

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE FRUTOS DE
VARIEDADES SILVESTRES DE *OPUNTIA* DE DOS REGIONES
SEMIÁRIDAS DE JALISCO, MÉXICO**

**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FRUITS FROM
WILD *OPUNTIA* SPECIES FROM TWO SEMIARID REGIONS
OF JALISCO, MEXICO**

**X. Aparicio-Fernández¹, S. Loza-Cornejo¹, M.G. Torres-Bernal¹,
N.J. Velázquez-Placencia¹, y H.J. Arreola-Nava²**

¹Laboratorio de Bioquímica, Centro Universitario de los Lagos, Universidad de Guadalajara, Enrique Díaz de León 1144, Paseos de la Montaña, Lagos de Moreno, Jal., México.

²Instituto de Botánica, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla-Sánchez 2100, Nextipac, Zapopan, Jal., México. Correo electrónico: xaparcio@culagos.udg.mx

RESUMEN

Las especies del género *Opuntia* son de gran importancia en México en diversos aspectos. El estado de Jalisco, ubicado en el occidente de la república mexicana, cuenta con 29 especies reconocidas de *Opuntia*, de las que únicamente cuatro se cultivan para su consumo como verdura y fruto, otras tres se utilizan sólo con fines ornamentales; y el resto no son aprovechadas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los caracteres morfológicos y químicos de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos municipios de Jalisco, México (Lagos de Moreno y Ojuelos de Jalisco). La variabilidad de tamaño, peso fresco total, peso de la porción comestible, grosor de la cáscara de los frutos, así como características químicas (humedad, cenizas totales, acidez total, °Brix y pH), y la concentración de pigmentos (betaxantinas y betacianinas) fue analizada en 15 variedades de ocho especies del género *Opuntia* de ambas regiones. Se

analizaron de 10 a 15 frutos de cada variedad, los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza, se obtuvieron los parámetros de la estadística descriptiva y se realizó una prueba de comparaciones múltiples de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$). En el municipio de Lagos de Moreno se encontró y recolectó una mayor diversidad de variedades silvestres. Únicamente tres variedades: “memela” (*O. cantabrigiensis*), “cardona” (*O. streptacantha*) y “cascarona” (*O. hyptiacantha*) estuvieron presentes en ambas regiones. Las variedades de *O. ficus-indica* presentaron los valores más altos de tamaño de fruto, peso total y peso de pulpa. El contenido de humedad en todas las muestras analizadas estuvo en el intervalo de 80 a 90%, los valores para contenido de cenizas oscilaron entre 0.3 y 1.0%. Los frutos presentaron baja acidez (pH > 4.5) y elevado contenido de azúcares disueltos totales (11-14°Brix). Las variedades recolectadas en Lagos de Moreno presentaron los mayores contenidos de betalaínas,

destacando *Opuntia icterica* “larguita” con el mayor contenido de betalainas totales (32.44 mg/100g). Los resultados muestran la alta variabilidad existente en los caracteres morfológicos y químicos de frutos de variedades de *Opuntia* de dos regiones semiáridas en el estado de Jalisco, México; esta información es importante con fines de realizar propuestas de aprovechamiento y conservación de variedades silvestres y resaltar su valor como recursos fitogenéticos en regiones de Jalisco.

Palabras clave: *Opuntia*, Cactaceae, frutos, características fisicoquímicas.

ABSTRACT

Species of the genus *Opuntia* are of great importance in Mexico. In Jalisco, a state located in Western Mexico, there are 29 recognized species of *Opuntia*, but only four of them are grown for consumption as vegetables and fruit, three are used for ornamental purposes, and the rest (22 species) are not exploited. The objective of this research was to evaluate morphological and chemical characteristics of fruit from wild *Opuntia* species grown at two municipalities of Jalisco, Mexico (Lagos de Moreno and Ojuelos de Jalisco). The variability in size, total fresh weight, edible portion weight, shell thickness and postharvest characteristics (moisture, ashes, total acidity, °Brix and pH), and pigment concentration (betaxanthins and betacyanins) was analyzed in 15 species of eight species of the genus *Opuntia* from both regions. Ten to fifteen fruits of each species were analyzed; parameters of descriptive statistics were obtained from the results; and were subjected to analysis of variance and to the Tukey test ($\alpha = 0.05$). A greater diversity of wild species

was collected at the municipality of Lagos de Moreno. Only three species: “memela” (*O. cantabrigiensis*), “cardona” (*O. streptacantha*) and “casarona” (*O. hyptiacantha*) were present in both regions. *O. ficus-indica* species presented the highest values of fruit size, total weight and pulp weight. Moisture content in all samples tested was in the range from 80 to 90%, the ash content values ranged between 0.3 and 1.0%. The fruits showed low acidity (pH > 4.5) and high content of soluble sugars (11-14 °Brix). The species collected in Lagos de Moreno presented the highest contents of betalains, highlighting *Opuntia icterica* “larguita” with the highest content of total betalains (32.44 mg/100g). Results show the high variability in morphological and chemical characters of *Opuntia* species fruits from two semiarid regions in the state of Jalisco, Mexico. This information is important in order of making proposals for the use and conservation of wild species and highlight its value as genetic resources in regions of Jalisco.

Key words: *Opuntia*, Cactaceae, fruits, physico-chemical characteristics.

INTRODUCCIÓN

México es considerado el centro de origen de *Opuntia*, uno de los géneros de más amplia distribución y representativo de la familia Cactaceae (Barthlott y Hunt, 1993; Reyes-Agüero *et al.*, 2004; Sáenz, 2006). Las especies del género *Opuntia* son de gran importancia en México en diversos aspectos, su uso se remonta a épocas prehispánicas y aún en la actualidad; adicional a su importancia alimenticia por el consumo de tallos y frutos, diversas especies se emplean como combustible, forraje para animales, elaboración de dulces y bebidas, cercos vivos,

construcción y protección de viviendas, entre otros (González-Durán *et al.*, 2001; Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Zegbe y Mena-Covarrubias, 2010). *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia streptacantha* son consideradas como fuente de alimentos funcionales por sus múltiples aplicaciones en la medicina tradicional (Abdel-Hameed *et al.*, 2014; Andrade-Cetto y Wiedenfeld, 2011; Becerra-Jiménez y Andrade-Cetto, 2012; El-Mostafa *et al.*, 2014; Halmi *et al.*, 2012; Patel, 2013; Shetty *et al.*, 2012;), así como por su actividad biológica (Bargougui *et al.*, 2013). El estado de Jalisco se encuentra ubicado en la parte occidental de la república mexicana, se caracteriza por poseer una diversidad de climas y zonas territoriales. La mayor parte del estado se ubica en la altiplanicie mexicana donde son representativas las regiones áridas y semiáridas (INEGI, 2015), y son abundantes las cactáceas, específicamente las especies del género *Opuntia* (González-Durán *et al.*, 2001). De las 29 especies reconocidas de *Opuntia* en Jalisco, las que tradicionalmente se cultivan para su consumo como verdura y frutos son únicamente

cuatro: *Opuntia ficus-indica*, *O. undulata*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*; otras tres se utilizan sólo con fines ornamentales (*O. microdasys*, *O. pumila* y *O. pubescens*); mientras que las demás no son aprovechadas (Arreola-Nava, 1990). La gran variedad de especies de *Opuntia* no cultivadas que crecen en la región del altiplano, en el estado de Jalisco, incluyen plantas arbustivas como *O. robusta* (“nopal tapón”) (fig. 1A), *O. cantabrigiensis* (“nopal cuijo”), *O. rastrera* (“nopal rastrero”), *O. lindheimeri* (“nopal cacanao”), *O. leptocaulis* (“nopal tasajillo”); arborecentes leñosas como *O. leucotricha* (“nopal duraznillo”), *O. streptacantha* (“nopal cardón”) (fig. 1B). Estas especies, junto con los agaves y mezquites, constituyen organismos clave en las comunidades bióticas y una potencial fuente de alimento y de ingreso económico para los pobladores de la región Altos Norte del estado de Jalisco; sin embargo, algunas especies continúan siendo utilizadas únicamente a nivel local y se comercializan solamente en mercados regionales, por lo que se requiere estudiar las características morfológicas y químicas de



Fig. 1. Ejemplar adulto de *Opuntia robusta* (A) y de *O. streptacantha* (B), abundantes en el estado de Jalisco, México.

las variedades de *Opuntia* nativas de la región, con la finalidad de que se difunda esta información para que sean aprovechadas. El objetivo de esta investigación fue estudiar la diversidad morfológica y caracteres químicos de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México para realizar propuestas de aprovechamiento, conservación y uso sostenible de dichas especies.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio. Los municipios de Lagos de Moreno y Ojuelos están situados dentro de la región fisiográfica del altiplano mexicano, en la región denominada Altos Norte de Jalisco (fig. 2). La zona se caracteriza por la presencia de vastas llanuras y mesetas, delimitadas al este por la sierra de Cuatralba y al oeste por pequeñas sierras y mesetas con cañadas); dichos municipios se caracterizan por ser los más áridos del estado y por poseer la mayor cantidad de elementos xeromorfos. La precipitación promedio anual varía entre 594 (Ojuelos) y 665 mm (Lagos de Moreno), la temperatura media anual oscila entre 13.9 y 15.1°C. El suelo predominante de estos municipios es el Feozem y los pastizales constituyen el tipo de vegetación característica (SIEG, 2012 a, b).

