

CONTENIDO DE PIGMENTOS, OTROS COMPUESTOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN 12 CULTIVARES DE TUNA (*Opuntia* spp.) DE MÉXICO

PIGMENTS CONTENT, OTHER COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN 12 CACTUS PEAR CULTIVARS (*Opuntia* spp.) FROM MÉXICO

Inés Figueroa-Cares^{1*}, María T. Martínez-Damián², Enrique Rodríguez-Pérez², María T. Colinas-León², Salvador Valle-Guadarrama³, Sweetia Ramírez-Ramírez², Clemente Gallegos-Vázquez⁴

¹Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Avenida Vicente Méndez 595. Chillán, Chile. (ifigueroa@udec.cl). ²Departamento de Fitotecnia. ³Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. ⁴Centro Regional Universitario Centro Norte. Universidad Autónoma Chapingo. 98060. km 5.5 Carretera Zacatecas-Guadalajara. El Orito, Zacatecas.

RESUMEN

La tuna (*Opuntia* spp.) es un recurso fitogenético de México de alto valor nutritivo cuyos cultivares nativos no habían sido caracterizados. El objetivo de este trabajo fue estudiar el contenido de algunos compuestos químicos y el potencial antioxidante en 12 cultivares de tuna: Cristalina, Mansa y Vaquera (*O. albicarpa*), Amarilla Diamante (*O. ficus-indica*) y Mango (*O. albicarpa*), Amarilla Montesa y Pico Chulo (*O. megacantha*), Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla y Torreoja (*O. megacantha*) y Cacalote (*O. cochineria*) y Tapón Aguanoso (*O. robusta* var *Robusta*). El estudio se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño experimental fue completamente al azar, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey. El contenido de ácido ascórbico fue superior en Cacalote con 25 mg 100 g⁻¹. Los cultivares de tuna blanca y amarilla presentaron más ($p \leq 0.05$) clorofila y la tuna blanca tuvo menos caroteno. El mayor contenido ($p \leq 0.05$) de betacianina y betaxantina se encontró en Tapón Aguanoso y Cacalote con 681.94 y 428.96 mg L⁻¹ de betanina, y 276.10 y 249.55 mg L⁻¹ de indicaxantina. La mayor concentración de fenoles se presentó en Tapón Aguanoso (420.66 mg L⁻¹), con fruto púrpura, y Amarilla Diamante (348.16 mg L⁻¹) y Mango (328.74 mg L⁻¹), con fruto amarillo. La capacidad antioxidante fue similar en todos los cultivares, con concentraciones entre 6.12 y 9.58 μ mol eq TROLOX g⁻¹. Los frutos evaluados, debido a la presencia de betalainas, podrían utilizarse para extraer pigmentos y usarse en la industria como fuente de pigmentos naturales, o fuente natural de antioxidantes.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Enero, 2010. Aprobado: Octubre, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 763-771. 2010.

ABSTRACT

The cactus pear (*Opuntia* spp.) is a phylogenetic resource of Mexico of high nutritious value whose native cultivars had not been previously characterized. The aim of this work was to study the content of some chemical compounds and the antioxidant potential in 12 pear cultivars, namely, Cristalina, Mansa and Vaquera (*O. albicarpa*), Amarilla Diamante (*O. ficus-indica*) and Mango (*O. albicarpa*), Amarilla Montesa and Pico Chulo (*O. megacantha*), Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla and Torreoja (*O. megacantha*), Cacalote (*O. cochineria*) and Tapón Aguanoso (*O. robusta* var *Robusta*). The work was conducted in the Departamento de Fitotecnia of the Universidad Autónoma Chapingo. The experimental design was completely randomized, and an analysis of variance and the Tukey mean comparison test were carried out. The ascorbic acid content was higher in Cacalote with 25 mg 100 g⁻¹. The cultivars with white and yellow tuna showed more ($p \leq 0.05$) chlorophyll, while white tuna had less carotene. The higher contents ($p \leq 0.05$) of betacyanin and betaxanthin were found in Tapón Aguanoso and Cacalote with 681.94 and 428.96 mg L⁻¹ of betanin and 276.10 and 249.55 mg L⁻¹ of indicaxanthin. The highest concentration of phenols was present in Tapón Aguanoso (420.66 mg L⁻¹), with purple fruit, and Amarilla Diamante (348.16 mg L⁻¹) and Mango (328.74 mg L⁻¹), with yellow fruit. The antioxidant capacity was similar in all cultivars, with concentrations between 6.12 and 9.58 μ mol eq TROLOX g⁻¹. The fruits tested, due to the presence of betalains, could be used to extract pigments and be utilized in industry as a source of natural pigments or natural source of antioxidants.

