{-1}$] (Castellanos-Santiago y Yahia, 2008).

Estabilidad del pigmento durante el almacenamiento

Esta variable se evaluó solamente en las dos variedades con mayor concentración de betalaínas. Para ajustar el pH del extracto a 4.0, 5.0 o 6.0 se utilizaron soluciones de hidróxido de sodio (0.5 M) o ácido clorhídrico (0.25 M). Después de ajustar el pH, los extractos fueron colocados en frascos color ámbar y almacenados en diferentes lotes a temperatura de refrigeración (5 °C) o congelación (-20 °C). Cada siete días durante un periodo de 91 días se midió la concentración del pigmento en los extractos. La estabilidad del pigmento durante el almacenamiento fue expresada en términos de tiempo de vida media ($t_{1/2}$) (tiempo en el que la concentración de betanina en el extracto es la mitad de la concentración inicial); fue calculada asumiendo una cinética de primer orden y usando un análisis de regresión de \ln (% retención de pigmento) vs. tiempo de almacenamiento (Castellar *et al.*, 2003).

Análisis estadístico

Para la caracterización física, los datos fueron reportados como el promedio \pm desviación estándar de 20 frutos; mientras que para evaluar

los parámetros físico-químicos y la concentración del pigmento se utilizaron tres lotes de 10 frutos. Para el análisis de estabilidad del pigmento, el extracto se obtuvo de 10 frutos y se realizaron tres determinaciones a cada extracto. La significación de las diferencias se analizaron con la prueba de Tukey a un nivel de $p < 0.05$. Los análisis fueron realizados con el paquete Statistica ver. 8.0 (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA).

RESULTADOS

Caracterización física

El peso de los frutos estuvo en el intervalo de 20.15 g (Pintadera) y 160.37 g (Moradilla 1) (tabla 1). Pintadera mostró el más bajo porcentaje de pulpa (28.79%) y el más alto porcentaje de cáscara (67.40%). Tapón Aguanoso tuvo el más alto porcentaje de semillas (6.04%) y no hubo diferencia significativa entre el resto de las variedades.

Respecto al color del fruto, la luminosidad, medida a través del parámetro L^* , estuvo en el intervalo de 21.64 y 35.16 (tabla 1), mientras el color rojo medido con el parámetro a^* fue mayor en las variedades Moradilla 1 (22.39) y Moradilla 2 (20.95). Los valores para el parámetro b^* fueron dispersos, observando valores negativos (color azul) en Rubí Reyna, Camuezo y Moradilla 1; y valores positivos (color amarillo) en Pintadera, Tapón Aguanoso, Apastillada y Moradilla 2.

Caracterización fisicoquímica

El contenido de humedad en la pulpa –la porción comestible del fruto– fue de 81.34 a 85.29 g

100 g⁻¹ PF en las variedades estudiadas (tabla 2) y el contenido de cenizas fue de 0.53 g 100 g⁻¹ PF, no presentó diferencia entre las variedades. El contenido de proteína estuvo entre 0.20 y 0.39 g 100 g⁻¹ PF, mientras que extracto etéreo fue de 0.13 a 0.83 g 100 g⁻¹ PF. Pintadera tuvo el más alto contenido de fibra cruda (0.72 g 100 g⁻¹ PF) y Rubí Reyna el valor más bajo (0.33 g 100 g⁻¹ PF). De las siete variedades estudiadas, Tapón Aguanoso tuvo el valor más alto de sólidos solubles totales (14.12 °Brix). Pintadera mostró la mayor acidez titulable (0.074 g ácido cítrico 100 g⁻¹ PF) y no hubo diferencia entre el resto de las variedades. Pintadera presentó el menor valor de pH (3.32) y las otras variedades mostraron valores entre 5.40 y 5.81.

Concentración del pigmento y estabilidad

La concentración de betalainas presentó alta variabilidad y alcanzó entre 13.55 y 86.69 mg 100 g⁻¹ PF (tabla 3). Pintadera tuvo la más alta concentración (86.69 mg 100 g⁻¹ PF), seguida de Tapón Aguanoso (58.12 mg 100 g⁻¹ PF), mientras que Rubí Reyna y Moradilla 2 no presentaron diferencia significativa entre sí ($p > 0.05$) (13.55 y 14.45 mg 100 g⁻¹ PF, respectivamente).

