

Evaluación de la capacidad antioxidante, características fisicoquímicas y perfil sensorial de *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica*.

Areli E. Torres-Bojórquez¹, Oscar R. García-Rubio¹, Rita Miranda-López²,
Anaberta Cardador-Martínez³.

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro Qro. México. ²Instituto Tecnológico de Celaya, Gto. México. ³ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Santiago de Querétaro, Qro. México.

RESUMEN. Las *Opuntia* spp. son un recurso fitogenético Mexicano de gran valor nutritivo y alto contenido de betalainas, compuestos conocidos por sus propiedades antioxidantes. Este estudio evaluó las características fisicoquímicas, el contenido de betalainas y su capacidad antioxidante (CA), así como el perfil sensorial de frutos de *O. robusta* y *O. ficus-indica*. Esta última presentó mayor acidez y contenido de sólidos solubles ($F=769.2$; $P=0.0001$), ($F=360.4$; $P\leq 0.0001$), que *O. robusta*. En humedad y contenido de cenizas no hubo diferencias significativas entre ambas especies. La concentración de betalainas fue superior en *Opuntia robusta* ($F=529.1$; $P\leq 0.0001$) betacianinas (0.114 mg/mL pulpa) y betaxantinas (0.073 mg/ mL de pulpa), en *O. ficus-indica* (0.023 mg/ mL de pulpa y 0.0198 mg/ mL de pulpa). Se encontraron diferencias significativas en la CA ($F=545.9$; $P\leq 0.0001$), en *O. ficus-indica* hasta 195.38 μmol equivalente Trolox/ mL por el método Ácido2, 2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)6-sulfónico (ABTS) y 22% de inhibición de radicales libres por el método 2,2 difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), para *O. robusta* 165.6 μmol equivalente Trolox/ mL y más del 36% de inhibición de radicales libres. Los resultados mostraron que la CA está directamente relacionada con la concentración de betacianinas y betaxantinas. Ambas variedades de *Opuntia* exhiben una tendencia a lo dulce y ácido, con aromas, sabores y resabios con notas frutales y vegetales. Estos resultados sugieren que estas especies pueden ser empleadas para la extracción de betalainas debido a su gran potencial para utilizarse en la industria como fuente de pigmentos naturales con propiedades antioxidantes y agradables características sensoriales.

Palabras clave: *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus-indica*, capacidad antioxidante, perfil fisicoquímico, características sensoriales.

SUMMARY: Evaluation of antioxidant capacity, physicochemical characteristics and sensory profile of *Opuntia robusta* and *O. ficus-indica*.

Opuntia spp. are a Mexican phytogetic resource with great nutritive value and high betalains (compounds known for their antioxidant properties) content. Our main goal was to evaluate the physicochemical characteristics, betalains concentration and antioxidant capacity (AC), as well as sensory profiles of *Opuntia robusta* and *O. ficus-indica*, where the later one showed higher acidity and soluble solids content ($F=769.2$; $P=0.0001$ and $F=360.4$; $P\leq 0.0001$ respectively) than *O. robusta*. There was no significant difference between the species in terms of humidity and ash content. Betalains concentrations were higher in *Opuntia robusta* ($F=529.1$; $P\leq 0.0001$), while betacyanins (0.114 mg/ mL pulp) and betaxantins (0.073 mg/ mL de pulp) were higher in *O. ficus-indica* (0.023 mg/ mL pulp and 0.0198 mg/ mL de pulp). Significant differences for AC were found ($F=545.9$, $P\leq 0.0001$), with *O. ficus-indica* showing up to 195.38 μmol Trolox equivalent / mL by the method 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) and 22% of free radicals inhibition by the method 2, 2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), while 165.6 μmol Trolox equivalent / mL and more than 36% free radicals inhibition were found for *O. robusta*. Results showed that the antioxidant capacity is directly related with betacyanins and betaxantines concentration. Both *Opuntia* varieties exhibit a tendency to sweetness and acidity, with aromas, flavors and scents within fruity and vegetable notes. These results suggest that both species could be used in the extraction of betalains due to their great industrial potential as a source of natural pigments with antioxidant properties and pleasant sensorial characteristics.

Key words: *Opuntia robusta*, *Opuntia ficus-indica*, antioxidant capacity, physicochemical profile, sensory characteristics.

INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Opuntia* se distribuyen ampliamente en las regiones áridas y semiáridas de América ya que se encuentran bien adaptadas a las condiciones ambientales extremas (1). Su plasticidad genética, en sinergia con el hecho de que la Familia Cactaceae es uno de los grupos más populares dentro de las plantas en horticultura (2) ha promovido que el género sea una especie invasora exitosa en los desiertos y semidesiertos de todos los continentes (3). A pesar de ello, este grupo ha brindado notables beneficios al hombre; su presencia cosmopolita así como el amplio aprovechamiento del fruto (tuna) y sus cladodios (paletas), han motivado las investigaciones sobre formas novedosas para el incremento del rendimiento agrícola, adaptabilidad y desarrollo de la planta (4), así como el aprovechamiento de las propiedades nutricionales del fruto, principalmente su capacidad antioxidante (3), o para el aislamiento de metabolitos secundarios, como betalainas y carotenoides (2). Todas estas investigaciones persiguen el propósito de diversificar el mercado de productos frutícolas, tanto frescos como procesados.

El fruto se denomina como tuna, es ovoide con un pericarpio grueso, la pulpa es jugosa y dulce, y contiene numerosas semillas. El consumo de tuna aporta lípidos, proteínas, minerales, fibra, aminoácidos, vitamina C, compuestos fenólicos y pigmentos betalainicos (5), así como altas concentraciones de agentes antioxidantes que le confieren al fruto las características de un alimento funcional, es decir, un alimento que además de sus características nutricionales cumple una función específica como puede ser el mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (6).

Las betalainas son pigmentos solubles en agua e incluyen a las betacianinas de color rojo-violeta y las betaxantinas de color amarillo; el color del fruto es resultado de la concentración y el tipo de betalainas presentes (3). Estos pigmentos

muestran una importante actividad antioxidante y un uso potencial como pigmentos naturales (6).

Actualmente, existe la tendencia de consumo de alimentos nutraceuticos o funcionales porque se ha reportado que previenen algunas enfermedades degenerativas y contribuyen a mantener la buena salud de sus consumidores, lo cual ha provocado un mayor interés en el estudio de fitoquímicos con actividad antioxidante (7).

Actualmente el betabel (*Beta vulgaris* L.) es la principal fuente de colorante rojo natural, conocido como “remolacha roja”. La betanina es el componente principal del colorante rojo extraído de esta raíz y es uno de los productos más utilizados debido a su alto contenido de este compuesto; lo que permite aislarlo a nivel industrial (8). Sin embargo se ha demostrado que este tubérculo presenta algunos problemas sensoriales, entre ellos el sabor terroso, ocasionado por el contenido de geosminas y pirazinas además de su incompatibilidad con lácteos, características que no poseen los pigmentos obtenidos de *Opuntia* spp. (9). Stintzing y Carle (10) consideran que la familia Cactaceae, principalmente el género *Opuntia*, es una excelente alternativa como fuente de betalainas. El género ha sido poco explotado en el área de obtención de pigmentos y producción de aditivos nutraceuticos, como cápsulas, concentrados, pulpas, bebidas en polvo, etc., con propiedades antioxidantes, hipoglucémicas, hipocolesterolémicas y diuréticas (6).

En México, el género *Opuntia* tiene una amplia distribución, particularmente en la Sierra Madre Oriental, la Mesa del Centro y el Eje Neovolcánico, donde su diversificación de especies es significativa. Esta diversidad es una fuente potencial de diversos productos, como paletas y nieves, productos deshidratados, jaleas, bebidas y concentrados para la industria alimenticia (11). Dos especies de interés son *Opuntia robusta* y *O. ficus-indica* que se distribuyen a lo largo de los estados de Hidalgo, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, San Luís

Potosí y Zacatecas (12). Debido al alto contenido de betalaínas en estas variedades (5), se consideró que pueden ser una fuente potencial de colorantes y otros posibles aditivos para la industria alimentaria. Hay abundante literatura sobre las actividades biológicas de estos compuestos, particularmente sobre su actividad antioxidante que se ha vinculado con la actividad anti cáncer. Si bien la remolacha ha sido incluida entre los 10 vegetales con mayor poder antioxidante, los frutos de *Opuntia* han mostrado también alta capacidad antioxidante además de presentar considerables ventajas tecnológicas y sensoriales (13). Un ensayo publicado en 2005 mostró que la contribución de las betalaínas a la actividad antioxidante in vitro observado para extractos de *Opuntia* era mayor que la aportada por el ácido ascórbico (10).