Recolecta. Se recolectaron frutos maduros y sanos de variedades silvestres pertenecientes a especies de *Opuntia* (cuadro 1), nativos de Lagos de Moreno y Ojuelos, algunos de ellos se muestran en las figuras 3 y 4. El periodo de muestreo se estableció entre julio y octubre de 2010, lo anterior de acuerdo a la fenología reproductiva de las variedades muestreadas. El criterio para la selección de los frutos en el campo fue el de madurez fisiológica, de acuerdo con los parámetros

visuales comerciales usados regionalmente (tamaño y llenado de fruto). Las variedades recolectadas fueron seleccionadas como representativas de la diversidad de cada localidad; así como por tener una amplia distribución en las regiones muestreadas. Todos los frutos (de 10 a 15 de cada variedad en cada uno de los lugares de muestreo) fueron cuidadosamente seleccionados, limpiados y preparados para las determinaciones morfológicas. La especie de cada variedad fue identificada de acuerdo a González-Durán *et al.* (2001) y Guzmán *et al.* (2003).

Mediciones morfológicas. Se registró la longitud, diámetro ecuatorial y grosor de la cáscara con un vernier digital Mitutoyo con una sensibilidad de 0.01 mm. Se calculó la relación ancho/longitud como medida de la forma del fruto (índice de forma). El peso fresco total y peso de la porción comestible fueron determinados utilizando una balanza analítica (Precisa Gravimetrics, AG. XT220A); con estos datos se calculó el porcentaje de pulpa o porción comestible de cada fruto. Después de registrar las características morfológicas, los frutos se almacenaron a -80°C, hasta la medición de las características químicas y la cuantificación de pigmentos.

Análisis químicos. Los análisis de humedad y cenizas se realizaron de acuerdo a los procedimientos de la AOAC; el contenido de sólidos solubles totales, que representa un estimado de los azúcares presentes en el jugo del fruto, se determinó con un refractómetro portátil, con una sensibilidad de 0.1 °Brix (ATAGO, Japón) y se expresó en °Brix (AOAC, 1990). La acidez total se determinó en el jugo de los frutos, por titulación potenciométrica con NaOH 0.01 N (hasta un pH de 7.2) y los resultados se expresaron

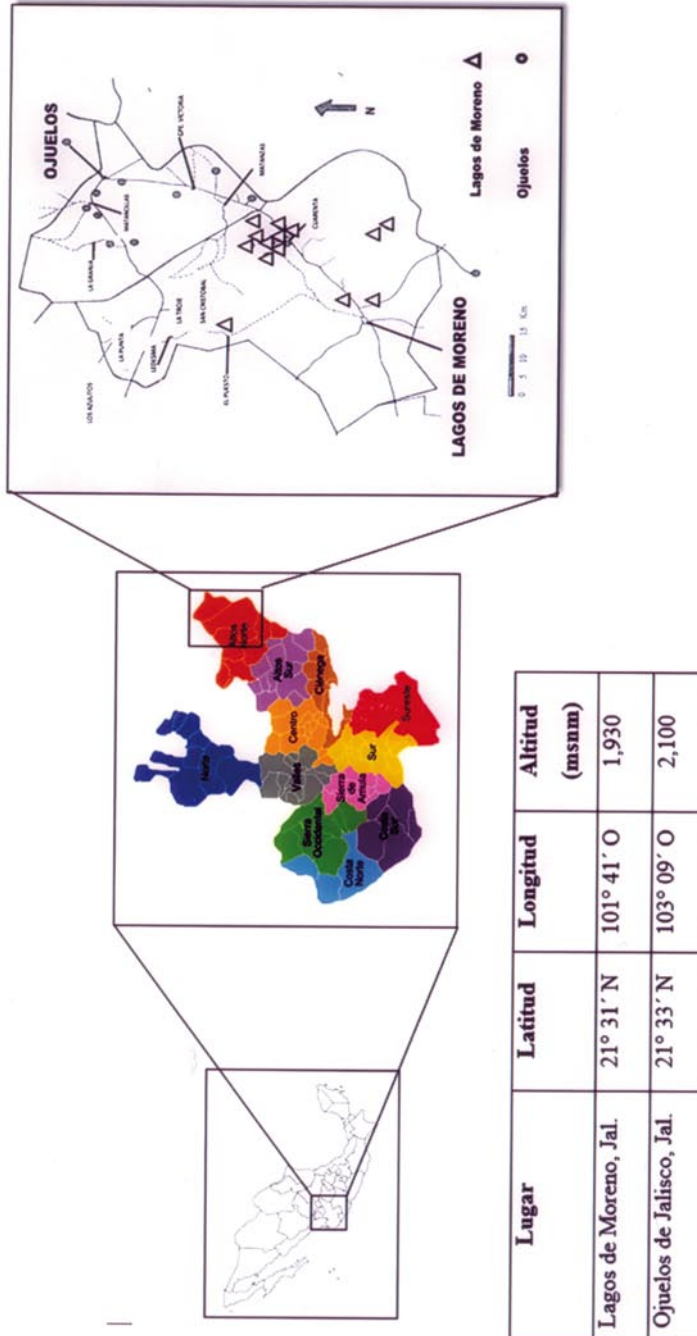


Fig. 2. Localización geográfica de los lugares de recolecta.



Fig. 3. Frutos maduros de cultivares silvestres de *Opuntia* recolectados en Lagos de Moreno, Jal., México: “manza naranja” (A), “manza blanca” (B), “calabazona” (C), “memela” (D), “chavena” (E) y “sangre de toro” (F).

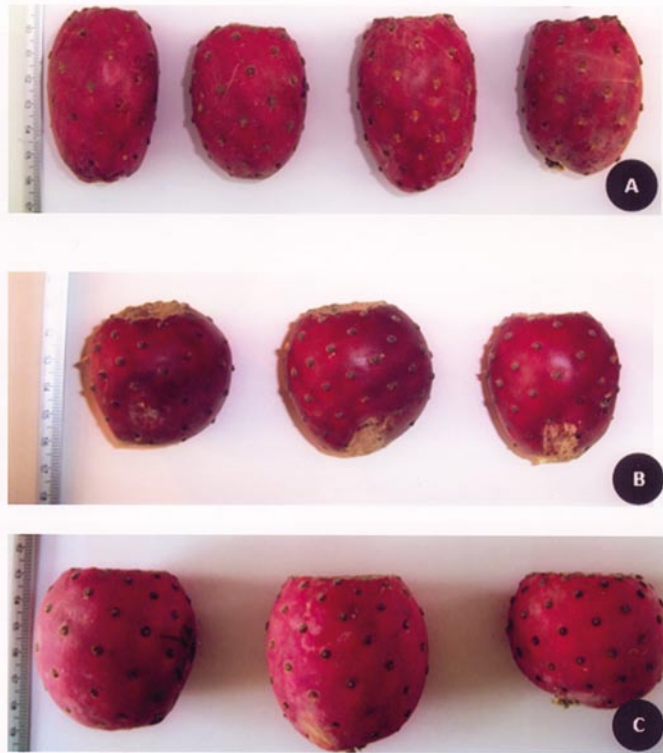


Fig. 4. Frutos maduros de cultivares silvestres de *Opuntia* recolectados en Lagos de Moreno, Jal., México: “largueta” (A) y “jaraleña” (B); y en Ojuelos de Jalisco, Jal., México: “cascarona” (C).

como porcentaje de ácido cítrico (Russel y Felker, 1987). El pH se midió directamente en el jugo del fruto con un potenciómetro (Thermo Scientific Orion Star 3, Canadá) previamente calibrado con soluciones buffer pH 7.0 y 4.0 (AOAC, 1990).

Extracción y cuantificación de pigmentos. 1 000 mg de la porción comestible de cada muestra fresca se homogenizaron y extrajeron dos veces con 10 mL de solución

de etanol al 80% a temperatura ambiente usando un mortero. Los extractos se centrifugaron (Sigma 2-16K116172, Alemania) a $10\,000 \times g$ durante 20 min. El contenido de betalinas, se cuantificó utilizando el método descrito por Cai *et al.* (2001) a 474 y 538 nm (espectrofotómetro *Jenway 6305*, Inglaterra), para betaxantinas y betacianinas, respectivamente. Se emplearon los datos de la indicaxantina (peso molecular 308 g/mol; coeficiente de extinción molar: 4.8×10^4

L/mol cm) y betanina (peso molecular 550 g/mol; coeficiente de extinción molar: 6.16×10^4 L/mol cm) para propósito de cálculos (Stintzing *et al.*, 2005).

