

EVALUACIÓN DE AZÚCARES Y FIBRA SOLUBLE EN EL JUGO DE VARIANTES DE TUNAS (*Opuntia* spp.)

EVALUATION OF SUGARS AND SOLUBLE FIBER IN THE JUICE OF PRICKLY PEAR VARIETIES (*Opuntia* spp.)

Gabriela Zenteno-Ramírez¹, B. Irene Juárez-Flores^{1*}, J. Rogelio Aguirre-Rivera¹, M. Deogracias Ortiz-Pérez², Cynthia Zamora-Pedraza¹, J. Antonio Rendón-Huerta³

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair 200, Colonia Del Llano, 78377 San Luis Potosí, San Luis Potosí. (berthajf@uaslp.mx) ²Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Avenida Venustiano Carranza 2045, 78210. San Luis Potosí, San Luis Potosí. ³Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Avenida Insurgentes esquina Himno Nacional S/N, 78600. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí.

RESUMEN

La tuna (*Opuntia* spp.) puede ser blanca, púrpura, roja, anaranjada o amarilla, con diferencias físicas y químicas. El objetivo de este estudio fue identificar y cuantificar los azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y la fibra soluble (mucílago y pectina) del jugo de tunas maduras cultivadas y silvestres. Las variantes cultivadas fueron: Rojo Pelón (*O. ficus-indica*), Blanca o Cristalina (*O. albicarpa*), Amarilla Monteza, Pico Chulo, Torreaja y Sangre de Toro (*O. megacantha*); las variantes silvestres fueron: Cardona (*O. streptacantha*), Charola (*O. streptacantha* ssp. *aguirrana*), Tapona y Tapón Rojo (*O. robusta*). El diseño experimental fue completamente al azar, con tres repeticiones. Los resultados se analizaron mediante ANDEVA y comparación múltiple de media con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Hubo diferencias ($p < 0.0001$) en la concentración de azúcares totales en el jugo (109.10 a 151.33 mg mL⁻¹), la glucosa predominó (95.75 mg mL⁻¹), seguida por la fructosa (63.90 mg mL⁻¹), y la sacarosa en cantidades mínimas sólo en algunas variantes. El mucílago predominó sobre la pectina. Tapón Rojo tuvo más azúcares totales y fibra soluble que las demás. Entre las variantes hubo diferencias en su contenido de azúcares y fibras solubles. La concentración de azúcares no mostró relación directa con el grado de domesticación.

Palabras clave: *Opuntia* spp., azúcares, mucílago, pectina, alimento funcional.

ABSTRACT

Prickly pears (*Opuntia* spp.) can be white, purple, red, orange or yellow, with physical and chemical differences. The objective of this study was to identify and quantify the sugars (glucose, fructose and sucrose) and soluble fiber (mucilage and pectin) of the juice from mature cultivated and wild prickly pears. The cultivated varieties were: Rojo Pelón (*O. ficus-indica*), Blanca or Cristalina (*O. albicarpa*), Amarilla Monteza, Pico Chulo, Torreaja and Sangre de Toro (*O. megacantha*); the wild varieties were: Cardona (*O. streptacantha*), Charola (*O. streptacantha* ssp. *aguirrana*), Tapona and Tapón Rojo (*O. robusta*). The experimental design was completely randomized, with three repetitions. The results were analyzed through ANDEVA and multiple mean comparisons were carried out with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Differences ($p < 0.0001$) were found in the concentration of total sugars in the juice (109.10 to 151.33 mg mL⁻¹); glucose predominated (95.75 mg mL⁻¹), followed by fructose (63.90 mg mL⁻¹), and sucrose had minimum amounts only in some varieties. The mucilage predominated over the pectin. Tapón Rojo had more total sugars and soluble fibers than the others. Among the varieties there were differences in their content of sugars and soluble fiber. The sugar concentration did not show a direct relation to the degree of domestication.

Keywords: *Opuntia* spp., sugars, mucilage, pectin, functional food.