Las dos variedades con mayor concentración de pigmento, seleccionadas para evaluar su estabilidad bajo diferentes condiciones, fueron Pintadera y Tapón Aguanoso. El tiempo de vida media del pigmento fue mayor para Tapón Aguanoso ($t_{1/2} = 320 - 533$ d) que para Pintadera (128.3 - 358.6 d) bajo las dos condiciones de temperatura y los tres niveles de pH (tabla 4).

Tabla 1. Principales componentes y parámetros de color en frutos de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.)

Componente o parámetro de color	Pintadera	Tapón Aguanoso	Rubí Reyna	Camuezo	Apastillada	Moradilla 1	Moradilla 2
Peso del fruto (g)	20.15 ± 0.13 ^f	136.23±0.33 ^d	151.39±0.06 ^b	131.10±0.91 ^e	144.97 ± 0.35 ^c	160.37 ± 0.21 ^a	145.58 ± 0.34 ^c
Pulpa (%)	28.79 ± 0.42 ^g	47.68 ± 0.31 ^d	62.94 ± 0.95 ^a	42.72 ± 0.08 ^f	53.40 ± 0.83 ^b	49.57 ± 0.33 ^c	45.96 ± 0.74 ^e
Cáscara (%)	67.40 ± 0.21 ^a	46.28 ± 0.47 ^d	34.95 ± 0.83 ^f	54.60 ± 0.32 ^b	42.73 ± 0.78 ^e	47.35 ± 0.11 ^d	50.25 ± 0.42 ^c
Semillas(%)	3.81±0.11 ^b	6.04 ± 0.28 ^a	2.12 ± 0.25 ^b	2.68 ± 0.33 ^b	3.87 ± 0.61 ^b	3.09 ± 0.40 ^b	3.79 ± 0.31 ^b
L^*	27.98± 0.94 ^b	21.64±0.86 ^d	35.15±0.58 ^a	34.85±1.04 ^a	24.52±1.49 ^c	28.68±0.34 ^b	27.18±0.34 ^b
a^*	7.14 ± 0.44 ^{cd}	8.36±4.39 ^c	1.50±0.15 ^e	3.43±0.95 ^{de}	16.75±1.77 ^b	22.39±4.71 ^a	20.95±1.91 ^{ba}
b^*	0.73 ± 0.54 ^b	1.09±1.17 ^b	-1.83±0.13 ^c	-1.58±0.19 ^c	3.92±0.75 ^a	-1.38±0.75 ^c	0.35±1.12 ^b

^{a,b} Medias en el mismo renglón con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos en la pulpa de frutos de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.)

Parámetro	Pintadera	Tapón aguanoso	Rubí Reyna	Camuezo	Apastillada	Moradilla 1	Moradilla 2
Cenizas (g 100 g ⁻¹)	0.52±0.03 ^a	0.49±0.43 ^a	0.55±0.65 ^a	0.51±0.07 ^a	0.57±0.31 ^a	0.48±0.54 ^a	0.56±0.0 ^a
Proteína (g 100 g ⁻¹)	0.27±0.03 ^b	0.20±0.06 ^d	0.39±0.55 ^a	0.22±0.30 ^c	0.27±0.09 ^b	0.20±0.08 ^d	0.20±0.11 ^{cd}
Grasa (g 100 g ⁻¹)	0.13±0.69 ^d	0.49±0.08 ^{bc}	0.54±0.35 ^{bc}	0.83±0.42 ^a	0.45±0.72 ^c	0.56±0.32 ^b	0.53±0.21 ^{bc}
Fibra cruda (g 100 g ⁻¹)	0.72±0.43 ^a	0.60±0.49 ^b	0.33±0.71 ^e	0.43±0.45 ^d	0.62±0.54 ^b	0.43±0.27 ^d	0.53±0.03 ^c
Sólidos solubles totales (°Brix)	9.67 ± 0.24 ^e	14.12± 0.05 ^a	11.51 ± 0.06 ^c	11.97 ± 0.01 ^b	11.52 ± 0.04 ^c	9.98 ± 0.09 ^d	10.03± 0.03 ^d
Humedad (g 100 g ⁻¹)	84.86±0.02 ^a	84.74±0.32 ^a	81.34±0.76 ^b	83.98±0.09 ^a	85.29±0.34 ^a	82.05±0.65 ^b	81.77±0.23 ^b
Acidez titulable (g ácido cítrico 100 g ⁻¹)	0.074 ± 0.01 ^a	0.020 ± 0.02 ^b	0.032 ± 0.01 ^b	0.021±0.15 ^b	0.030 ± 0.06 ^b	0.032 ± 0.03 ^b	0.032±0.01 ^b
pH	3.32 ± 0.02 ^f	5.40 ± 0.01 ^e	5.43 ± 0.07 ^e	5.75 ± 0.01 ^b	5.81 ± 0.01 ^a	5.49 ± 0.01 ^d	5.57 ± 0.02 ^c

^{a,b} Medias en el mismo renglón con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Tabla 3. Concentración del pigmento en la pulpa de siete variedades de frutos de tuna (*Opuntia* spp.)