Análisis estadístico. Se empleó un diseño experimental completamente al azar considerando de 10 a 15 frutos de tres individuos de cada variedad, dependiendo de la disponibilidad de frutos. Las mediciones morfológicas, análisis químico y cuantificación de pigmentos se realizaron por triplicado; se obtuvieron los parámetros de la estadística descriptiva por medio del procedimiento PROC UNIVARIATE utilizando el programa Statistical Analysis System, versión 9.1 (SAS Institute, 2002). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el procedimiento PROC GLM (SAS) y una prueba de comparaciones múltiples de medias (Tukey, $P < 0.05$) utilizando el mismo programa. Para analizar las relaciones lineales entre características morfológicas de los frutos se obtuvo el índice de correlación de Pearson (r) con el procedimiento PROC CORR del paquete estadístico SAS. Los datos morfológicos fueron sometidos posteriormente a un análisis Multivariado Canónico Discriminante mediante los procedimientos STEPDISC y CANDISC del paquete estadístico SAS.

RESULTADOS

Los frutos de *Opuntia*, fueron recolectados en las dos regiones de estudio; las muestras pertenecieron a 15 variedades de diferentes especies de *Opuntia* (cuadro 1). En el municipio de Lagos de Moreno, se encontraron y recolectaron una mayor diversidad de variedades silvestres (12 variedades), en comparación con la región de Ojuelos de Jalisco, donde sólo se recolectaron frutos de

seis variedades. Únicamente tres variedades (*O. cantabrigiensis* Lynch “memela”; *O. streptacantha* Lemaire “cardona” y *O. hyptiacantha* F.A.C. Weber in Bois “cascarona”) estuvieron presentes en ambas regiones.

Los cuadros 2 y 3 muestran los resultados del análisis de varianza realizado a los datos morfológicos de los frutos de ambas regiones utilizando el procedimiento GLM. El valor $Pr > F$ indica diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para una misma característica, entre las variedades recolectadas en cada región. La prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey, del mismo modo, mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre las especies para los caracteres morfológicos de los frutos en las dos regiones de recolecta (cuadros 4 y 5). Las variedades de *O. ficus-indica* (“burróna blanca” y “burróna naranja”), así como los de *O. robusta* (“taponá”) de Ojuelos de Jalisco, se caracterizaron por presentar los valores mayores en tamaño, peso total y peso de pulpa del fruto; mientras que la variedad *O. cantabrigiensis* (“memela”) presentó los frutos de menor peso total y peso de pulpa. *O. hyptiacantha* (“cascarona”) presentó los valores más altos en cuanto a grosor de cáscara (6.06 mm) y el menor valor para porcentaje de pulpa (37.5%). El análisis de índice de forma demostró diferencia significativa entre variedades, presentándose valores desde 0.53 (MEM) que corresponden a una forma ovalada o alargada de los frutos, hasta 0.99 (TAP), que corresponde a frutos casi esféricos. De acuerdo con los valores de coeficiente de variación (CV) interespecíficos, la característica morfológica con menor variabilidad en los frutos recolectados en Ojuelos de Jalisco fue el diámetro (CV = 8.32%), mientras que el grosor de

Cuadro 1. Variedades de tuna (*Opuntia* spp.) recolectadas en las regiones de muestreo, especie a la que corresponden y abreviaturas utilizadas en el texto.

Región	Especie	Variedad	Abreviatura
Ojuelos de Jalisco	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	burrona-blanca	BB
	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	burrona-naranja	BN
	<i>O. cantabrigiensis</i> Lynch	memela	MEM
	<i>O. robusta</i> H. L. Wendl. ex Pfeiff.	tapona	TAP
	<i>O. streptacantha</i> Lem.	cardona	CAR
	<i>O. hyptiacantha</i> F.A.C. Weber in Bois	casarona	CAS
Lagos de Moreno	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	manza-naranja	MN
	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	manza-blanca	MB
	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	calabazona	CAL
	<i>O. cantabrigiensis</i> Lynch	memela	MEM
	<i>O. streptacantha</i> Lem.	cardona	CAR
	<i>O. hyptiacantha</i> F.A.C. Weber in Bois	casarona	CAS
	<i>O. hyptiacantha</i> F.A.C. Weber in Bois	chavena	CHA
	<i>O. hyptiacantha</i> F.A.C. Weber in Bois	loba	LOB
	<i>O. undulata</i> Griffiths	sangre de toro	STD
	<i>O. icterica</i> Salm-Dyck	larguita	LAR
	<i>O. icterica</i> Salm-Dyck	jaraleña	JAR
	<i>Opuntia</i> spp.	redondilla	RED

Cuadro 2. Análisis de Varianza de los caracteres morfológicos de frutos de *Opuntia* procedentes de Ojuelos, Jalisco.

Variable	Media	Var	CV	R ²	CM	Valor de F	Pr > F
Longitud	59.63	96.25	10.07	0.66	613.65	17.00	< 0.0001
Diámetro	47.26	34.85	8.32	0.66	223.03	17.19	< 0.0001
Grosor cáscara	3.32	4.02	51.78	0.34	13.18	4.45	0.0023
Peso	70.09	477.9	24.08	0.46	2136.17	7.49	< 0.0001
Índice de forma	0.74	0.0307	12.17	0.75	0.2241	27.01	< 0.0001
% Pulpa	52.72	144049	10.66	0.75	827.39	26.18	< 0.0001

VAR, varianza; CV, coeficiente de variación; CM, cuadrado medio.

Cuadro 3. Análisis de Varianza de los caracteres morfológicos de frutos de *Opuntia* procedentes de Lagos de Moreno, Jalisco.

Variable	Media	VAR	CV	R ²	CM	Valor de F	Pr > F
Longitud	57.4	15.33	8.7	0.93	3896.24	154.4	< 0.0001
Diámetro	42.75	6.7092	6.36	0.84	474.43	64.11	< 0.0001
Grosor cáscara	4.10	3.1117	32.09	0.54	23.679	13.67	< 0.0001
Peso	70.8	1366.39	14.28	0.93	15271.55	149.3	< 0.0001
Índice de forma	0.77	0.2525	8.76	0.83	0.2508	54.77	< 0.0001
% Pulpa	46.21	131.001	18.25	0.50	788.91	11.08	< 0.0001

VAR, varianza; CV, coeficiente de variación; CM, cuadrado medio.

Cuadro 4. Caracteres morfológicos de frutos de las variedades de *Opuntia* spp. recolectadas en Ojuelos de Jalisco.

Variedad	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Grosor cáscara (mm)	Peso (g)	Peso pulpa (g)	Índice de forma	Pulpa %
BB	69.4 ± 6 ^a	45.9 ± 3 ^b	2.42 ± 0.7 ^{bc}	83.3 ± 20 ^a	43.1 ± 14 ^b	0.66 ± 0.04 ^{bc}	51.3 ± 8 ^c
BN	69.0 ± 6 ^a	43.6 ± 4 ^b	2.05 ± 0.9 ^c	83.6 ± 18 ^a	55.4 ± 14 ^a	0.64 ± 0.08 ^c	66.0 ± 6 ^a
MEM	62.7 ± 4 ^{ab}	32.8 ± 2 ^c	2.98 ± 1.8 ^{bc}	40.8 ± 4 ^c	20.6 ± 2 ^c	0.53 ± 0.05 ^d	50.4 ± 2 ^{cd}
TAP	51.2 ± 10 ^c	49.7 ± 7 ^a	3.34 ± 2.1 ^{bc}	82.0 ± 32 ^a	47.6 ± 14 ^{ab}	0.99 ± 0.14 ^a	59.6 ± 6 ^b
CAR	51.2 ± 3 ^c	44.2 ± 3 ^b	3.94 ± 1.3 ^b	64.6 ± 8 ^b	29.5 ± 5 ^c	0.87 ± 0.09 ^a	45.6 ± 3 ^d
CAS	56.9 ± 7 ^{bc}	42.47 ± 3 ^b	6.06 ± 3.5 ^a	63.25 ± 8 ^b	23.61 ± 5 ^c	0.76 ± 0.12 ^b	37.5 ± 8 ^e
CV (%)	10.07	8.32	51.78	24.08	17.80	12.17	10.66

Los datos representan el promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en datos de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P < 0.05$). CV = coeficiente de variación.

Cuadro 5. Caracteres morfológicos de frutos de las variedades de *Opuntia* spp. de Lagos de Moreno, Jalisco.