INTRODUCTION

The genus *Opuntia* is made up of more than 189 wild species, of which 83 are Mexican; of these, 29 are distributed in the Southern

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: octubre, 2014. Aprobado: enero, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 141-152. 2014.

INTRODUCCIÓN

El género *Opuntia* está formado por más de 189 especies silvestres, de las cuales 83 son mexicanas; de ellas, 29 se distribuyen en la Altiplanicie Meridional (centro-norte de México), en una superficie aproximada de 300 000 km², en parte de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas y el Distrito Federal (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Además de las variantes silvestres, existe una gran riqueza de variantes cultivadas de *Opuntia* con diferente grado de domesticación, desde las recolectadas o plantadas como cercos vivos y bordes de taludes de parcelas y las propias de solares, hasta las de plantaciones comerciales (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

De acuerdo con Reyes-Agüero *et al.* (2005), el gradiente de domesticación del género *Opuntia* inicia con variantes cultivadas de *O. streptacantha*, continúa con *O. hyptiacantha*, *O. megacantha* y *O. albicarpa*, y concluye con *O. ficus-indica*, la especie reconocida con el grado mayor de domesticación. Las tunas se consumen principalmente como fruta fresca y, según la variante, presentan características distintas como: forma, tamaño y color, abundancia, tamaño y dureza de sus semillas; además, las diferencias en sus componentes nutricionales están documentadas (Figuroa-Cares *et al.*, 2010; López-Palacios *et al.*, 2012; Yeddes *et al.*, 2014). Según Sawaya *et al.* (1983) la glucosa y fructuosa son los azúcares en la pulpa de la tuna de *O. ficus-indica* y su relación es 6:4.

La composición de azúcares de los frutos de otras especies y variantes de *Opuntia* se desconoce. Conocer los monosacáridos y su concentración en el jugo de tuna es de interés, ya que las concentraciones altas de fructosa en los alimentos pueden contribuir a alteraciones metabólicas que conducen a la ganancia de peso corporal, diabetes mellitus tipo 2 (DM), hiperlipidemia e hiperuricemia, reducción de la sensibilidad a la insulina y resistencia hepática con intolerancia a la glucosa (Pérez *et al.*, 2007; Basciano *et al.*, 2005; Gross *et al.*, 2004). Así, para pacientes con DM, la Asociación Europea para el Estudio de la Diabetes (EASD) y la Asociación Americana de Diabetes (ADA), recomiendan que el consumo de fructosa sea menor a 10 % de la ingesta energética. Aunque en esos pacientes el consumo de hasta 60 g de fructosa no tiene efecto adverso en la respuesta glucémica, sí pueden presentar incrementos en los niveles de

High Plateau (center-north of México), on a surface of approximately 300 000 km², in parts of the states of Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas and Distrito Federal (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). In addition to the wild varieties, there is a great wealth of cultivated *Opuntia* varieties with different degrees of domestication, ranging from those collected or planted as live fences and drop-off edges of plots and gardens to those in commercial plantations (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

According to Reyes-Agüero *et al.* (2005), the domestication gradient of the *Opuntia* genus begins with cultivated varieties of *O. streptacantha*, continues with *O. hyptiacantha*, *O. megacantha* and *O. albicarpa*, and ends with *O. ficus-indica*, the species recognized with the highest degree of domestication. Prickly pears are consumed mainly as fresh fruit and, depending on the variety, they present different characteristics such as shape, size and color, abundance, size and hardness of its seeds; in addition, differences in their nutritional components are documented (Figuroa-Cares *et al.*, 2010; López-Palacios *et al.*, 2012; Yeddes *et al.*, 2014). According to Sawaya *et al.* (1983), glucose and fructose are the sugars in the *O. ficus-indica* prickly pear pulp and their relation is 6:4.