Variedad	mg betanina 100 g ⁻¹ PF
Pintadera	86.69 ± 0.49 ^a
Tapón Aguanoso	58.12 ± 0.81 ^b
Apastillada	27.02 ± 0.44 ^c
Camuezo	24.24 ± 0.79 ^d
Moradilla 1	19.97 ± 0.94 ^e
Moradilla 2	14.46 ± 0.18 ^f
Rubí Reyna	13.55 ± 0.47 ^f

^{a,b} Medias con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).
PF: Peso fresco.

Bajo temperatura de congelación (-20 °C) Pintadera mostró mayor estabilidad a pH 5 y Tapón Aguanoso a pH 4 y 5; sin embargo, bajo refrigeración (5 °C) los extractos de Pintadera tuvieron mayor estabilidad a pH 4, mientras que Tapón Aguanoso tuvo la mayor estabilidad a pH 5.

DISCUSIÓN

Caracterización física

Los componentes de los frutos variaron ampliamente entre las variedades estudiadas. Sawaya *et al.* (1983), Barbera *et al.* (1994) e Inglese *et al.* (1995) indicaron que las variaciones pueden ser

Tabla 4. Tiempo de vida media (t_{1/2}, días) del pigmento de los extractos de la pulpa de frutos de tuna de las variedades Pintadera y Tapón Aguanoso con tres niveles de pH y almacenados en temperaturas de refrigeración y congelación

Temperatura	pH	Pintadera	Tapón Aguanoso
Refrigeración (5 °C)	4	358.6 ^{A, a}	372.2 ^{A, b}
	5	203.8 ^{B, c}	495.0 ^{A, a}
	6	260.0 ^{B, b}	320.9 ^{A, c}
Congelación (-20 °C)	4	219.0 ^{B, b}	511.3 ^{A, a}
	5	320.0 ^{B, a}	533.0 ^{A, a}
	6	128.30 ^{B, c}	379.8 ^{A, b}

^{A,B} Medias en el mismo renglón con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes ($p < 0.05$); ^{a,b} Medias en la misma columna dentro de la misma temperatura de almacenamiento y con diferente letra minúscula son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

atribuidas a la variedad, las prácticas culturales, periodo de luz, clima de la región y estación de cosecha, entre otros factores.

Rubí Reyna presentó el mayor porcentaje de pulpa y el menor porcentaje de piel y semilla, lo cual explica por qué el principal uso de esta variedad es como fruto fresco (Guerrero *et al.*, 2006). Por el contrario, Pintadera tiene una limitada comercialización en fresco debido a su bajo porcentaje de pulpa y alto porcentaje de

cáscara. El porcentaje de cáscara de las demás variedades fue similar al reportado para los frutos de *Opuntia ficus-indica* (Piga, 2004). El alto porcentaje de semillas, junto a la presencia de un sabor desagradable (Martínez, 2007), limita la comercialización de Tapón Aguanoso como fruto fresco. A excepción de Pintadera, el peso del fruto y los porcentajes de pulpa, cáscara y semilla observados en las variedades estudiadas están dentro del intervalo reportado para frutos de tuna en estado de madurez óptimo (Piga, 2004).

Caracterización fisicoquímica

El contenido de cenizas es similar al reportado en *Opuntia ficus-indica* (Sawaya *et al.*, 1983) y en la pulpa de frutos de tuna morada (Sáenz y Sepúlveda, 2001); mientras que el contenido de proteína estuvo dentro del intervalo reportado por Sáenz y Sepúlveda (2001) y Piga (2004) en frutos de tuna. El contenido de grasa de las siete variedades estudiadas fue mayor que 0.12% observado por Sawaya *et al.* (1983) en los frutos de *Opuntia ficus-indica*. El contenido de fibra cruda observado fue mayor que el reportado por Sawaya *et al.* (1983), pero dentro del intervalo de 0.02-3.15% reportado por Sáenz y Sepúlveda (2001). El contenido de sólidos solubles totales de Tapón Aguanoso fue ligeramente mayor que el reportado por Martínez (2007) para esta variedad; Kuti y Galloway (1994) indicaron que los azúcares solubles más abundantes en los frutos de tuna son la sacarosa, la glucosa y la fructosa, pero su proporción varía de acuerdo a la variedad. En general, los resultados muestran que la composición de los frutos de las variedades estudiadas fueron similares al de otras variedades de tuna previamente reportados.