Variedad	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Grosor cáscara (mm)	Peso (g)	Peso pulpa (g)	Índice de forma	Pulpa %
MB	97.0 ± 6 ^a	61.2 ± 3 ^a	5.66 ± 1.6 ^b	195.2 ± 18 ^a	103.56 ± 9 ^a	0.63 ± 0.03 ^c	52.9 ± 9 ^{bc}
MN	71.6 ± 3 ^b	52.9 ± 3 ^b	3.2 ± 1.2 ^{cde}	121.5 ± 7 ^b	72.98 ± 10 ^b	0.74 ± 0.05 ^{cd}	60.2 ± 9 ^{ab}
CAL	92.7 ± 4 ^a	49.7 ± 3 ^c	2.18 ± 0.7 ^e	129.5 ± 15 ^b	82.74 ± 14 ^b	0.54 ± 0.02 ^f	63.7 ± 6 ^a
MEM	51.1 ± 3 ^{cd}	44.1 ± 3 ^d	4.1 ± 0.7 ^{cd}	55.7 ± 7 ^{de}	26.28 ± 6 ^d	0.86 ± 0.04 ^b	47.6 ± 12 ^{cde}
CAR	51.0 ± 7 ^{cd}	44.2 ± 3 ^d	3.2 ± 1.3 ^{cde}	60.5 ± 12 ^d	27.39 ± 5 ^d	0.88 ± 0.11 ^b	45.4 ± 3 ^{cde}
CAS	52.3 ± 5 ^{cd}	50.9 ± 3 ^{bc}	9.43 ± 0.5 ^a	81.8 ± 16 ^c	24.40 ± 5 ^d	0.98 ± 0.08 ^a	29.9 ± 1 ^f
CHA	57.2 ± 2 ^c	43.5 ± 3 ^{de}	4.6 ± 1.2 ^{bc}	60.9 ± 9 ^d	24.07 ± 7 ^d	0.76 ± 0.04 ^c	39.0 ± 8 ^{ef}
LOB	47.5 ± 3 ^{de}	42.4 ± 2 ^{de}	4.4 ± 1.9 ^{bc}	50.6 ± 8 ^{de}	21.88 ± 8 ^d	0.89 ± 0.04 ^b	43.1 ± 14 ^{cde}
SDT	90.3 ± 12 ^a	42.8 ± 3 ^{de}	3.6 ± 1.2 ^{cd}	86.3 ± 13 ^c	45.70 ± 10 ^c	0.48 ± 0.08 ^f	53.0 ± 9 ^{bc}
LAR	56.1 ± 3 ^c	37.8 ± 2 ^g	3.5 ± 1.2 ^{cd}	48.3 ± 4 ^{de}	20.11 ± 3 ^d	0.68 ± 0.05 ^{de}	41.6 ± 5 ^{de}
JAR	46.8 ± 4 ^{de}	39.6 ± 2 ^{fg}	2.9 ± 0.7 ^{de}	44.5 ± 8 ^e	21.36 ± 3 ^d	0.85 ± 0.08 ^b	49.5 ± 11 ^{cd}
RED	45.2 ± 2 ^e	40.6 ± 2 ^{ef}	4.3 ± 1.2 ^{bc}	44.2 ± 6 ^e	17.80 ± 2 ^d	0.90 ± 0.06 ^{ab}	40.4 ± 4 ^{de}
CV (%)	8.7	6.36	32.09	14.28	56.3	8.76	18.25

Los datos representan el promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en datos de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P < 0.05$). CV = Coeficiente de variación.

la cáscara presentó la mayor variabilidad interespecífica (CV = 51.78%) (cuadro 4). Una mayor diversidad morfológica se registró entre los frutos de las variedades de *Opuntia* recolectadas en Lagos de Moreno (cuadro 5). Nuevamente, las variedades MB, MN y CAL de *O. ficus-indica* presentaron los frutos más grandes y con mayor peso total, peso de pulpa, destacando el variedad “manza-blanca” (MB) con un peso promedio de fruto de 195.2 g; mientras que en esta región los frutos más pequeños fueron los de “jaraleña” (*O. ictérica*) y “redondilla” (*Opuntia* spp.) con pesos totales de 44.5 y 44.2 g y peso de pulpa de 21.36 y 17.8 g, respectivamente. La variedad CAS (“casca-rona”) presentó el valor más alto de grosor de cáscara (9.43 mm) y el menor porcentaje de pulpa (29.9%); en contraste, la variedad “calabazona” presentó el menor valor en grosor de cáscara (2.18 mm) y el mayor porcentaje de pulpa (63.7%). También se encontraron diferencias significativas en la forma de los frutos recolectados en esta

región; los frutos de las variedades SDT y CAL presentaron los valores más bajos (0.48 y 0.54, respectivamente), es decir tuvieron una forma alargada; mientras que los frutos de la variedad CAS fueron los que presentaron una forma más esférica, con un valor de índice de forma de 0.98. Los coeficientes de variación (CV) inter-específicos, muestran que la característica morfológica con menor variabilidad en los frutos recolectados en Lagos de Moreno fue el diámetro (CV = 6.36%), mientras que el peso de la pulpa presentó la mayor variabilidad interespecífica (CV = 56.3%) (cuadro 5). El cuadro 6 muestra los coeficientes de correlación de Pearson (r), entre algunas de las características morfológicas, el análisis muestra que no existe una correlación entre dichas variables, salvo en el caso de longitud y peso de los frutos de Lagos de Moreno, en donde el coeficiente de correlación es de 0.8072; mientras que en el resto de los casos, se obtuvieron valores cercanos a cero, e incluso negativos. Se eligieron cuatro de

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre características morfológicas de frutos de *Opuntia* provenientes de dos regiones del estado de Jalisco.

Región	Características morfológicas	Coefficiente de correlación
Ojuelos de Jalisco	peso vs % pulpa	0.3301
	longitud vs peso	0.3974
	diámetro vs longitud	-0.0951
	grosor cáscara vs longitud	-0.1592
	grosor cáscara vs diámetro	0.0708
Lagos de Moreno	peso vs % pulpa	0.3982
	longitud vs peso	
	diámetro vs longitud	0.5428
	grosor cáscara vs longitud	-0.1275
	grosor cáscara vs diámetro	0.2613

las variables morfológicas de los frutos más utilizadas para diferenciar entre variedades (longitud, diámetro, grosor de cáscara y peso) para realizar un análisis canónico discriminante entre especies por población. Los resultados mostraron que la primera función canónica (Can1) explica el mayor porcentaje de la variación total (0.9785), siendo la variable longitud la que presentó el valor más alto ($\lambda = 0.10206$; $F = 20.66$; $P < 0.0001$), con un Eigen valor de 11.14; los datos se muestran en los cuadros 7 y 8.

Los resultados de los caracteres químicos analizados a las 18 variedades de *Opuntia* recolectados en las regiones Ojuelos de Jalisco y Lagos de Moreno se muestran en los cuadros 9 y 10, respectivamente. La

prueba de Tukey mostró diferencias estadísticamente significativas entre las variedades para los caracteres evaluados dentro de cada una de las regiones estudiadas. Los valores del contenido de humedad en las variedades recolectadas en Ojuelos de Jalisco oscilaron entre 82.4 y 88.3 % para frutos de las variedades TAP y BB, respectivamente; mientras que el contenido de cenizas varió de 0.25 a 0.71% en las variedades BN y BB, respectivamente (cuadro 9). Todos frutos presentaron contenidos importantes de sólidos solubles totales de entre 11.1 y 14°Brix; un bajo contenido de acidez (0.0 a 0.11% de ácido cítrico), así como valores de pH cercanos a la neutralidad (5.7 a 7.3). Las variedades TAP y CAR se distinguieron por presentar los valores más elevados de

Cuadro 7. Resultados del análisis multivariado (MANOVA) de la comparación morfológica frutos de 18 variedades de *Opuntia* estudiadas.

Los valores más altos se resaltan con negritas.

Variable	R ²	Valor F	Pr > F
longitud	0.6711	20.66	< 0.0001
diámetro	0.4520	8.35	< 0.0001
grosor de cáscara	0.5018	10.20	< 0.0001
peso	0.4920	9.81	< 0.0001

Cuadro 8. Análisis Canónico Discriminante de caracteres morfológicos de frutos de 18 variedades de *Opuntia* estudiadas. Los valores más altos se resaltan con negritas.