The composition of sugars in the fruits of other species and varieties of *Opuntia* is unknown. To understand the monosaccharides and their concentration in the prickly pear juice is of interest, since the high fructose concentrations in foods can contribute to metabolic alterations that lead to weight gain, type 2 diabetes mellitus (DM), hyperlipidemia and hyperuricemia, reduction of sensitivity to insulin, and hepatic resistance with glucose intolerance (Pérez *et al.*, 2007; Basciano *et al.*, 2005; Gross *et al.*, 2004). Thus, for patients with DM, the European Association for the Study of Diabetes (EASD) and the American Diabetes Association (ADA) recommend that the consumption of fructose be less than 10 % of the energetic intake. However, in patients with consumption of up to 60 g of fructose it does not have an adverse effect on the glycemic response, and there can be increases in the levels of triglycerides and low density lipoproteins (LDL) (Havel, 2005; Laughlin, 2014).

Nopal fruits and cladodes are a source of soluble fiber (mucilage and pectin) (Maki-Díaz *et al.*, 2015),

triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Havel, 2005; Laughlin, 2014).

Los frutos y cladodios de nopal son fuente de fibra soluble (mucílago y pectina) (Maki-Díaz *et al.*, 2015), pigmentos (betalaínas y carotenoides), Ca, Mg, K, fenoles y vitamina C. Todos ellos son compuestos apreciados para una alimentación saludable, como ingredientes para diseñar alimentos nuevos por sus propiedades nutraceuticas (Valencia-Sandoval *et al.*, 2010), y como una alternativa en medicina tradicional (Gurrieri *et al.*, 2000; Sáenz, 2006; Figueroa-Cares *et al.*, 2010). La pulpa de la tuna es rica en glucosa, fructosa y pectina, la cáscara contiene celulosa, calcio y potasio, y las semillas contienen celulosa, proteínas y lípidos de buena calidad (El Kossori *et al.*, 1998). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar y cuantificar los azúcares simples, el mucílago y la pectina del jugo de tuna de 10 variantes del género *Opuntia* spp., de la Altiplanicie Meridional, bajo el supuesto de homogeneidad en composición, y fundamentar su promoción como alimento funcional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elección de las variantes y preparación de las muestras

Diez variantes de tuna, en maduración plena, se evaluaron. Seis de ellas son cultivadas: Rojo Pelón o Liso Forrajero (*Opuntia ficus-indica*), Blanca o Cristalina (*O. albicarpa*), Amarilla Monteza, Pico Chulo, Torroja y Sangre de Toro (*O. megacantha*), y cuatro son silvestres: Cardona (*O. streptacantha*), Charola (*O. streptacantha* ssp. *aguirrana*), Tapona y Tapón Rojo (*O. robusta*). Las tunas se recolectaron en el municipio de Villa de Arriaga, del altiplano del estado de San Luis Potosí, México. La elección de las variantes de *Opuntia* se basó en tres aspectos: 1) grado de domesticación, 2) abundancia y potencial económico del fruto en el estado de San Luis Potosí, y 3) colores de la tuna. En las tunas se les eliminaron las espinas (gloquidios o "ahuates") y la cáscara; el jugo se extrajo con una licuadora de acero inoxidable (Internacional LI-12-106), las semillas se separaron con un filtro convencional y el jugo se almacenó en tubos cónicos estériles de 15 mL, a -20°C hasta su uso. Otra fracción del jugo de cada variante se deshidrató en un liofilizador (Freezer dryers Ilshin). En cada muestra se determinó el color, °Brix, pH, contenido de materia seca y la proporción de jugo en la pulpa (Cuadro 1).