Por ello, la meta de este trabajo fue determinar el perfil fisicoquímico, el contenido de betalaínas, la capacidad antioxidante y las características sensoriales de los frutos de *O. ficus-indica* y *O. robusta* como herramientas para determinar la viabilidad de estas especies como fuente de producción y extracción de betalaínas; así como su posible uso como aditivo en la industria alimenticia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Biológico

Los frutos de *O. robusta* y *O. ficus-indica* fueron colectados en el semidesierto Queretano en los Cerros San Martí y El Patol (N 20° 44' 18.89" W 99° 58' 27.04" y N 20° 49' 19.55" W 99° 55' 48.49", respectivamente) durante los meses de octubre y noviembre de 2015. La elección de los frutos e índice de cosecha se basó en la expresión de un color rojo intenso o morado y el tamaño del fruto (más de 7 cm en *O. ficus-indica* y más de 11 cm en *O. robusta*). Los especímenes fueron identificados en campo, y su especie se corroboró en el Herbario Dr. Jerzy Rzedowski QMEX de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Caracterización fisicoquímica

La pulpa de tuna se obtuvo trozando las tunas previamente peladas y separando las semillas, esta masa se pasó a través de un tamiz de 2 mm (#10). La pulpa se envasó en bolsas de polipropileno 500 g y se congeló a -20° C hasta el momento de su uso. Los sólidos solubles totales en la pulpa fueron determinados con un refractómetro digital (escala de 0-53 %) (ATAGO, Japón) y expresados como °Brix. La determinación del pH se hizo con un equipo Thermo Orion (420 A, USA), para ello se disolvieron 2,0 g de pulpa en 20 mL de agua destilada; la mezcla fue filtrada antes de emplearla. La acidez titulable fue cuantificada en una solución de 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada. La muestra se filtró y se ajustó a pH 8,2 con la adición de NaOH 0,01 N Sigma Chemical®. La acidez fue reportada como ácido málico 100 g-l de pulpa. Métodos de la AOAC (14) fueron utilizados para cuantificar la humedad y cenizas.

Contenido de betalaínas

El contenido de betacianinas y betaxantinas se determinó según lo descrito por Castellanos y Yahia (3), mediante la absorbancia de los extractos de betalaínas a 538 y 473 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25® UV/Vis (USA). Para la conversión de las unidades de absorbancia en unidades de concentración se utilizó la expresión $B \text{ (mg/g)} = (A \times FD \times PM \times V) / (\epsilon \times L)$, donde B es betacianinas o betaxantinas, A es la absorbancia a 538 nm para betacianinas y 476 nm para betaxantinas, FD es el factor de dilución al momento de leer en el espectrofotómetro, PM es el peso molecular de betacianina o betaxantina, V es el volumen del extracto, ϵ es el coeficiente de extinción molar, y L es la longitud de la celda (1 cm).

Capacidad antioxidante

Método 2,2 difenil-1-pricrilhidracilo (DPPH)

La capacidad antioxidante de los extractos se midió a través de la inhibición del radical estable 2,2 difenil-1-pricrilhidrazilo (DPPH)

Sigma Aldrich®. Para esto se colocaron 3 mL de una solución metanólica de DPPH $6,1 \times 10^{-5}$ M y se hicieron reaccionar con 0,1 mL de tres concentraciones de cada extracto (15). La mezcla se dejó reaccionar en oscuridad y se monitoreó el cambio en la absorbancia de las muestras por un periodo de 60 min., en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25® UV/Vis (USA). El porcentaje de inhibición DPPH fue calculado conforme a la Ecuación 1.

Ecuación 1: % Inhibición de radicales libres = $[(Ac-As)/Ac] \times 100$.

Dónde:

Ac = absorbancia del DPPH antes de la reacción.

As = absorbancia de la mezcla de DPPH con la muestra.