En cuanto a los principales parámetros tecnológicos, el contenido de humedad encontrado en los frutos fue ligeramente menor al reportado por Sepúlveda (1998) y Sáenz (2000) que varía entre 84 y 90%, así como también menor de $88.4\% \pm 0.02$ reportado para *Opuntia boldinghii* por Vitoria Matos *et al.* (2002). Todas las variedades estudiadas tuvieron menor acidez titulable en comparación con lo reportado por Sepúlveda (1998), Sáenz (2000) y Hernández *et al.* (2005) para las variedades Naranjona, Blanca Cristalina y Esmeralda. La acidez es un factor importante para determinar las condiciones de procesamiento más adecuado de cualquier fruto (Sáenz, 2000), y con excepción de Pintadera, el resto de las variedades se ubican dentro de la clasificación de frutos con baja acidez ($\text{pH} > 4.5$).

Concentración del pigmento y estabilidad

Pintadera presentó una concentración de betalainas ligeramente mayor que $80 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ PF reportado por Castellar *et al.* (2003) para frutos de *O. stricta*. Las variedades Rubí Reyna y Moradilla 2 con las más bajas concentraciones tuvieron valores similares a los reportados para frutos *O. ficus-indica* (Forni *et al.*, 1992; Castellar *et al.*, 2003). En comparación con otros frutos que contienen betalainas, todas las variedades de tuna estudiadas mostraron mayor concentración que el reportado para garmabullo (*Mytillocactus geometrizans*) ($2.3 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) (Reynoso *et al.*, 1997), mientras que Pintadera y Tapón Aguanoso tuvieron valores similares a los reportados para pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) ($30\text{-}80 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) (Wybraniec *et al.*, 2001). Actualmente, la fuente más importante de betalainas es el betabel (*Beta vulgaris* L.) en el que se han reportado concentraciones $> 130 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (Castellar *et al.*, 2006; Sapers y Hornstein, 1979); sin embargo, esta raíz presenta un desagradable aroma a tierra causado por un compuesto llamado geosmina (Acree *et al.*, 1976), lo que podría limitar su uso. Por lo tanto, a nivel comercial, especialmente los frutos de Pintadera y Tapón Aguanoso, podrían ser una fuente importante de betalainas.

Los resultados mostraron que el extracto de Tapón Aguanoso es más estable que el resto de las variedades bajo las dos condiciones de temperatura de almacenamiento. El tiempo de vida media de Tapón Aguanoso también fue mayor que los 236.6 días reportado para frutos de *O. stricta* almacenados a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ (Castellar *et al.*, 2006). El pH de mayor estabilidad fue diferente para ambas variedades cuando los extractos se almacenaron a $5 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que en congelación los extractos con pH 5 fueron más estables para las dos variedades; las diferencias observadas podrían atribuirse a la estructura de las betalainas presentes en cada variedad, como lo ha señalado Herbach *et al.* (2006). Se requiere de una investigación posterior para identificar el tipo de betalainas presentes en estas variedades y los cambios que experimentan durante las diferentes condiciones de almacenamiento.

CONCLUSIONES

La proporción de sus principales componentes y las características fisicoquímicas de los frutos de las variedades Pintadera (bajo porcentaje de pulpa y bajo pH) y Tapón Aguanoso (alto porcentaje de semilla y sabor desagradable) limitan

su consumo en fresco, sin embargo, por su alto contenido de betalainas, presentan un excelente potencial para ser utilizados como fuente de pigmentos naturales. Claramente ambos, el pH y la temperatura de almacenamiento del alimento a pigmentar, son factores importantes a considerar cuando se selecciona una variedad de tuna

para extraer el pigmento. De acuerdo a la estabilidad mostrada en la temperatura de refrigeración y congelación y los tres niveles de pH, las variedades Pintadera y Tapón Aguanoso presentan un alto potencial para pigmentar alimentos de baja acidez, tales como helados, yogures, jugos, concentrados de frutas, entre otros.