Key words: ascorbic acid, chlorophyll, carotenes, betalains, phenols, fruits.

Palabras clave: ácido ascórbico, clorofila, carotenos, betalainas, fenoles, frutos.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los centros de origen y dispersión del género *Opuntia* que por su gran diversidad de especies y cultivares es uno de los recursos vegetales más importantes para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas. El color de su fruta (tuna), debido a la presencia de pigmentos carotenoides y betalainas varía desde rojo-púrpura hasta amarillo pálido, la hace atractiva para consumir fresca y para elaborar diversos productos (Gurrieri *et al.*, 2000; Sáenz, 2006). Los consumidores dan especial atención al valor nutricional de los productos hortícolas, lo cual ha generado la tendencia de producir alimentos de alta calidad nutritiva y funcional, como la tuna (Cevallos-Casals y Cisneros-Zeballos, 2004) que contiene antioxidantes como polifenoles, ácido ascórbico y pigmentos (carotenoides y betalainas).

La evidencia (Urquiaga *et al.*, 1999) epidemiológica sugiere que el consumo de frutas y verduras puede reducir el riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares, lo cual se debería en parte a la presencia de compuestos antioxidantes. Por tanto, un aumento en la ingesta de estos antioxidantes dietarios puede proteger de enfermedades crónicas. Además, la industria de alimentos incorpora antioxidantes naturales de tejidos vegetales debido a las restricciones legales para usar colorantes sintéticos (Weller y Lasure, 1982). En las especies del género *Opuntia*, los pigmentos sólo se encuentran en los frutos y tanto las betalainas como los carotenoides pueden estar en la piel y pulpa de las diversas variedades. Así, el objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de algunos compuestos químicos, como pigmentos, y la capacidad antioxidante de 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp.) de la región centro-norte de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México, con frutos de tuna de 12 cultivares, recolectados en el Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN-Zacatecas) de la misma universidad, con madurez comercial, cuando el color de la cáscara era característico de cada cultivar. El diseño experimental

INTRODUCTION

México is one of the centers of origin and dispersal of the genus *Opuntia* which, due to its great diversity of species and cultivars, is one of the most important plant resources for the inhabitants of the arid and semiarid regions. The color of its fruit (tuna) due to the presence of carotenoid pigments and betalains varies from red-purple to pale yellow, making it attractive to consume it fresh and for the preparation of various products (Gurrieri *et al.*, 2000; Sáenz, 2006). Consumers give special attention to the nutritional value of horticultural products. This has created a tendency to produce food of high nutritional and functional quality, as the tuna (Cevallos-Casals and Cisneros-Zeballos, 2004) as it contains antioxidants like polyphenols, ascorbic acid and pigments (carotenoids and betalains).

There is epidemiological evidence (Urquiaga *et al.*, 1999) suggesting that the consumption of fruits and vegetables may reduce the risk of cancer and cardiovascular diseases, which would be due in part to the presence of antioxidant compounds. Therefore, an increased intake of these dietary antioxidants may protect us from chronic diseases. In addition, the food industry includes natural antioxidants from plant tissues due to legal restrictions over using synthetic dyes (Weller and Lasure, 1982). In the *Opuntia* genus, pigments are only found in fruits and both, betalains and carotenes may be in the skin and pulp of the different varieties. Thus, the objective of this research was to evaluate the content of some chemical compounds such as pigments, and the antioxidant ability of 12 cultivars of prickly pear (*Opuntia* spp.) from the central north region of México.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was carried out in the Departamento de Fitotecnia of the Universidad Autónoma Chapingo, México, with tuna fruits from 12 cultivars, collected at the Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN-Zacatecas) of the same university, at commercial maturity, based on the skin color characteristic of each cultivar. The experimental design was completely randomized, with 10 fruits per cultivar, and one fruit as experimental unit. Cultivars with white fruit were Cristalina, Mansa and Vaquera (*O. albicarpa*); with yellow fruit, Amarilla

fue completamente al azar, con 10 frutos por cultivar, y un fruto como unidad experimental. Los cultivares con fruto blanco fueron Cristalina, Mansa y Vaquera (*O. albicarpa*); con fruto amarillo, Amarilla Diamante (*O. ficus-indica*) y Mango (*O. albicarpa*); con fruto anaranjado, Amarilla Montesa y Pico Chulo (*O. megacantha*); con fruto rojo, Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla y Torreja (*O. megacantha*); y con fruto púrpura, Cacalote (*O. cochinera*) y Tapón Aguanoso (*O. robusta* var *Robusta*).

Variables evaluadas

Ácido ascórbico por el método de Tillman (AOAC, 1980)

Se homogenizaron 5 mL de jugo con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %), de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0.01 %) hasta que una coloración rosa fue visible por 1 min. La cantidad de ácido ascórbico se expresó en mg 100 g⁻¹.