Método ácido 2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS)

Se hizo reaccionar ABTS Sigma Aldrich® (7 mM) con persulfato potásico, Sigma Aldrich® (2,45 mM, concentración final) a temperatura ambiente ($25 \pm 1^\circ \text{C}$) y en la oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS se diluyó con etanol hasta obtener un valor de absorbancia alrededor de 0,70 ($\pm 0,1$) a 754 nm (longitud de onda de máxima absorción). Las muestras filtradas se diluyeron con etanol hasta que se produjo una inhibición del 20 al 80%, después se añadieron 20 μL de la muestra a 980 μL de dilución del radical ABTS. La absorbancia se midió de forma continua transcurridos 7 minutos a 754 nm. El antioxidante sintético de referencia Trolox® se ensayó a una concentración de 0-15 μM (concentración final) en etanol, en las mismas condiciones. Los resultados se expresan en TEAC (Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox).

Perfil Sensorial

Para obtener el perfil se llevó a cabo un análisis descriptivo, que consiste en la determinación de las propiedades sensoriales y su medición.

En función del tipo de análisis varía el número de panelistas, el grado de entrenamiento, y el número de parámetros sensoriales. Para el análisis sensorial descriptivo se emplearon 15 panelistas, en función de su habilidad para reconocer diferentes estímulos sensoriales. Se capacitaron en la teoría sobre los principios básicos del análisis sensorial, explicando las técnicas establecidas para la evaluación. Posteriormente se les entrenó en reconocer sabores, aromas y textura. La escala de intensidad empleada fue 1= apenas detectable, 3= moderadamente intenso y 5= intensidad extrema. Para la evaluación de los frutos se empleó un análisis sensorial de tipo descriptivo, ya que el objetivo fue describir la intensidad de sabor, aroma y resabio de la pulpa extraída directamente de *O. robusta* y *O. ficus-indica*.

Análisis Estadístico

Todas las pruebas fisicoquímicas, la concentración del pigmento así como los resultados de la actividad antioxidante fueron llevadas a cabo por triplicado para las dos variedades (*O. robusta* y *O. ficus-indica*), el diseño experimental fue completamente al azar, para comparar las variables de respuesta se hizo un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey. Posteriormente, para determinar la actividad antioxidante y el contenido de Betalaínas, se llevó a cabo un análisis de correlación para determinar relaciones lineales entre este par de variables, considerando como criterio que por lo menos 50 % ($r^2 = 0,5$) de la variación de una variable esté explicada por otra. En cuanto a la evaluación sensorial, los resultados obtenidos de los 15 panelistas (tres repeticiones por panelista), de cada uno de las características de los atributos (aroma, sabor y resabio), de las dos pulpas degustadas (*O. robusta* y *O. ficus-indica*), fueron comparadas por medio de un análisis de varianza. Los análisis se hicieron con el paquete estadístico JMP 7.0.1 (SAS Institute Inc.).

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica

De las dos especies estudiadas, *O. robusta* tuvo el valor más alto de sólidos solubles totales difiriendo significativamente ($F= 360,4$; $P \leq 0,0001$) de *O. ficus-indica* (TABLA 1). En cuanto a la acidez titulable el contenido de ácido fue significativamente diferente ($F= 769,2$; $P= 0,0001$). En el contenido de humedad y contenido de cenizas no se presentaron diferencias significativas entre las variedades.

Contenido de Betalaínas

La concentración de Betalaínas (determinada como betacianinas y betaxantinas) fue mayor en *O. robusta*, con una concentración de betacianinas de 0,114 mg/ mL pulpa base húmeda y betaxantinas de 0,0732 mg/ mL pulpa base húmeda. *O. ficus-indica* presentó valores menores (0,0225 mg/ mL de Betacianina en pulpa y 0,0089 mg betaxantinas/ mL de pulpa respectivamente),

difiriendo significativamente de los exhibidos por *O. robusta* (TABLA 2).

Capacidad Antioxidante

DPPH

La capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de pigmentos del fruto. Se determinó la capacidad antioxidante en la pulpa de tuna de ambas variedades, utilizando el método de radical DPPH se observó que *O. robusta* a diferentes concentraciones tuvo el mayor porcentaje de decoloración con un 36,97% contra un 22,4 % de *O. ficus-indica* (TABLA 3).