Variable	Función canónica			
	Can1	Can2	Can3	Can4
longitud	0.9785	-0.0517	0.1585	-0.1214
diámetro	0.4425	0.8589	0.0315	-0.2557
grosor de cáscara	-0.2105	0.4068	0.8475	0.2682
peso	0.8180	0.5739	-0.0227	0.0292

sólidos solubles totales. Por otro lado, para las variedades de *Opuntia* recolectadas en Lagos de Moreno, el contenido de humedad se presentó en el intervalo de 79.6 a 90.9% (cuadro 10); CAS fue la variedad que presentó el valor más bajo de humedad, mientras que LOB presentó el valor más alto en este parámetro. CAS mostró un mayor contenido de cenizas (0.90%) mientras que los frutos de la variedad CAL presentaron el porcentaje más bajo (0.20%). Los frutos recolectados en esta región también presentaron un alto contenido de sólidos solubles totales (12.2 a 15.5 °Brix), a excepción de las variedades CHA y LOB (*O. hyptiacantha*), que presentaron los índices más bajos de sólidos solubles totales (8.8 y 7.6°Brix, respectivamente). La variedad LOB también destacó por presentar el mayor valor de acidez (0.52% de ácido, calculado como cítrico) y el valor de pH más bajo (4.1). Por otro lado, la variedad “larguita” (LAR) presentó el valor más elevado de pH (7.2) (cuadro 10).

De las variedades analizadas, únicamente BB y MB, se caracterizaron por sus frutos con cáscara verde, lo que muestra la ausencia de pigmentos; frutos de tres variedades (BN, MN y CAL) fueron de color naranja, debido a la presencia mayoritaria de betaxantinas y un contenido bajo de betacianinas; mientras que trece de las variedades estudiadas fueron de color rojo a púrpura por la presencia de pigmentos de tipo betalainas, con especial abundancia de betacianinas. En las 16 muestras pigmentadas se analizó el contenido de betacianinas y betaxantinas, los resultados se muestran en el cuadro 11. La concentración de pigmentos mostró una amplia variabilidad entre las variedades con frutos de color naranja y rojos; en las variedades recolectadas en Ojuelos de Jalisco el contenido

de betaxantinas estuvo en el intervalo de 1.6 a 5.06 mg/100g de pulpa, correspondiente a las variedades CAS y TAP, respectivamente. La cuantificación de betacianinas mostró valores entre 0.50 y 9.54 mg/100g de pulpa, para BN y TAP, respectivamente. Esta última variedad (TAP) destacó por el mayor contenido de betalainas totales. Los frutos con concentraciones más elevadas de pigmentos se recolectaron en el municipio de Lagos de Moreno, por ejemplo, LAR y JAR destacaron por la mayor presencia de betalainas totales, 32.44 y 30.47 mg/100g de pulpa, respectivamente. MN fue la variedad con menor contenido de betaxantinas y betacianinas (1.08 y 0.53 mg/100g de pulpa, respectivamente).

En la comparación de caracteres morfológicos y químicos de las tres variedades recolectadas en ambas regiones de muestreo, se encontró que hubo ciertas variaciones entre ellos. Los frutos de *Opuntia streptacantha* “cardona” de ambos lugares de colecta fueron similares en cuanto a tamaño (longitud y ancho) y porcentaje de pulpa; sin embargo los frutos de Ojuelos presentaron mayor peso total, peso de porción comestible y grosor de cáscara, así como mayor contenido de humedad; mientras que los frutos de *O. streptacantha* (“cardona”) de Lagos de Moreno, presentaron mayor contenido de cenizas y notoriamente fueron superiores en contenido de pigmentos (alrededor de 2.87 veces más de betaxantinas y 4.58 veces más de betacianinas). El contenido de sólidos solubles totales y porcentaje de acidez fue similar en los frutos de las dos regiones. *O. hyptiacantha* “cascarona” se distribuye en las dos regiones de muestreo, para esta variedad, el tamaño y forma de sus frutos en ambas regiones fue diferente,

Cuadro 9. Características químicas de frutos de las variedades de *Opuntia* spp. recolectadas en Ojuelos de Jalisco.

Variedad	Característica				
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Sólidos totales (°Brix)	Acidez (% ácido cítrico)	pH
BB	88.3 ± 1.5 ^a	0.71 ± 0.2 ^a	11.1 ± 1.2 ^c	0.0 ± 0 ^d	7.3 ± 0.2 ^a
BN	86.1 ± 2.1 ^{bc}	0.25 ± 0.02 ^d	13.5 ± 1.8 ^{ab}	0.11 ± 0.02 ^a	6.7 ± 0.1 ^b
MEM	85.3 ± 1.2 ^{cd}	0.34 ± 0.06 ^c	12.3 ± 1.0 ^{bc}	0.04 ± 0.01 ^{bc}	6.0 ± 0.5 ^c
TAP	82.4 ± 1.7 ^e	0.58 ± 0.04 ^b	13.7 ± 2.3 ^a	0.08 ± 0.02 ^b	5.7 ± 0.3 ^c
CAR	87.1 ± 1.2 ^{ab}	0.40 ± 0.03 ^c	14.0 ± 0.6 ^a	0.02 ± 0.01 ^c	6.8 ± 0.4 ^b
CAS	84.4 ± 1.1 ^d	0.36 ± 0.05 ^c	11.2 ± 0.3 ^c	0.02 ± 0.01 ^c	6.1 ± 0.6 ^c

Los datos representan el promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en datos de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P < 0.05$).

Cuadro 10. Características químicas de frutos de las variedades de *Opuntia* spp. de Lagos de Moreno, Jalisco.

Variedad	Característica				
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Sólidos totales (°Brix)	Acidez (% ácido cítrico)	pH
MB	85 ± 1.3 ^{bc}	0.28 ± 0.05 ^{de}	12.3 ± 0.5 ^{cd}	0.03 ± 0.01 ^{efg}	6.9 ± 0.3 ^{ab}
MN	83.6 ± 1.3 ^d	0.66 ± 0.19 ^b	15.5 ± 0.7 ^a	0.10 ± 0.02 ^c	6.4 ± 0.2 ^{bc}
CAL	85.9 ± 1.5 ^{bc}	0.20 ± 0.05 ^e	12.8 ± 0.9 ^{cd}	0.07 ± 0.01 ^d	6.2 ± 0.3 ^{cd}
MEM	83.6 ± 2.7 ^d	0.27 ± 0.12 ^{de}	12.2 ± 0.9 ^d	0.02 ± 0.01 ^{fg}	6.0 ± 0.4 ^d
CAR	84.4 ± 1.5 ^{cd}	0.57 ± 0.19 ^{bc}	13.4 ± 1.7 ^{bc}	0.02 ± 0.01 ^{fg}	6.1 ± 0.1 ^{cd}
CAS	79.6 ± 2.6 ^e	0.90 ± 0.35 ^a	12.9 ± 1.1 ^{cd}	0.10 ± 0.03 ^c	4.8 ± 0.5 ^e
CHA	88.3 ± 1.7 ^b	0.54 ± 0.12 ^{bc}	8.8 ± 1.2 ^e	0.17 ± 0.01 ^b	5.1 ± 0.9 ^e
LOB	90.9 ± 2.8 ^a	0.40 ± 0.12 ^{cd}	7.6 ± 1.5 ^f	0.52 ± 0.04 ^a	4.1 ± 0.2 ^f
SDT	86.1 ± 1.5 ^{bc}	0.44 ± 0.16 ^{cd}	13.5 ± 1.0 ^{bc}	0.02 ± 0.01 ^{fg}	6.2 ± 0.3 ^{cd}
LAR	87.5 ± 1.1 ^b	0.56 ± 0.12 ^{bc}	13.6 ± 1.1 ^{bc}	0.00 ± 0.00 ^h	7.2 ± 0.0 ^a
JAR	83.8 ± 1.5 ^d	0.45 ± 0.08 ^{cd}	12.7 ± 2.1 ^{cd}	0.01 ± 0.00 ^g	6.0 ± 0.3 ^d
RED	84.7 ± 1.5 ^{cd}	0.49 ± 0.12 ^{bc}	14.7 ± 1.3 ^{ab}	0.05 ± 0.01 ^e	5.0 ± 0.3 ^e

Los datos representan el promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en datos de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P < 0.05$).

Cuadro 11. Contenido de pigmentos (mg/100g) en las variedades de tuna (*Opuntia* spp.) recolectadas en las dos regiones de muestreo.