Clorofila total y carotenos por el método de Lichtenthaler (1987)

Diez mL de acetona al 80 % se añadieron a 10 mL de jugo, la solución se filtró y se obtuvo la absorbancia a 663, 646 y 476 nm, con acetona como blanco. Las concentraciones se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a (C}_a\text{)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b (C}_b\text{)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$$

$$\text{Clorofila total (C}_{a+b}\text{)} = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$$

$$\text{Carotenos} = (1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b)(221)^{-1}$$

Betalinas por el método de Stintzing *et al.* (2003)

El método se siguió con algunas modificaciones; a 1 mL de jugo de tuna se agregó el volumen necesario de amortiguador Mc Ilvaine (pH 6.5) para que cada muestra tuviera entre 0.8 y 1.0 de absorbancia a 480 nm (indicaxantina) y 538 nm (betanina). El contenido de betanina e indicaxantina se calculó con la fórmula:

$$\text{BC (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times \text{FD} \times \text{PM} \times 1000)(\epsilon \times l)^{-1}$$

donde, BC = contenido de betanina/indicaxantina; A = absorbancia; FD = factor de dilución; PM = peso molecular (betanina/indicaxantina); ϵ = coeficiente de extinción molar de betanina/indicaxantina; l = anchura de la cubeta del espectrofotómetro (1 cm).

Diamante (*O. Ficus-indica*) and Mango (*O. albicarpa*); with orange fruit, Amarilla Montesa and Pico Chulo (*O. megacantha*); with red fruit, Pabellón (*O. ficus-indica*), Rosa de Castilla and Torreja (*O. Megacantha*); and with purple fruit, Cacalote (*O. cochinera*) and Tapón Aguanoso (*O. robusta* var *Robusta*).

Variables evaluated

Ascorbic acid by Tillman's method (AOAC, 1980)

Five milliliters of juice were homogenized with 50 mL of a solution of oxalic acid (0.5 %), of which an aliquot of 5 mL was taken and titrated with a Tillman solution (0.01%) until a pink color was visible for 1 min. The amount of ascorbic acid was expressed in mg 100 g⁻¹.

Total chlorophyll and carotenes by the method of Lichtenthaler (1987)

Ten milliliters of 80 % acetone were added to 10 mL of juice; the solution obtained was filtered and the absorbance was measured at 663, 646 and 476 nm with acetone as the reference. The concentrations were calculated using the following formulas:

$$\text{Chlorophyll a (C}_a\text{)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$\text{Chlorophyll b (C}_b\text{)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$$

$$\text{Total chlorophyll (C}_{a+b}\text{)} = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$$

$$\text{Carotenes} = (1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b)(221)^{-1}$$

Betalains with the method by Stintzing *et al.* (2003)

The method was followed with some modifications; to 1 mL prickly pear juice an appropriate amount of buffer Mc Ilvaine (pH 6.5) was added so that each sample had an absorbance between 0.8 and 1.0 at 480 nm (indicaxanthin) and 538 nm (betanin). The betanin and indicaxanthin contents were calculated with the formula:

$$\text{BC (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times \text{FD} \times \text{PM} \times 1000)(\epsilon \times l)^{-1}$$

where BC = content of betanin / indicaxanthin; A = absorbance; FD = dilution factor; PM = molecular weight (betanin/indicaxanthin); ϵ = molar extinction coefficient of betanin/ indicaxanthin; l = width of the spectrophotometer cell (1 cm).

Fenoles totales por el método descrito en Litwack (1967)

A 2 mL de jugo de tuna se adicionaron 0.4 mL de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugaron 15 min a 190 g; al sobrenadante se adicionaron 10 mL de Na_2CO_3 (10 %), y se incubó 15 min a 38 °C; a 1 mL de esta solución se agregó 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15 min en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660 nm. Los datos se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, tomando como referencia una curva estándar de fenol.

Capacidad antioxidante mediante el método dihidrocloruro de *N,N*-dimetil-*p*-fenil-*N*-diamina (DMPD) (Fogliano *et al.*, 1999)

Un mL de una solución de DMPD (209 mg en 10 mL de agua destilada) se agregó a 100 mL de una solución amortiguadora de acetato 0.1 M (pH 5.25). A esta solución se agregaron 0.2 mL de cloruro férrico 0.05 M, con concentración final 0.1 mM. La absorbancia de esta solución se obtuvo a 505 nm, que correspondió a la señal no inhibida (A_0). La curva estándar de antioxidante se obtuvo con diferentes concentraciones de TROLOX (1 mg mL^{-1} de metanol) en 2 mL de la solución DMPD oxidada (púrpura). La mezcla se agitó 10 min y se midió la absorbancia a 505 nm (A_f). La absorbancia de cada muestra se expresó como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación:

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_0) * 100$$

donde, A_0 = absorbancia del catión radical no inhibido; A_f = absorbancia medida 10 min después de haber agregado la solución estándar de TROLOX o la muestra del extracto de jugo.