ABTS

Mediante este método, *O. ficus-indica* presentó una actividad antioxidante más alta en promedio que *O. robusta* (TABLA 3). Lo que implica que además de los compuestos responsables del color, existen otros que están aumentando la capacidad antioxidante, como polifenoles y

TABLA 1. Características fisicoquímicas de dos variedades de *Opuntia*.

Característica	X±DE Pulpa de <i>O. robusta</i>	X±DE Pulpa <i>O. ficus-indica</i>
pH	4,56 ± 0,017	4,23 ± 0,012
Sólidos solubles (°Brix)	11,7 ± 0,100a	10,17 ± 0,058b
Acidez Titulable (g.100g-1)	0,65 ± 0,024a	0,24 ± 0,029b
Cenizas (%)	49,42 ± 0,560	51,65 ± 0,400
Humedad (%)	84,10 ± 0,140	83,73 ± 0,310

Letras diferentes en la misma fila muestran diferencia significativas ($p < 0,05$).

TABLA 2. Concentración de pigmentos en dos variedades de *Opuntia*.

Variedad	X±DE Betacianinas mg/ mL	X±DE Betaxantinas mg/ mL
<i>O. robusta</i>	0,1144 ± 0,026a	0,0732 ± 0,025a
<i>O. ficus-indica</i>	0,0225 ± 0,009b	0,0198 ± 0,002b

Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

TABLA 3. Valores de capacidad antioxidante por método de DPPH y ABTS en dos variedades de fruto de *Opuntia*.

Variedad	X±DE Concentración de betalainas (mg/mL) ¹	X±DE % DPPH ²	X±DE ABTS (TEAC) ³
<i>O. robusta</i> C1	0,00715± 0,003	36,97 ± 0,41a	165,6 ± 2,91c
<i>O. robusta</i> C2	0,00545± 0,008	21,46 ± 0,95b	128,0 ± 1,68d
<i>O. robusta</i> C3	0,00443± 0,002	17,47 ± 0,56c d	71,8 ± 2,78e
<i>O. ficus-indica</i> C1	0,00562± 0,002	22,42 ± 1,59b	195,38 ± 1,68b
<i>O. ficus-indica</i> C2	0,00375± 0,001	19,00 ± 0,39c	207,38 ± 2,34a
<i>O. ficus-indica</i> C3	0,00205± 0,003	16,61 ± 0,31d	54,49 ± 3,01f

¹ Concentración de betalainas utilizadas para la determinación de la actividad antioxidante por ambos métodos.

² Porcentaje de decoloración de radicales libres. ³ μmol de equivalente Trolox/ ml de extracto de fruto de las dos variedades de frutos de *Opuntia*. *Letras diferentes en la misma columna significan diferencias significativas (p< 0,05).

vitaminas quienes pueden hacer una diferencia en la medición de la capacidad antioxidante. Se observó una correlación entre la concentración de betalainas y la capacidad antioxidante para los métodos ABTS ($r^2= 0,5$) y DPPH ($r^2= 0,82$). La capacidad antioxidante de un fruto depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él.

Análisis Sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial de las pulpas, muestran que no existieron diferencias significativas respecto a la calidad de los atributos de olor, sabor y resabio entre las dos variedades de tuna. El sabor y resabio mostraron una relación ácido-dulce. En cuanto al aroma, sobresalen los aromas frutales con una intensidad de 4, garambullo, vegetal fresco, vegetal y floral (FIGURA 1).

En los resultados del perfil de sabor, predomina el dulce, amargo y ácido, específicamente las notas a betabel, garambullo, tuna, pepino y vegetal, siendo más intensos en *O. robusta* (FIGURA 2).

Los resultados de resabio (FIGURA 3), nos muestra una tendencia a lo dulce, amargo y ácido, que concuerda con lo arrojado en

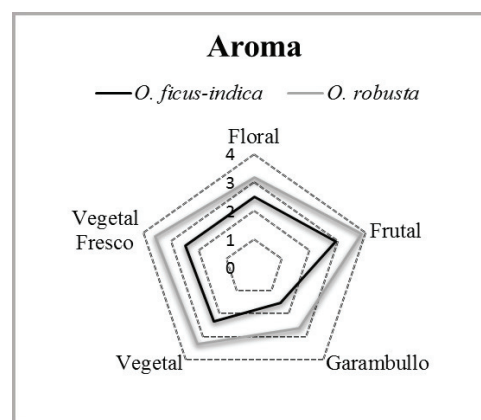


FIGURA 1. Aromas de mayor intensidad reportados en el análisis sensorial de dos variedades de tuna.