Cuantificación de azúcares

El contenido de glucosa, fructosa y sacarosa se cuantificó por cromatografía líquida de alta resolución (cromatógrafo Agilent

pigments (betalains and carotenoids), Ca, Mg, K, phenols and vitamin C. All of these are compounds valued for a healthy diet, as ingredients to design new foods for its nutraceutical properties (Valencia-Sandoval *et al.*, 2010), and as an alternative in traditional medicine (Gurrieri *et al.*, 2000; Sáenz, 2006; Figueroa-Cares *et al.*, 2010). The prickly pear pulp is rich in glucose, fructose and pectin; the skin has cellulose, calcium and potassium, and the seeds have cellulose, proteins and lipids of good quality (El Kossori *et al.*, 1998). Therefore, the objective of this study was to characterize and quantify the simple sugars, mucilage and pectin found in prickly pears of 10 *Opuntia* spp. varieties, from the Southern High Plateau, under the assumption of homogeneity in composition; and to support its promotion as a functional food.

MATERIALS AND METHODS

Selection of varieties and preparation of samples

Ten varieties of prickly pear, in full maturation, were evaluated. Six of them are cultivated: Rojo Pelón or Liso Forrajero (*Opuntia ficus-indica*), Blanca or Cristalina (*O. albicarpa*), Amarilla Monteza, Pico Chulo, Torroja and Sangre de Toro (*O. megacantha*), and four are wild: Cardona (*O. streptacantha*), Charola (*O. streptacantha* ssp. *aguirrana*), Tapona and Tapón Rojo (*O. robusta*). The prickly pears were collected in the municipality of Villa de Arriaga, in the high plateau of the state of San Luis Potosí, México. The selection of the *Opuntia* varieties was based on three aspects: 1) the degree of domestication, 2) the abundance and economic potential of the fruit in the state of San Luis Potosí, and 3) the prickly pear colors. The prickly pear spines (glochids or "ahuates") were eliminated, as well as the skin; the juice was extracted with a stainless steel blender (International LI-12-106); the seeds were separated with a conventional filter and the juice was stored in sterile conical tubes of 15 mL, at -20°C until its use. Another fraction of the juice from each variety was dehydrated in a freeze-dryer (Freezer dryers Ilshin). For each sample, the color, °Brix, pH, dry matter content and proportion of juice in the pulp was determined (Table 1).

Sugar quantification

The glucose, fructose and sucrose content was quantified with liquid high-resolution chromatography (chromatograph Agilent HP series 1100; Waldbronn, Alemania); in reverse phase, a non-polar column (Zorbax C8) specific for carbohydrates (4.6 mm i.d. x 250 mm x 5 μm of particle size) was used, and acetonitrile:water

Cuadro 1. Características generales del jugo de tuna.
Table 1. General characteristics of the prickly pear juice.

Especie	Variante	Color	°Brix	pH	MS (%)	Jugo en la pulpa (mL g ⁻¹)
<i>O. ficus-indica</i>	Rojo Pelón	Rojo	13.53	6.23	12.97	0.82
<i>O. albicarpa</i>	Blanca	Verde	13.83	6.33	12.87	0.74
<i>O. megacantha</i>	Amarilla Monteza	Anaranjado	13.83	6.30	12.00	0.73
	Pico Chulo	Rojo	13.43	6.33	12.52	0.69
	Torreaja	Rojo	13.83	6.10	14.93	0.69
	Sangre de Toro	Rojo	11.93	6.33	13.35	0.85
<i>O. streptacantha</i>	Cardona	Rojo	14.07	5.90	14.06	0.82
<i>O. streptacantha</i> spp. <i>aguirrana</i>	Charola	Rojo	13.17	5.77	12.78	0.86
<i>O. robusta</i>	Tapona	Rojo púrpura	13.40	5.70	12.27	0.76
	Tapón Rojo	Rojo púrpura	13.83	5.73	13.00	0.76

MS: Materia seca ♦ MS: Dry matter.