Con los datos se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), usando SAS (1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Ácido ascórbico**

El contenido de vitamina C, expresado como ácido ascórbico, en ningún cultivar superó los 25.0 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (Cuadro 1), un valor menor a los señalados por Sáenz (2006) y Corral-Aguayo *et al.* (2008) quienes indican que la tuna presenta un nivel alto de ácido

Total phenols by the method described in Litwack (1967)

A 0.4 mL extracting solution consisting of methanol, chloroform and water (2:1:1) was added to 2 mL of cactus pear juice and centrifuged for 15 min at 190 g; 10 mL of Na_2CO_3 (10%) were added to the supernatant, then incubated for 15 min at 38 °C; to 1 mL of this solution 1 mL of the Folin-Ciocalteu reagent was added and left to stand for 15 min in the dark, and absorbance was measured at 660 nm. The data were expressed as $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, taking as reference a standard curve of phenol.

Antioxidant capacity using the method dihydrochloride of *N,N*-dimethyl-*p*-phenyl-*N*-diamine (DMPD) (Fogliano *et al.*, 1999)

One milliliter of a solution of DMPD (209 mg in 10 mL of distilled water) was added to 100 mL of a 0.1 M acetate buffer solution (pH 5.25). To this solution 0.2 mL of 0.05 M ferric chloride were added, with a final concentration of 0.1 mM. The absorbance of this solution was obtained at 505 nm, which corresponded to the uninhibited signal (A_0). The standard curve of antioxidant was obtained with different concentrations of TROLOX (1 mg mL^{-1} of methanol) in 2 mL of the DMPD oxidized (purple) solution. The mixture was shaken for 10 min and the absorbance was measured at 505 nm (A_f). The absorbance of each sample was expressed as a percentage of the uninhibited radical cation solution by the equation:

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_0) * 100$$

where A_0 = absorbance of the uninhibited radical cation; A_f = absorbance measured 10 min after adding the TROLOX standard solution or the sample of the juice extract.

An analysis of variance was carried out with the data and means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$), using SAS (1998).

RESULTS AND DISCUSSION**Ascorbic acid**

The vitamin C content, expressed as ascorbic acid, in none of the cultivars exceeded 25.0 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (Table 1), a value lower than those reported by Sáenz (2006) and Corral-Aguayo *et al.* (2008), who indicate that the tuna has a high level of ascorbic acid, up to 40 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Similarly, Kuti (2004) report 45.8 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ in white fruits of *O. ficus-indica*. However,

ascórbico, hasta 40 mg 100 g⁻¹. Similarmente, Kuti (2004) reporta 45.8 mg 100 g⁻¹ en frutos blancos de *O. ficus-indica*. Sin embargo, el contenido de ácido ascórbico fue sólo 15.1±0.08 mg 100 g⁻¹ de pulpa en tunas de la especie *O. elatior*, y de 12.1 mg 100 g⁻¹ en *O. lindheimeri*, de fruto color púrpura (Moreno-Álvarez *et al.*, 2008). Al mismo tiempo, las concentraciones de ácido ascórbico encontradas en la presente investigación fueron similares a las reportadas para variedades comerciales de arándano (*Vaccinium* spp.) (9.6±0.8 mg 100 g⁻¹), por Prior *et al.* (1998) y para pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono) (12.6 mg 100 g⁻¹) (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009), ambas especies consideradas importantes por su contenido de ácido ascórbico.

Estas diferencias entre especies y cultivares podrían deberse a las condiciones de cultivo, ya que el género *Opuntia* al crecer en condiciones limitadas de suelo y agua, podría modificar su composición, principalmente la del fruto.

Clorofila total y carotenos

Los cultivares de tuna blanca y amarilla presentaron el mayor contenido de clorofila total (Cuadro 2), y los rojos y púrpura la menor proporción. Entre los cultivares blancos destaca el Vaquera con 170.2 mg clorofila 100 g⁻¹, en contraste con Rosa de Castilla y Pabellón ambas con 4.3 mg 100 g⁻¹. El contenido de clorofila en los frutos púrpura fue similar al de los anaranjados (Amarilla Montesa y Pico Chulo). Las concentraciones menores de carotenos (0.7 y 1.2 mg 100 g⁻¹) ocurrieron en los frutos blancos (Cristalina, Mansa y Vaquera), y fueron significativamente diferentes a las de Amarilla Diamante, Cacalote y Tapón Aguanoso (132.1 a 158.4 mg 100 g⁻¹). Estos resultados permiten inferir que la relación entre el color de la pulpa y la presencia de clorofila y caroteno es indirecta; por tanto, esta característica es mal indicador del contenido de pigmentos.