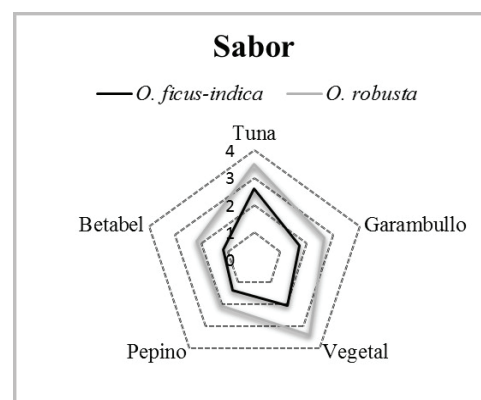


FIGURA 2. Sabores de mayor intensidad reportados en el análisis sensorial de dos variedades de tuna.

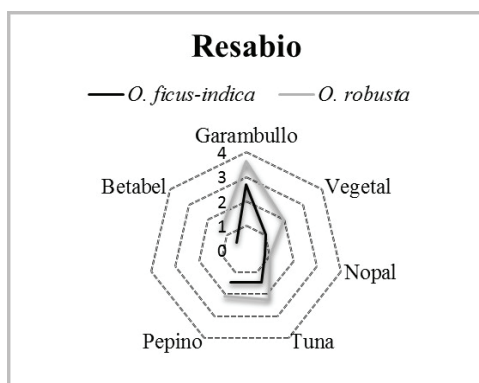


FIGURA 3. Resabios principales de mayor intensidad reportados en el análisis sensorial de dos variedades de tuna.

sabores, específicamente se muestra resabio a tuna, garambullo, nopal, betabel y vegetal principalmente.

DISCUSIÓN

Los sólidos solubles totales mostraron valores inferiores (TABLA 1) a los 15,61 a 15,67 °Brix que mencionan Rodríguez (16). La menor concentración puede ser reflejo de la época de colecta, que fue cerca del invierno. De acuerdo con lo reportado por Sáenz y Sepúlveda (17), la concentración de azúcares tiende a disminuir cuando las colectas se hacen en esta estación, comparado con la concentración de azúcares producida en verano. A pesar de ello, la muestra está dentro de los intervalos especificados para tuna roja y morada mencionados por Crivelli y Nani (18). Se asume que las muestras de *O. robusta* y *O. ficus-indica* que se encuentran en un intervalo de 10 a 17° Brix contienen principalmente azúcares reductores, donde predomina la glucosa y la fructosa en segundo lugar, lo que hace que la pulpa de la tuna sea “muy dulce” (18). Piga (9) encontró intervalos de 10 a 15° Brix para los azúcares reductores en tunas, lo cual coincide con lo que se reporta en este estudio. En cuanto al pH, se acerca más a la zona

de productos ácidos, *O. robusta* tuvo (0,6767 g ác. Málico/100 g muestra) lo cual concuerda con lo reportado por Crivelli y Nani (18), mientras que *O. ficus-indica* difiere con un valor por debajo de lo reportado por los anteriores (0,2412 g ác. Málico/100 g muestra), *O. ficus-indica* presentó pH 4,22, mientras que para *O. robusta* fue de 4,57 unidades, lo cual se encuentran dentro del intervalo determinado por Crivelli y Nani (18). En el contenido de humedad encontrado en los frutos fue ligeramente menor al reportado por Aquino-Bolaños (19) que varía entre 84 y 90%, así como también menor de 88,4% reportado para *Opuntia boldinghii* por Vilorio- Matos (20). Las variaciones en la caracterización fisicoquímica pueden ser atribuidas a factores como la variedad, las prácticas culturales, el fotoperiodo, clima de la región y estación de cosecha, entre otros factores (19). En el contenido de Betalaínas, las concentraciones que se encontraron son similares a las reportadas para frutos *O. ficus-indica* (20). A pesar de que la concentración de betalaínas es menor a la reportada para betabel (21), en comparación con otros frutos de cactáceas, *Opuntia robusta* mostró concentraciones superiores a la pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) que presenta $1,03 \pm 0,22$ mg/g (22); y la jiotilla (*Escontria chiotilla*) que contiene 0,89 mg/g de betacianinas (23). La Capacidad Antioxidante de un extracto o fruto se puede expresar en función del porcentaje de DPPH. En este trabajo se encontró que a medida que aumenta la concentración de betalaínas en los extractos de fruto de *Opuntia* el porcentaje de DPPH aumenta, por lo tanto *Opuntia robusta* posee una capacidad antioxidante mayor a la de *O. ficus-indica*. Se ha informado que las betacianinas son antioxidantes más potentes que las betaxantinas (23), y estas últimas son las predominantes en ambas variedades de *Opuntia*. Por el contrario en el método de ABTS, *Opuntia ficus-indica* con una menor concentración de betalaínas (0,225 mg/g peso fresco) presentó mayor capacidad