Región	Variedad	Betaxantinas	Betacianinas	Betalainas Totales*
Ojuelos de Jalisco	BN	2.78 ± 0.51 ^c	0.50 ± 0.11 ^d	3.28
	MEM	3.49 ± 0.44 ^b	5.90 ± 0.75 ^b	9.39
	TAP	5.06 ± 1.08 ^a	9.54 ± 1.71 ^a	14.60
	CAR	2.26 ± 0.29 ^d	2.27 ± 0.56 ^c	4.53
	CAS	1.60 ± 0.32 ^e	2.86 ± 0.74 ^c	4.46
Lagos de Moreno	MN	1.08 ± 0.18 ^g	0.53 ± 0.11 ^e	1.61
	CAL	4.42 ± 2.66 ^{d,e,f}	0.79 ± 0.36 ^{d,e}	5.21
	MEM	6.93 ± 3.16 ^{b,c}	13.61 ± 5.04 ^b	20.54
	CAR	6.52 ± 3.58 ^{b,c,d}	10.36 ± 5.43 ^b	16.88
	CAS	2.04 ± 0.52 ^{f,g}	4.89 ± 1.16 ^c	6.93
	CHA	5.29 ± 1.40 ^{b,c,d}	18.99 ± 3.27 ^a	24.28
	LOB	2.35 ± 0.67 ^{e,f,gi}	4.95 ± 1.53 ^c	7.30
	SDT	4.70 ± 0.66 ^{c,d,e}	4.41 ± 1.18 ^{c,d}	9.11
	LAR	11.49 ± 4.53 ^a	20.95 ± 7.75 ^a	32.44
	JAR	10.23 ± 4.88 ^a	20.24 ± 2.95 ^a	30.47
RED	7.12 ± 2.69 ^b	18.87 ± 3.94 ^a	25.99	

Los datos representan el promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en datos de la misma columna por lugar de recolecta indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P < 0.05$). *El contenido de betalainas totales se calculó mediante la suma de los promedios de betaxantinas y betacianinas para cada variedad.

observándose frutos con valores más altos de peso total, peso de porción comestible, grosor de cáscara, contenido de cenizas, sólidos solubles totales, acidez y betaxantinas en Lagos de Moreno. Para esta misma región los frutos tuvieron un valor más alto en el índice de forma (0.98 ± 0.08), lo cual implica que éstos fueron más esféricos que los recolectados en Ojuelos de Jalisco. El porcentaje de pulpa, contenido de humedad

y betacianinas de los frutos de Ojuelos de Jalisco fue mayor. La tercer variedad registrada en ambas regiones fue *O. cantabrigiensis* “memela”, los frutos recolectados en Ojuelos de Jalisco fueron más alargados en comparación con los recolectados en Lagos de Moreno, lo cual se deduce por los valores más altos de longitud y un menor valor en el índice de forma; aún así, los frutos de Lagos de Moreno presentaron un mayor

peso total y de porción comestible, aunque menor porcentaje de pulpa. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el contenido de humedad, cenizas, grados Brix y acidez fueron mayores en los frutos de Ojuelos de Jalisco. El contenido de pigmentos fue mucho mayor en los frutos recolectados en Lagos de Moreno.

DISCUSIÓN

Quince variedades diferentes pertenecientes a ocho de las 29 especies reconocidas de *Opuntia* en Jalisco, México, fueron identificadas en dos regiones representativas del Altiplano Mexicano, Ojuelos de Jalisco y Lagos de Moreno. Los frutos presentaron una amplia variación entre variedades, tanto en los caracteres morfológicos como en los químicos; en el contenido de pigmentos también existieron diferencias entre los frutos de la misma variedad que se recolectaron en regiones diferentes. Lo anterior concuerda con lo establecido por Aquino-Bolaños *et al.* (2012), Felker e Inglese (2003), Felker *et al.* (2005) y Karababa *et al.* (2004), quienes mencionan que diversos factores, entre ellos el tipo de variedad y el ambiente (clima, precipitación pluvial, región, periodo de luz, época de cosecha), afectan considerablemente las características físicas y químicas de los frutos de *Opuntia*. Felker *et al.* (2005), han enfatizado también la presencia de variaciones morfológicas en las mismas variedades que crecen en regiones geográficas diferentes; similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, como fue el caso de CAS y MEM, en los que la forma del fruto varió significativamente encontrándose frutos de forma ovalada en la región de Ojuelos de Jalisco y frutos con valores más bajos en la relación longitud/ancho provenientes de Lagos de Moreno.

El peso de los frutos de las variedades MN, MB y CAL de la especie *O. ficus-indica* de Lagos de Moreno, coincide con lo establecido por Felker *et al.* (2005), para variedades de origen mexicano crecidas en Argentina; sin embargo, las variedades BB y BN de la misma especie recolectadas en Ojuelos, presentaron valores de peso del fruto significativamente menores. La mayoría de los frutos analizados tuvieron porcentajes de pulpa en el intervalo mencionado por Piga (2004) para frutos de *Opuntia*, el cual va de 43 a 57%; únicamente las variedades de *O. ficus-indica* con coloración naranja BN, MN, CAL y TAP sobrepasaron dichos porcentajes de pulpa (cuadros 4 y 5). En los municipios estudiados, los pobladores generalmente distinguen las variedades de *Opuntia* basándose en caracteres morfológicos observables a simple vista como son el tamaño de los frutos (longitud y diámetro) el peso y el grosor de la cáscara, otorgando de este modo nombres comunes a dichas variedades (“burróna”, “cascaróna”...) por lo cual se eligieron estas variables morfométricas para ser incluidas en el análisis multivariado canónico discriminante (CANDISC), como una manera de obtener evidencias acerca de la diversidad morfológica en variedades de *Opuntia* provenientes de diversas localidades.

En cuanto a caracteres químicos, para el contenido de humedad y cenizas en la mayoría de las variedades analizadas se registraron valores similares a los mencionados por otros autores para frutos de *Opuntia* de diversas regiones de México (Aquino *et al.*, 2012) y otros países (Díaz-Medina *et al.*, 2007; Piga, 2004; Sáenz *et al.*, 2006), los cuales varían de 81.3 a 91.0% y 0.3 a 1.0%, respectivamente. En relación a los sólidos solubles totales, únicamente dos

de las variedades de *O. chavena* (CHA y LOB) se caracterizaron por los valores más bajos, así como los valores más altos para acidez, diferente de los intervalos descritos en otras investigaciones (Aquino *et al.*, 2012; Chávez-Santoscoy *et al.*, 2009; Díaz-Medina *et al.*, 2007; Piga, 2004; Sáenz *et al.*, 2006). Los frutos de las variedades *O. ficus-indica* (MN) y *Opuntia* spp. (RED) mostraron los valores promedio más altos de sólidos solubles totales y pH, similar a los frutos de otras variedades de *Opuntia* reportadas (Sumaya-Martínez *et al.*, 2011), lo cual los hace bastante dulces. Los frutos de todas las variedades, a excepción de la variedad “loba” pueden ser clasificados como poco ácidos por su valor de pH superior a 4.5 (Badui-Dergal, 2012), lo cual es un rasgo fisiológico importante ya que puede relacionarse con la vida de anaquel de los frutos, así como también es de utilidad cuando se desea aprovechar la pulpa en la elaboración de ciertos productos. Los resultados de los análisis químicos muestran similitud en la composición fisicoquímica entre la mayoría de las variedades de tunas analizadas; sin embargo, se encontraron variaciones importantes en el contenido de pigmentos. Las betalainas son los pigmentos principales que proporcionan coloración naranja o roja en las especies de Cactaceae; son pigmentos nitrogenados con coloración amarilla (betaxantinas) y roja (betacianinas). El contenido y tipo de betalainas presentes en la pulpa de la tuna son los responsables de la coloración de la misma (Figuroa-Cares *et al.*, 2010; Moussa-Ayoub *et al.*, 2011; Obón *et al.*, 2009; Sanjay *et al.*, 2013; Strack *et al.*, 2003); una diversidad de estos pigmentos se han caracterizado a partir de los frutos de *Opuntia*, entre ellos sobresalen la filocactina, betanina y betanidina (betaciani-

nas) y vulgaxantina I y II, e indicaxantina (betaxantinas), como lo establece Piga (2004) en su revisión sobre la importancia funcional y nutracéutica de las tunas. En el presente trabajo de investigación, se observaron diferencias significativas tanto en el contenido de betacianinas como en betaxantinas entre variedades de ambas regiones de muestreo, así como una alta variación en el contenido de determinado pigmento entre frutos de la misma variedad. Para la mayoría de las variedades de tuna analizadas en la presente investigación, no existen reportes previos sobre su composición; aunque el contenido de betalainas en otras variedades de tuna roja si ha sido descrita con anterioridad. Sin embargo, algunos autores (Castellanos-Santiago y Yahia, 2008; Chávez-Santoscoy *et al.*, 2009; Figuroa-Cares *et al.*, 2010) han analizado el contenido de betacianinas y betaxantinas en variedades de tunas de diferentes tonalidades y mencionan concentraciones de 0.5 y hasta 53.6 mg de betacianinas por 100g de pulpa fresca y concentraciones de betaxantinas entre 1.2 y 28.6 mg/100 de pulpa fresca; las concentraciones de pigmentos encontradas en la presente investigación se encuentran dentro de los intervalos descritos por estos autores. Por otro lado, Aquino *et al.* (2012) mencionan concentraciones mucho mayores de betacianinas en siete variedades de tunas moradas analizadas (13.55-86.69 mg/100g, peso fresco), once de las 16 variedades analizadas en el presente trabajo, están por debajo de dicho intervalo. Las variedades recolectadas en Ojuelos de Jalisco presentaron concentraciones más elevadas de betaxantinas, tanto en la variedad anaranjada (BN) como en las variedades rojas; mientras que en las muestras recolectadas en Lagos de Moreno, el contenido de betacianinas fue mayor,