Betalainas

La concentración de betacianinas (rojo-violeta) y betaxantinas (amarillo-naranja) fue mayor en los cultivares de frutos púrpura y menor en las tunas blancas (Cuadro 3). Los cultivares Tapón Aguanoso y Cacalote presentaron contenidos significativamente más altos de betacianinas (682.0 y 429.0 mg L⁻¹) y de

Cuadro 1. Contenido de ácido ascórbico en frutos de 12 cultivares de *Opuntia* spp. (bc=blanco; am=amarillo; ar=anaranjado; ro=rojo; y pu=púrpura).

Table 1. Ascorbic acid content in fruits of 12 cultivars of *Opuntia* spp. (bc=white; am=yellow; ar=orange; ro=red; and pu=purple).

Cultivar	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)
Cristalina (bc)	8.22 gh
Mansa (bc)	16.11 cdef
Vaquera (bc)	17.88 bcd
Amarilla Diamante (am)	18.94 abc
Mango (am)	5.31 h
Amarilla Montesa (ar)	9.35 fgh
Pico Chulo (ar)	11.49 defgh
Pabellón (ro)	10.99 efgh
Rosa de Castilla (ro)	16.68 cde
Torreja (pu)	13.70 cdefg
Cacalote (pu)	25.00 a
Tapón Aguanoso (pu)	23.55 ab
CV (%) [†]	21.02

[†]CV=coeficiente de variación. Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (p≤0.05) ♦ CV=coefficient of variation. Means with a different letter are statistically different (p≤0.05).

ascorbic acid content was only 15.1±0.08 mg 100 g⁻¹ of pulp in tunas of the species *O. elatior*, and 12.1 mg 100 g⁻¹ in *O. lindheimeri*, a purple fruit (Moreno-Álvarez *et al.*, 2008). At the same time, the concentrations of ascorbic acid found in our study were similar to those reported for commercial varieties of cranberry (*Vaccinium* spp.) (9.6±0.8 mg 100 g⁻¹) by Prior *et al.* (1998) and pitaya (dragon fruit) (*Stenocereus stellatus* Riccobono) (12.6 mg 100 g⁻¹) (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009), two species considered important for their content of ascorbic acid.

These differences among species and cultivars could be due to crop conditions, as the *Opuntia* growing up under limited conditions of soil and water could change its composition, especially according to the fruit variety.

Total chlorophyll and carotenos

Cultivars with yellow and white tuna showed the highest total chlorophyll content (Table 2), and the red and purple the lowest proportion. Among the white cultivars the Vaquera stands out

Cuadro 2. Contenido de clorofila total y carotenos en tunas de 12 cultivares de *Opuntia* spp. (bc=blanco; am=amarillo; ar=anaranjado; ro=rojo; y pu=púrpura).

Table 2. Content of total chlorophyll and carotenoids in tunas of 12 cultivars of *Opuntia* spp. (bc=white; am=yellow; ar=orange; ro=red; and pu=purple).

Cultivar	Clorofila total (mg 100 g ⁻¹)	Carotenos (mg 100 g ⁻¹)
Cristalina (bc)	118.82 b	1.19 d
Mansa (bc)	91.15 bc	0.80 d
Vaquera (bc)	170.23 a	0.70 d
Amarilla Diamante (am)	119.10 b	158.38 a
Mango (am)	125.59 b	87.78 b
Amarilla Montesa (ar)	35.98 def	36.73 cd
Pico Chulo (ar)	20.40 ef	42.35 c
Pabellón (ro)	4.26 f	11.89 cd
Rosa de Castilla (ro)	4.25 f	13.71 cd
Torreja (pu)	12.23 f	30.22 cd
Cacalote (pu)	50.45 de	132.12 a
Tapón Aguanoso (pu)	59.30 cd	151.11 a
CV (%)†	25.04	32.55

†CV=coeficiente de variación. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ CV=coefficient of variation. Means with a different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

betaxantinas (276.1 y 249.6 mg L⁻¹). Estos valores, para ambos pigmentos, fueron similares a los encontrados por Stintzing *et al.* (2005) en diferentes cultivares de *Opuntia* spp. en EE.UU. y superiores a *O. ficus-indica* cv Gialla y Rossa (Stintzing *et al.*, 2003).