antioxidante (195,38 μmol equivalente Trolox/ml de extracto de fruto), por el contrario, *O. robusta*, a pesar de tener una concentración superior de betalaínas (1,144 mg/g peso fresco), presentó una capacidad antioxidante menor (165,6 μmol equivalente Trolox/ml de extracto de fruto). Se observó correlación entre la concentración de betalaínas y la capacidad antioxidante para los métodos ABTS y DPPH. Para ABTS ($r^2= 0,5$) mientras que para DPPH ($r^2= 0,82$). Esto implica que además de los compuestos responsables del color, deben estar presentes otros compuestos como vitaminas y polifenoles que están aportando capacidad antioxidante en *O. ficus indica* (5, 6).

Para el perfil sensorial la combinación de sabores y resabios dulces, ácidos y amargos con distintivas notas frutales, así como aromas florales y frutales característicos de las dos variedades de tuna, resultan agradables al paladar y al olfato, siendo también compatibles con muchos alimentos, incluyendo los lácteos. Estas características, hacen de los frutos ensayados una excelente alternativa como fuente de colorantes y aditivos alimenticios (24), en comparación con los sabores terrosos que distinguen a los colorantes obtenidos del betabel, y a su clásica aversión a los lácteos (9). El sabor y resabio mostraron una relación ácido-dulce, debida principalmente al aumento de la acidez y a la disminución de la concentración de azúcares que tienden a tener los frutos colectados cerca del invierno (17). Otra característica sobresaliente de las betalaínas de *Opuntia* es su alto coeficiente de extinción molar que les brinda un poder de tinción comparable al de los colorantes sintéticos (25).

CONCLUSIONES

El conocimiento de las características de especies de *Opuntia* no cultivadas es importante con la finalidad de difundir sus características e impulsar su aprovechamiento. Sus cualidades organolépticas, notas dulces, frutales y florales tanto en aroma como en sabor y sus características

fisicoquímicas grado de acidez y contenido de azúcares, fueron parecidas ya que no se detectaron diferencias significativas, lo que corrobora la aceptabilidad para su consumo en fresco. Por otro lado, la concentración de betalaínas disponibles en ambos frutos, les confiere la cualidad de poder ser empleadas para la producción y extracción de betalaínas que a su vez pueden ser componentes de productos nutraceuticos por su fuente natural de antioxidantes y sabor dulce afrutado, además de utilizarse en la industria como pigmentos naturales y aditivos alimenticios de origen vegetal los cuales se encuentran en creciente demanda en la industria.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada (No. de beca 231489). Al Instituto Tecnológico de Celaya y al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro, por permitirnos el uso de sus instalaciones y equipo para el desarrollo del presente trabajo y a FOFI 2013, por el financiamiento del proyecto. Al proyecto PFCE-2017 por otorgar los recursos para la publicación de este manuscrito.

REFERENCIAS

1. Guillot D. y P. Van Der Meer. Algunos taxones nuevos del género *Opuntia* mil en la comunidad Valenciana. *Flora Montiberica*. (2006) 32:39-50.
2. Patel S. "Reviewing the prospects of *Opuntia pears* as low cost functional foods". *Rev Environ Sci Biotechnol*. (2013) 12: 223-234
3. Castellanos-Santiago E. y E. M. Yahia. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem*. (2008) 56: 5758-5764.
4. Stintzing F., K. Herbach, M. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C. Akoh, R. Bunch y P. Felker. Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp) clones. *J. Agric. Food Chem*. (2005) 53: 442-451.