a excepción de las variedades de frutos anaranjados (MN, CAL) y el variedad SDT (*O. undulata*). No obstante, el contenido de betalainas en las variedades de tuna analizadas, es mayor a lo registrado para frutos de otras cactáceas. Por ejemplo, en frutos de *Myrtillocactus geometrizans* y *M. shenkii*, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010), mencionan concentraciones de 2.95 a 3.69 mg de betacianinas/100g, y de entre 0.24 y 0.29 mg de betaxantinas/100g. Por otro lado, los contenidos de betacianinas determinados en las variedades de *Opuntia* de esta investigación son similares a los descritos para los frutos (pitayas) de *Stenocereus griseus* mencionados por García-Cruz *et al.* (2012), quienes establecieron valores de 19.96 y 3.76 mg de betacianinas/100g en pitaya roja y pitaya naranja, respectivamente; mientras que los contenidos de betaxantinas se encontraron por debajo de los reportados por estos autores: 14.76 y 17.74 mg betaxantinas/100g en pitaya roja y pitaya naranja, respectivamente. Comparado también con frutos de otras variedades de *Opuntia* (Obón *et al.*, 2009; Sumaya-Martínez *et al.*, 2011), el contenido de betaxantinas de las especies estudiadas es menor. Los frutos de la cactácea globosa *Mammillaria uncinata*, presentan también concentraciones mucho mayores de estos pigmentos, 16.34 mg betaxantinas/100g y 31.64 mg betacianinas/100g (Aparicio-Fernández *et al.*, 2013). La presencia de betacianinas y betaxantinas en las variedades de tuna analizadas brinda características de gran importancia a estos frutos, para considerar a su aprovechamiento como fuente de fitonutrientes, puesto que se han estudiado diferentes tipos de actividad biológica de estas moléculas, como es la actividad antioxidante y la capacidad para detener el crecimiento de células cancerosas *in vitro*

(Chávez-Santoscoy *et al.*, 2009; Devalraju *et al.*, 2007; Nasselli *et al.*, 2014).

Las variedades correspondientes a la especie *O. ficus-indica* recolectadas en ambas regiones de muestreo sobresalen por las mejores características morfológicas en cuanto a tamaño (longitud y ancho), peso total, porcentaje de pulpa y menor grosor de cáscara; su contenido de sólidos solubles totales y bajo porcentaje de acidez; es probable que debido a estos atributos, dichas variedades sean consideradas de mayor calidad, y por tanto, con mayor potencial para ser comercializadas a nivel estatal y nacional; mientras que las demás especies y variedades que no presentan caracteres de calidad comercial favorables tendrían la posibilidad de ser comercializadas a nivel local para su consumo en fresco. Sin embargo, cabe destacar que estos frutos de tamaño pequeño, con cáscara gruesa y por tanto, un bajo porcentaje de pulpa tienen también un gran potencial para su uso en alimentos procesados como dulces, mermeladas, jugos y bebidas fermentadas por su alto contenido de azúcares y su atractiva coloración. La elevada proporción de cáscara y menor cantidad de pulpa o porción comestible tampoco debería considerarse una desventaja en estas variedades silvestres, ya que pueden ser utilizados para la obtención de fibras, así como para la extracción de fitoquímicos importantes, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, esteroides, polisacáridos (arabinogalactanas), pectinas y pigmentos (Cardador-Martínez *et al.*, 2011; Chougui *et al.*, 2013; Habibi *et al.*, 2004; Lira-Ortiz *et al.*, 2014; Ramadan y Mörsel, 2003). De estos componentes sobresalen las betalainas, ya que se ha mencionado que constituyen moléculas con diversas actividades biológicas entre las que destaca la capacidad antioxidante (Coria-

Cayupan *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2012; Osorio-Esquivel *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Los resultados muestran la amplia variabilidad de caracteres morfológicos y químicos de frutos de variedades silvestres de *Opuntia*, que crecen en los municipios de Lagos de Moreno y Ojuelos de Jalisco. Las variedades de la especie *Opuntia ficus-indica* presentan frutos de mayor tamaño (longitud, diámetro y peso) y porcentaje de pulpa, así como alto contenido de sólidos solubles totales, lo cual podría contribuir a la preferencia por parte de los consumidores. El conocimiento de las características de especies de *Opuntia* no cultivadas es importante con la finalidad de difundir sus características e impulsar su aprovechamiento. Por su moderada cantidad de pigmentos de tipo betalainas, las variedades silvestres de tuna tienen un campo potencial de aprovechamiento como fuente de estos pigmentos que podrían tener aplicación como colorantes naturales en la industria de alimentos. Dado que el porcentaje de pulpa de los frutos analizados varía desde 30 hasta 50%, se sugiere el estudio de las características nutrimentales, físico-químicas, pigmentos y perfil fitoquímico de la cáscara del fruto para su aprovechamiento.

LITERATURA CITADA

Abdel-Hameedel, S.S.; M.A. Nagaty, M.S. Salman, y S.A. Bazaid, 2014. "Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus-indica* Mill.) growing in Taif, KSA". *Food Chem*, **160**: 31-38. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614004518#>

Andrade-Cetto A., y H. Wiedenfeld, 2011. "Anti-hyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem.". *J Ethnopharmacol.*, **133**: 940-943. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037887411000807X>

Aparicio-Fernández, X.; S. Loza-Cornejo, M.G. Torres-Bernal, y N.J. Velázquez-Placencia, 2013. "Chemical and morphological characterization of *Mammillaria uncinata* (Cactaceae) fruits". *J. PACD*, **15**: 32-41. <http://www.jpacd.org/?modulo=JS&ID=14>

Aquino-Bolaños, E.N.; Y. Chavarria-Mocetzuma, J.L. Chávez-Servia, R.I. Guzmán Gerónimo, E.R. Silva-Hernández, e I. Verdalet-Guzmán, 2012. "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. <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/Hemeroteca/REVISTA%2055.pdf#page=5>

Association of Analytical Chemists (AOAC), 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Washington, DC, USA. 771 pp.

Arreola-Nava, H.J., 1990. "Inventario de las cactáceas de Jalisco y su distribución". *Cact. Suc. Mex.*, **35**(1): 3-12.

Badui-Dergal, S., 2012. "Clases de alimentos". López-Ballesteros, G., y B. Gutiérrez-Hernández (Eds.). *La Ciencia de los Alimentos en la Práctica*. PEARSON, México, pp. 171-178.

- Bargougui A.; P. le Pape, y S. Triki, 2013. "Antiplasmodial efficacy of fruit extracts and cladodes of *Opuntia ficus-indica*". *J. Nat. Sci. Res.*, **3**(6): 31-37. <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/5701/5835>
- Barthlott, W., y D.R. Hunt. 1993. "Cactaceae". Kubitzki K., Rohmer, J.G. y Bittridi, V. (Eds.). *The families and Genera of Vascular Plants*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 161-197.
- Becerra-Jiménez J., y A. Andrade-Cetto, 2012. "Effect of *Opuntia streptacantha* Lem. on alpha-glucosidase activity". *J Ethnopharmacol.*, **139**: 493-496. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874111008476>
- Cai, Y.; M. Sun, W. Schliemann, y H. Corke. 2001. "Chemical stability and colorant properties of betaxanthin pigments from *Celosia argentea*". *J Agric Food Chem*, **49**: 4429-4435. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0104735>
- Cardador-Martínez, A.; C. Jiménez-Martínez, y G. Sandoval, 2011. "Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants". *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, **31**(3): 782-788. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612011000300036&script=sci_arttext
- Castellanos-Santiago, E., y E.M. Yahia, 2008. "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*, **56**: 5758-5764. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf800362t>
- Coria-Cayupan, Y.S.; M.J. Ochoa, y M.A. Nazareno, 2011. "Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. Fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process". *Food Chem*, **126**(2): 514-519. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610014512>
- Chávez-Santoscoy, R.A.; J.A. Gutiérrez-Uribe, y S.O. Serna-Saldívar, 2009. "Phenolic composition, antioxidant capacity and in vitro cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices". *Plant Food Hum Nutr*, **64**: 146-152. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11130-009-0117-0>
- Chougui, N.; A. Tamendjari, W. Hamidji, S. Hallal, y A. Barras, 2013. "Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds". *Food Chem.*, **139**: 796-803. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613000782>
- Devalraju, S.; M.K. Arunasree, K.R. Roy, T.C. Reddy, G.V. Reddy, y P. Reddanna, 2007. "Betanin a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus-indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia cell line-k562". *Phyto-medicine*, **14**: 739-746. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944711307000517>
- Díaz-Medina E.M.; E.M. Rodríguez-Rodríguez, y C. Díaz-Romero, 2007. "Che-