Fenoles

Los frutos blancos mostraron contenido de fenoles totales significativamente inferior que los demás (Cuadro 4). Esto podría deberse a la presencia de antocianinas, pigmentos responsables de coloraciones anaranjadas a rojas que pertenecen a un grupo de compuestos fenólicos denominados flavonoides. Así, los frutos blancos tendrían menor concentración de antocianinas, lo que a la vez indicaría un contenido bajo de fenoles totales (Waterman y Mole, 1994). Las concentraciones mayores de fenoles se encontraron en los cultivares Tapón Aguanoso, Amarilla Diamante y Mango (Cuadro 4) y no se observó una relación directa con el color del fruto. Las concentraciones de fenoles son similares a las encontradas por Stintzing *et al.* (2005) en cuatro cultivares de *Opuntia* spp. (242 a 660 mg L⁻¹), y también parecidos a los reportados

with 170.2 mg chlorophyll 100 g⁻¹, in contrast with Rosa de Castilla and Pabellón both with 4.3 mg 100 g⁻¹. The chlorophyll content in purple fruits was similar to the orange (Amarilla Montesa and Pico Chulo). Lower levels of carotenoids (0.7 and 1.2 mg 100 g⁻¹) occurred in the white fruits (Cristalina, Mansa and Vaquera), and they were significantly different from those found in Amarilla Diamante, Cacalote and Tapón Aguanoso (132.1 to 158.4 mg 100 g⁻¹). These results allow to infer that the relationship between the pulp color and the presence of chlorophyll and carotene is indirect, being a poor indicator of the pigments content.

Betalains

Both, betacyanins (red-violet) and betaxanthines (yellow-orange) were highly concentrated in purple fruit cultivars and to a lesser extent in white tunas (Table 3). The cultivars Tapón Aguanoso and Cacalote contained significantly higher contents of betacyanins (682.0 and 429.0 mg L⁻¹) and betaxanthins (276.1 and 249.6 mg L⁻¹). These

Cuadro 3. Contenido de betacianina (betanina) y betaxantina (indicaxantina) en tunas de 12 cultivares de *Opuntia* spp. (bc=blanco; am=amarillo; ar=anaranjado; ro=rojo; y pu=púrpura).

Table 3. Betacyanin (betanine) and betaxanthin (Indicaxantina) contents in tunas of 12 cultivars of *Opuntia* spp. (bc=white; am=yellow; ar=orange; ro=red; and pu=purple).

Cultivar	Betanina (mg L ⁻¹)	Indicaxantina (mg L ⁻¹)
Cristalina (bc)	10.16 d	9.81 e
Mansa (bc)	5.94 d	7.23 e
Vaquera (bc)	9.69 d	11.18 e
Amarilla Diamante (am)	12.72 d	76.79 bc
Mango (am)	16.28 d	56.41 cd
Amarilla Montesa (ar)	16.02 d	43.93 d
Pico Chulo (ar)	81.37 cd	49.40 cd
Pabellón (ro)	44.77 cd	44.66 d
Rosa de Castilla (ro)	85.77 cd	73.99 bcd
Torreja (pu)	105.52 c	97.58 b
Cacalote (pu)	428.96 b	249.55 a
Tapón Aguanoso (pu)	681.94 a	276.10 a
CV (%)†	30.37	17.00

†CV=coeficiente de variación. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ CV=coefficient of variation. Means with a different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Contenido de fenoles y capacidad antioxidante en frutos de 12 cultivares de *Opuntia* spp. (bc=blanco; am=amarillo; ar=anaranjado; ro=rojo; y pu=púrpura).

Table 4. Phenol content and antioxidant capacity in fruits of 12 cultivars of *Opuntia* spp. (bc=white; am=yellow; ar=orange; ro=red; and pu=purple).

Cultivar	Fenoles (mg L ⁻¹)	Capacidad antioxidante (μmol eq Trolox g ⁻¹)
Cristalina (bc)	21.46 e	8.40 a
Mansa (bc)	22.78 e	8.37 a
Vaquera (bc)	14.24 e	9.58 a
Amarilla Diamante (am)	348.16 ab	8.67 a
Mango (am)	328.74 b	8.01 a
Amarilla Montesa (ar)	154.56 d	8.33 a
Pico Chulo (ar)	141.44 d	7.78 a
Pabellón (ro)	152.02 d	2.75 b
Rosa de Castilla (ro)	230.92 c	7.79 a
Torreja (pu)	192.08 cd	7.11 a
Cacalote (pu)	245.16 c	9.35 a
Tapón Aguanoso (pu)	420.66 a	6.12 ab
CV (%) [†]	17.93	21.49

[†]CV=coeficiente de variación. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (p≤0.05) ❖ CV=coefficient of variation. Means with a different letter in a column are statistically different (p≤0.05).

por Moyer *et al.* (2002) en diferentes genotipos de arándano (*Vaccinium* spp.) (171 a 961 mg L⁻¹) y frutos del género *Rubus* (126 a 1079 mg L⁻¹) y *Ribes* (191 a 1342 mg L⁻¹), los cuales se caracterizan por su alto valor nutricional y su capacidad antioxidante debida, en parte, a los compuestos fenólicos.