5. Sumaya-Martínez M. T., S. Cruz-Jaime, E. Madrigal-Santillán, J. D. García-Paredes, R. Cariño-Cortés, N. Cruz-Cansino, C. Valadez-Vega, L. Martínez-Cárdenas y E. Alanís-García. Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *Int. J. Mol. Sci.* (2011) 12:6452-6468.
6. Ramírez-Ramos M., M. R. García-Mateos, J. Corrales-García, C. Ybarra-Moncada y A. M. Castillo-González. Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Rev. Fitotec. Mex.* (2015) 38:4, 349-357.
7. Aparicio-Fernández X., S. Loza-Cornejo, M. G. Torres-Bernal, N. J. Velázquez-Placencia y H. J. Arreola-Nava. Características físico-químicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México. *Polibotanica*. (2017). (43), 219-244.
8. Attia G. Y., M. E. M. Moussa y E. R. Sheashea. Characterization of red pigments extracted from red beet (*Beta Vulgaris*, L.) and its potential uses as antioxidant and natural food colorants. *Egypt. J. Agric. Res.* (2013) 91:3, 1095-1110.
9. Piga A. Cactus Pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. *J. PACD*. (2004) 6: 9-22.
10. Stintzing F. C. y R. Carle. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Food Sci.* (2004) 15: 19-38.
11. Lee Y. C., Y. H. Pyo, C. K. Ahn y S. H. Kim. Food functionality of *Opuntia ficus-indica* var. cultivated in Jeju Island. *Food Sci Nutr.* (2005) 10:103-110.
12. Sumaya M., T. Suárez, N. Cruz y E. Alanís. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Quinta Época*. (2010) 27: 435-441.
13. Alba-Jiménez J., J. Chávez-Servia, I. Verdalet-Guzmán y E. Aquino-Bolaños. Betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *Gayana. Bot.* (2014) 71(2), 222-226.
14. AOAC, Official Methods of Analysis. 15th, U.S.A. Association of Official Analytical Chemists. (1990).
15. Brand-Williams W., M. E. Cuvelier y C. Berset. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* (1995) 28, 25-30.
16. Rodríguez S., C. Orphee, S. Macias, S. Generoso y L. Gomes. Tuna: Propiedades físico-químicas de dos variedades. *La Alimentación Latinoamericana*. (1996) 210: 34-37.
17. Sáenz C. y E. Sepúlveda. Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Alimentos*. (1993) 18: 29-32.
18. Crivelli G. y R. Nani. "Utilizzazione industriale della frutta tropicale e subtropicale". *Inf. Agrar.* (1993) 3: 93-96.
19. Aquino-Bolaños E., Y. Chavarría-Moctezuma, J. L. Chávez-Servia, R. I. Guzmán-Gerónimo, E. R. Silva-Hernández e I. Verdalet-Guzmán. 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*. (2012) 20 (55): 3-10.
20. Vilorio-Matos A., D. Corbelli-Moreno, M. J. Moreno-Álvarez, y C. Belen. Stability in betalains from tuna pulp (*Opuntia boldinghii*) submitted to a lyophilization process. *Revista de la Facultad de Agronomía*. (2002) 19: 324-331.
21. Kujala T. S., J. M. Lopenen, D. K. Klika y K. Pihlaja. Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *J. Agric. Food Chem.* (2000) 48:5338-5372.
22. Wu L. C., H. Hsiu-Wen, C. Yun-Chen, C. Chih-Chung, L. Yu-In y A. H. Ja-An. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chem.* (2006) 95:319-327.
23. Sanjay P.C., N.R. Sheth, I.S. Rathod, B.N. Suhagia y R.B. Maradia. "Analysis of betalains from fruits of *Opuntia* species". *Phytochem Rev.* (2013) 12:1: 35-45.
24. Azeredo H. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *Int. J. F. Sci. Tech.* (2008) 44: 2365-2376.
25. Strack D., T. Vogt y W. Schliemann. Recent advances in betalain research. *Phytochem.* (2003) 62: 247-269.

Recibido: 22-06-2017

Aceptado: 05-09-2017