- mical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus-indica* fruits”. *Food Chem*, **103**: 38-45. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881460600608X>
- El-Mostafa, K.; Y. El Kharrassi, A. Barededdine, P. Andreoletti, J. Vamecq, M. S. El Kebbaj, N. Latruffe, G. Lizard, B. Nasser, y M. Cherkaoui-Malki, 2014. “Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease”. *Molecules*, **19**(9): 879-901. <http://www.mdpi.com/1420-3049/19/9/14879/htm>
- Felker P., y P. Inglese, 2003. “Short-term and long-term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. utilization in arid areas”. *J. PACD*, **5**: 131-151. <http://www.jpacd.org/?modulo=JS&ID=6>
- Felker P.; S. del C. Rodríguez, R.M. Casoliba, R. Filippini, D. Medina, y R. Zapata, 2005. “Comparison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina”. *J Arid Environ*, **60**: 405-422. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196304001314>
- Figuroa-Cares. I.; M.T. Martínez-Damián, E. Rodríguez-Pérez, M.T. Colinas-León, S. Valle-Guadarrama, S. Ramírez-Ramírez, y C. Gallegos-Vázquez, 2010. “Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp.) de México”. *Agrociencia*, **44**: 763-771. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000700003
- García-Cruz, L.; Y. Salinas-Moreno, y S. Valle-Guadarrama, 2012. “Betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.)”. *Rev Fitotec*, **35**(5): 1-5.
- González-Durán, A.; M.E. Riojas-López, y H.J. Arreola-Nava, 2001. *El género Opuntia en Jalisco. Guía de campo*. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco, México. 135 pp.
- Guzmán, U.; S. Arias, y P. Dávila, 2003. *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. UNAM-CONABIO. México, 320 pp.
- Guzmán-Maldonado, S.H.; G. Herrera-Hernández, D. Hernández-López, R. Reynoso-Camacho, A. Guzmán-Tovar, F. Vaillant, y P. Brat, 2010. “Physico-chemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico”. *Food Chem*, **121**: 381-386. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609014599>
- Habibi, Y.; M. Mahrouz, M.F. Marais, y M.R. Vignon, 2004. “An arabinogalactan from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits”. *Carbohydr Res*, **339**: 1201-1205. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621504000679>
- Halmi, S.; B. Benlakssira, K. Bechtarzi, Z. Djerrou, H. Djeaalab, F. Riachi, y Y. Hamdi Pacha, 2012. “Antihyperglycemic activity of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) aqueous ex-

- tract". *Int J Med Arom Plants*, **2**(3): 540-543. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20123332319.html;jsessionid=95B19D531E4E1964A1CB769A2FC462B9>
- INEGI, 2015. Conociendo Jalisco. 5ta. Edición. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 30 pp. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825213053.pdf Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Karababa, E.; Y. Coşkuner, y S. Aksay, 2004. "Some physical fruit properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) that grow wild in the eastern Mediterranean region of Turkey". *J. PACD*, **6**: 1-8. <http://www.jpacd.org/?modulo=JS&ID=7>
- Lira-Ortiz, A.; F. Reséndiz-Vega, E. Ríos-Leal, J.C. Contreras-Esquivel, N. Chavarría-Hernández, A. Vargas-Torres, e I. Rodríguez-Hernández, 2014. "Pectins from waste of prickly pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar "Reyna"): chemical and reological properties". *Food Hydrocolloid*, **37**: 93-99. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X13003354#>
- Morales, P.; E. Ramírez-Moreno, M. de C. Sánchez-Mata, A.M. Carvalho, e I.C.F.R. Ferreira, 2012. "Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F. A. C. Weber ex Diguët and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico". *Food Res Int*, **46**(1): 279-285. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912000166>
- Moussa-Ayoub, T.; S.K. El-Samahy, S. Rohn, y L. Kroh, 2011. "Flavonols, betacyanins content and antioxidant activity of cactus *Opuntia macrorhiza* fruits". *Food Res Int*, **44**: 2169-2174. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911001013>
- Naselli, F.; L. Tesoriere, F. Caradonna, D. Bellavia, A. Anzio, C. Gentile, y M.A. Livrea, 2014. "Antiproliferative and proapoptotic activity of whole extract and isolated indicaxanthin from *Opuntia ficus-indica* associated with re-activation of the oncosuppressor p16INK4a gene in human colorectal carcinoma (Caco-2) cells". *Biochem Biophys Res Commun*, **450**: 652-658. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X14011036>
- Obón, J.M.; M.R. Castellar, M. Alacid, y J.A. Fernández-López, 2009. "Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems". *J. Food Eng*, **90**: 471-479. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408003610#>
- Osorio-Esquivel, O.; A. Ortiz-Moreno, V.B. Álvarez, L. Dorantes-Álvarez, y M.M. Giusti, 2011. "Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia xoconostle* fruits". *Food Res Int*, **44**(7): 2160-2168. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911000986>

- Patel, S., 2013. "Reviewing the prospects of *Opuntia* pears as low cost functional foods". *Rev Environ Sci Biotechnol*, **12**: 223-234. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11157-012-9295-6>
- Piga, A., 2004. "Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance". *J PACD*, **6**: 9-22. <http://www.jpacd.org/?modulo=JS&ID=7>
- Ramadan, M.F., y J.T. Morsel, 2003. "Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols". *Food Chem*, **83**(3): 447-456. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814603001286#>
- Reyes-Agüero, J.A.; R. Aguirre, y F. Carlin, 2004. "Análisis preliminar de la variación morfológica de 38 variantes mexicanas de *Opuntia-ficus-indica* (L.) Miller". *El Nopal, Tópicos de actualidad*. Esparza, G.; R. Valdez, y J. Méndez G. (eds.) Universidad Autónoma Chapingo and Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 21-47 pp.
- Reyes-Agüero, J.A.; J.R. Aguirre-Rivera, y M.H. Hernández, 2005. "Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae)". *Agrociencia*, **39**(4): 395-408.
- Russel, C.H., y P. Felker, 1987. "The prickly pears (*Opuntia* spp. Cactaceae). A source of human and animal food in semiarid regions". *Econ. Bot.*, **41**: 433-445. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02859062#page-1>
- Sáenz, C.; H. Berger, J. Corrales-García, L. Galletti, V. García de C., I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, y M.T. Varnero, 2006. *Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162*. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISSN 1020-4334, 113 pp..
- Sanjay, P.C.; N.R. Sheth, I.S. Rathod, B.N. Suhagia, y R.B. Maradia, 2013. "Analysis of betalains from fruits of *Opuntia* species". *Phytochem Rev*, **12**(1): 35-45. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11101-012-9248-2#page-1>
- SAS, Institute, 2002. *SAS user's guide statistics*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 5136 pp.
- Shetty, A.; M.K. Rana, y S.P. Preeatham, 2012. "Cactus: a medicinal food". *J Food Sci Technol*, **49**(5): 530-536. <http://link.springer.com/article/10.1007/s13197-011-0462-5#page-1>
- SIEG, Sistema de Información Estadística y geográfica de Jalisco, 2012a. *Ojuelos de Jalisco*. <http://sieg.gob.mx/contenido/Municipios/cuadernillos/OjuelosdeJalisco.pdf>. Accesado: 10/02/2015.
- SIEG, Sistema de información Estadística y Geográfica de Jalisco, 2012b. *Lagos de*

- Moreno. <http://sieg.gob.mx/contenido/Municipios/cuadernillos/LagosdeMoreno.pdf>. Accesado: 10/02/2015.
- Stintzing, F.C.; K.M. Herbach, M.R. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C.C. Akoh, R. Bunch, y P. Felker, 2005. "Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones". *J. Agr. Food Chem.*, **53**: 442-451. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf048751y>
- Strack, D.; T. Vogt, y W. Schliemann, 2003. "Recent advances in betalain research". *Phytochemistry*, **62**: 247-269. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031942202005642>
- 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, 2011. "Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears". *Int. J. Mol. Sci.*, **12**: 6452-6468. <http://www.mdpi.com/1422-0067/12/10/6452/htm>
- Zegbe, A.J., y J. Mena-Covarrubias, 2010. "Postharvest changes in weight loss and quality of cactus pear fruit undergoing reproductive bud thinning". *J. PACD*, **12**: 1-11. http://www.jpacd.org/downloads/Vol12/1_JAZegbe%20JPACD12.pdf

Recibido: 24 abril 2015. Aceptado: 10 junio 2016.