Existen antecedentes de la presencia de compuestos fenólicos en cladodios de diferentes variantes de *Opuntia*. Las concentraciones mayores se han obtenido en las de color morado y las menores en formulaciones comerciales en polvo (Guevara-Figueroa, 2010).

Capacidad antioxidante

En este estudio se encontró que con excepción del cultivar Pabellón, que presentó una capacidad antioxidante significativamente menor (2.8 μmol eq Trolox g⁻¹ peso fresco), los cultivares fueron similares en esta característica (p>0.05) (Cuadro 4).

Estos resultados son similares a los encontrados en zanahoria amarilla (*Daucus carota* L.) (9.51 μmol

values for both pigments were similar to those found by Stintzing *et al.* (2005) in different cultivars of *Opuntia* spp. in the USA, and higher than those of *O. ficus-indica* cv Gialla and Rossa (Stintzing *et al.*, 2003).

Phenols

White fruits showed a significantly lower total phenolic content than the others (Table 4). This could be due to the presence of anthocyanins, namely pigments responsible for orange to red colors that belong to a group of phenolic compounds called flavonoids. Thus, white fruits would show a lower concentration of anthocyanins, which in turn would indicate a low content of total phenols (Waterman and Mole, 1994). The highest concentrations of phenols were found in cultivars Tapón Aguanoso, Amarilla Diamante and Mango (Table 4) and no significant direct relationship to the color of the fruit was observed. The concentrations of phenols are similar to those found by Stintzing *et al.* (2005) in four cultivars of *Opuntia* spp. (242 to 660 mg L⁻¹), and they are also similar to those reported by Moyer *et al.* (2002) in different genotypes of cranberry (*Vaccinium* spp.) (171 to 961 mg L⁻¹), and fruits of the *Rubus* genus (126 to 1079 mg L⁻¹) and *Ribes* (191 to 1342 mg L⁻¹), which are characterized by their high nutritional value and antioxidant capacity, partly due to phenolic compounds.

There are reports in relation to the presence of phenolic compounds in cladodes of different variants of *Opuntia*. The highest concentrations were obtained in the purple ones and the lowest in commercial powder formulations (Guevara-Figueroa, 2010).

Antioxidant capacity

In our study cultivars were found to have similar antioxidant capacity values (p>0.05), with the exception of Pabellón that recorded a significantly lower value (2.8 μmol eq Trolox g⁻¹ fresh weight) (Table 4).

These results are similar to those found in yellow carrot (*Daucus carota* L.) (9.51 μmol eq Trolox g⁻¹) by Sun *et al.* (2009) and higher than the content reported by Wang *et al.* (1996) for tomato (*Solanum*

eq Trolox g^{-1}) por Sun *et al.* (2009) y superiores a los reportados por Wang *et al.* (1996) para tomate (*Solanum lycopersicum* L.), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y manzana (*Malus pumila* Mill), con valores menores a $5 \mu\text{mol eq Trolox } g^{-1}$, y por Scalzo *et al.* (2005) en diferentes variedades de kiwi (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* A. Chev.), manzana y durazno (*Prunus persica* L.), con concentraciones promedio de 2.7, 1.6 y $1.22 \mu\text{mol eq Trolox } g^{-1}$.

Lo anterior indica que los frutos de los cultivares estudiados presentan capacidad antioxidante alta con respecto a otras especies de alto consumo. Esta característica es importante porque los antioxidantes naturales son elementos esenciales que protegen de la oxidación a las macromoléculas biológicas en el cuerpo humano. Además, la protección antioxidante en el organismo es clave para el control de enfermedades crónicas, lo que tiene gran relevancia en medicina preventiva (Urquiaga *et al.*, 1999). Con respecto a la relación entre la capacidad antioxidante y el color de fruto, Repo y Encina (2008) en un estudio con frutas nativas de Perú que incluyó tuna (*O. ficus-indica*), muestran que los frutos rojos tienen mayor capacidad antioxidante que los anaranjados y éstos a su vez son superiores que los cultivares de fruto blanco. Sin embargo, en el presente trabajo no se observó esta tendencia y, por tanto no se puede asociar el color de la pulpa con la capacidad antioxidante. Esto podría deberse al efecto del genotipo, tanto de especies como cultivares, así como a las condiciones de cultivo (Scalzo *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