LITERATURA CITADA

- ACREE, T.E.; LEE, C.Y.; BUTTS, R.M.; BARNARD, J., Geosmin, the earthy component of table beet odor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 24: 430-431, 1976.
- AOAC, *Official Methods of Analysis*. 15th, U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- BARBERA, G.; INGLESE, P.; LA MANTIA, T., Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). *Scientia Horticulturae*, 58: 161-165, 1994.
- CASTELLANOS SANTIAGO, E.; YAHIA, E.M., Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 5758-5764, 2008.
- CASTELLAR, M.R.; OBÓN, J.M.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ LÓPEZ, J.A., Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 2772-2776, 2003.
- CASTELLAR, M.R.; OBÓN, J.M.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ LÓPEZ, J.A., 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, 2006.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, J.A.; ALMELA, L., Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. *Journal of Chromatography A.*, 913 (1-2): 415-420, 2001.
- FORNI E.; POLESTELLO A.; MONTEFIORI D.; MAESTRELLI, A., High-performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Chromatography A.*, 593(1-2): 177-183, 1992.
- GUERRERO, M.P.; ZAVALA, M.H.A.; BARRIENTOS, P.A.F.; GALLEGOS, V.C.; NÚÑEZ, C.C.A.; VALADEZ, M.E.; CUEVAS, S.J.A., Técnica para el estudio de la micromorfología interna de semillas duras en *Opuntia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2): 37-43, 2006.
- HERBACH, K.M.; STINTZING, F.C.; CARLE, R., Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspect. *Journal of Food Science*, 71 (4): 41-49, 2006.
- HERNÁNDEZ PÉREZ, T., CARRILLO LÓPEZ, A., GUEVARA LARA, F., CRUZ HERNÁNDEZ, A.; PAREDES LÓPEZ, O., Biochemical and nutritional characterization of three prickly pear species with different ripening behavior. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(4): 195-200, 2005.
- INGLESE, P.; BARBERA, G.; LA MANTIA, T.; PORTOLANO, S., Crop production and ultimate size of cactus fruit following fruit thinning. *HortScience*, 30: 227-230, 1995.
- KUTI, J.O.; GALLOWAY, C.M., Sugar composition and invertase activity in prickly pear fruit. *Journal of Food Science*, 59(2): 387-388, 1994.
- MARTÍNEZ, F.R., *Monografía de nopal tunero*. México: Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, 2007.
- MINOLTA CORPORATION MANUAL. Precise color communication. Ramsey, NJ: Minolta Corporation Instrument System Division, 1994.
- PELAYO ZALDÍVAR, C.; CASTILLO ÁNIMAS, D.; CHATELAIN MERCADO, S.; SIADE BARQUET, G., Manejo poscosecha de la nochitli o tuna (*Opuntia* spp.). México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 2010.
- PIGA, A., Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6: 9-20, 2004.
- REYNOSO, R.; GARCÍA, F.A.; MORALES, D.; GONZÁLEZ DE MEJIA, E., Stability of Betalain Pigments from a Cactaceae Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45(8): 2884-2889, 1997.
- SÁENZ, C., Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*. 46(3): 209-225, 2000.
- SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E., Cactus-pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 4(3-10), 2001.

- SAPERS, G.M.; HORNSTEIN, J.S., Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments. *Journal of Food Science*. 44(4): 1245-1248, 1979.
- SAWAYA, W.N.; KHATCHADOURIAN, H.A.; SAFI, W.M.; AL-MUHAMMAD, Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. *International Journal of Food Science & Technology*, 18(2): 183-193, 1983.
- SEPÚLVEDA, E., Cactus pear fruit potential for industrialization. In: Sáenz C, editor. *Proceedings of the International Symposium: cactus pear and nopalitos processing and uses* (pp. 17-21). Santiago, Chile, 1998.
- STINTZING, F.C.; HERBACH, K.M.; MOBHAMMER, M.R.; CARLE, R.; YI, W.E., SELLAPPAN, S.; AKOH, C.C.; BUNCH, R.; FELKER, P., Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* sp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2): 442-451, 2005.
- STINTZING, F.C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R., Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*. 212(4): 396-407, 2001.
- STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W., Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*. 62(3): 247-269, 2003.
- VILORIA MATOS, A.; CORBELLI-MORENO, D.; MORENO ÁLVAREZ, M.J.; BELEN C., Stability in betalains from tuna pulp (*Opuntia boldinghii* Br. et R.) submitted to a lyophilization process. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19: 324-331, 2002.
- WYBRANIEC, S.; PLATZNER, I.; GERESH, S., GOTTLIEB, H.E.; HAIMBERG, M.; MOGILNITZKI, M.; MIZRAHI, Y., Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. *Phytochemistry*, 58(8): 1209-1212, 2001.