Los cultivares evaluados se pueden consumir como fruto fresco y también se podrían usar para la extracción de betalainas, para ser incorporadas como colorantes naturales en otros productos alimenticios.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980. Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Beltrán-Orozco, M. C., T. Oliva-Coba, T. Gallardo-Vázquez, y G. Osorio-Revilla. 2009. Acido ascórbico, contenido fenólico y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia* 43: 153-162.
- Cevallos-Casals, B., and L. Cisneros-Zevallos. 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of andean purple corn

lycopersicum L.), orange (*Citrus sinensis* L.) (Osbeck) and apple (*Malus pumila* Mill), with values less than $5 \mu\text{mol eq Trolox } g^{-1}$, and Scalzo *et al.* (2005) in different varieties of kiwi (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* A. Chev.), apple and peach (*Prunus persica* L.), with average concentrations of 2.7, 1.6 and $1.22 \mu\text{mol eq Trolox } g^{-1}$.

This indicates that the fruits of the cultivars studied show a high antioxidant capacity in relation to other highly consumed species. This feature is important because natural antioxidants are essential elements that protect biological macromolecules in the human body from oxidation. Also, the antioxidant protection in the human body is essential for chronic disease control, which is of great importance in preventive medicine (Urquiaga *et al.*, 1999). With regard to the relationship between the antioxidant capacity and the fruit color, Repo and Encina (2008) in a study of Peru's native fruits, including cactus pear (*O. ficus-indica*), show that red fruits have a higher antioxidant activity than the orange fruits and these in turn have a higher performance than the white-fruit cultivars. However, this trend was not observed in our study, and therefore the color of the fruit pulp can not be associated with the antioxidant capacity. This could be due to the effect of the genotype, both of species and cultivars, as well as the cultivation conditions (Scalzo *et al.*, 2005).

CONCLUSIONS

The evaluated cultivars can be consumed as fresh fruit and also be used for betalains extraction, to be incorporated as natural dyes in other food products.

—End of the English version—



- and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chem.* 86: 69.
- Corral-Aguayo, R., E. Yahia, A. Carrillo-López, and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric. Food Chem.* 56: 10498-10504.

- Fogliano, V., V. Verde, G. Randazzo, and A. Ritieni. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47: 1035-1040.
- Guevara-Figueroa, T., H. Jiménez-Islas, M. L. Reyes-Escogido, A. G. Mortensen, B. B. Laursen, L.-W. Lin, A. De León-Rodríguez, I. S. Fomsgaard, and A. P. B. Rosa. 2008. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *J. Food Composition and Analysis*. doi:10.1016/j.jfca.2009.12.003.
- Gurrieri S., L. Miceli, C. M. Lanza, F. Tomaselli, R. Bonomo, and E. Rizzarelli. 2000. Chemical characterization of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5424-5431.
- Kuti, J. 2004. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chem.* 85: 527-533.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth. Enzymol.* 148: 350-382.
- Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental*. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España. 378 p.
- Moreno-Alvarez, M. J., D. García, D. Belén, C. Medina, y N. Muñoz. 2008. Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia ellatior* Miller (Cactaceae). *Rev. Fac. Agron. (LUZ) (Venezuela)* 25: 68-80.
- Moyer, R., K. Hummer, C. Finn, B. Frei, and R. Wrolstad. 2002. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus* and *Ribes*. *J. Agric. Food Chem.* 50: 519-525.
- Prior, R., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwen, C. O'Brien, N. Lischner, M. Ehlenfeldt, W. Kalt, G. Krewer, and C. M. Mainland. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocianin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2686-2693.
- Repo, R., y C. Encina. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 74(2): 108-124.
- Sáenz, C. (ed.) 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín del Servicio Agrícola de la FAO 162. 186 p.
- SAS Institute. 1998. Language guide for personal computer release. 6.03 Edition. SAS Institue. Cary. N.C. USA. 1028 p.
- Scalzo, J., A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti, and M. Battino. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21: 207-213.
- Stintzing, F., A. Scchieber, and R. Carle. 2003. Evaluation of color properties and chemical quality parameters of cactus juice. *Eur. Food Res. Technol.* 216: 303-311.
- Stintzing, F., K. Herbach, M. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C. Akoh, R. Bunch, and P. Felker. 2005. Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp) clones. *J. Agric. Food Chem.* 53: 442-451.
- Sun, T., P. Simon, and S. A. Tanumihardjo. 2009. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *J. Agric. Food Chem.* 57: 4142-4147.
- Urquiaga I., U. Urzúa y F. Leighton. 1999. Antioxidantes Naturales. Impacto en la Salud. 8° Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites.
- Wang, H., G. Cao, and R. L. Prior 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44: 701-705.
- Waterman, P., and S. Mole. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications. UK. 238 p.
- Weller, T. A., and L. L. Lasure. 1982. Betalains in beet root tissue culture. *J. Food Sci.* 47(1): 162-163.