HP serie 1100; Waldbronn, Alemania); en fase reversa, se usó una columna no polar (Zorbax C8) específica para carbohidratos (4.6 mm i.d. x 250 mm x 5 µm de tamaño de partícula), y acetronitrilo: agua 75:25 (v:v) como fase móvil polar (Michel-Cuello *et al.*, 2008). La identificación y cuantificación de los azúcares se obtuvo al comparar los tiempos de retención de estándares (Sigma, St. Louis Mo). Las curvas de calibración se obtuvieron con 10, 20, 30, 40 y 50 mg mL⁻¹ de glucosa, fructosa o xilosa, y la de sacarosa con 1, 2, 4, 6, 8 y 1 mg mL⁻¹. Las muestras se pasaron a través de filtros de nylon de 0.45 µm de diámetro y se aforaron a 500 µL con una solución 50:50 de acetronitrilo:agua (Michel-Cuello *et al.*, 2008). Para la validación del método se elaboró por triplicado la curva lineal de calibración con 10, 20, 30, 40, y 50 mg mL⁻¹ de estándares de xilosa, fructosa, glucosa y sacarosa (Sigma, St. Louis Mo). La correlación entre ambos tipos de resultados fue 0.999 y el coeficiente de variación ≤ 3 %. Para verificar la recuperación se usó xilosa, con resultado mayor a 95 %.

Las muestras de jugo se descongelaron y homogeneizaron; a 500 µL del jugo se adicionaron 500 µL de xilosa al 4 % (mezcla al 50 %), se filtraron a través de una membrana de nylon de 0.45 µm, y se inyectaron 20 µL al cromatógrafo.

Cuantificación de mucílago

La extracción de mucílago se basó en el protocolo de Peña y Sánchez (2006) y usado por Álvarez y Peña-Valdivia (2009) y por López-Palacios *et al.* (2012), con algunas modificaciones para validar su extracción y cuantificación en el jugo de tuna. Los valores de la validación se aceptaron al obtener un coeficiente de variación(CV) de 2.61 % y una precisión y exactitud de ≤ 3.0 % del CV.

75:25 (v:v) as polar mobile phase (Michel-Cuello *et al.*, 2008). The identification and quantification of the sugars was obtained through comparison of the standard retention times (Sigma, St. Louis Mo). The calibration curves were obtained with 10, 20, 30, 40 and 50 mg mL⁻¹ of glucose, fructose or xylose, and of the sucrose with 1, 2, 4, 6, 8 and 1 mg mL⁻¹. The samples were put through nylon filters of 0.45 µm diameter and gauged to 500 µL with a 50:50 solution of acetronitrile:water (Michel-Cuello *et al.*, 2008). For the validation of the method the linear calibration curve was elaborated in triplicate, with 10, 20, 30, 40, and 50 mg mL⁻¹ of the xylose, fructose, glucose and sucrose standards (Sigma, St. Louis Mo). The correlation between both types of results was 0.999 and the variation coefficient ≤ 3 %. In order to verify the recovery, xylose was used, with a result greater than 95 %.

The juice samples were thawed and homogenized; 500 µL of xylose at 4 % were added to the juice (mix at 50 %), they were filtered through a nylon membrane of 0.45 µm, and 20 µL were injected into the chromatographer.

Mucilage quantification

Mucilage extraction was based on the protocol by Peña and Sánchez (2006) and used by Álvarez and Peña-Valdivia (2009), and by López-Palacios *et al.* (2012), with some modifications to validate its extraction and quantification from prickly pear juice. The validation values were accepted when a coefficient of variation (CV) of 2.61 % was obtained, and a precision and exactness of ≤ 3.0 % of the CV.

The extraction and quantification of mucilage was done from freeze-dried samples of the juices. Distilled water (5 mL)

La extracción y cuantificación de mucílago se hizo en muestras liofilizadas de los jugos. A 0.5 g se agregaron 5 mL de agua destilada, se calentaron 15 min en baño María a 92 °C y se centrifugaron 30 min a 4500 rpm a 25 °C; el sobrenadante se reunió con el obtenido de una segunda extracción con 2.5 mL de agua caliente. Por cada parte de extracto precipitado se adicionaron cuatro partes de etanol acidificado con HCl al 0.1 % y pH de 4.8, reposaron 24 h en refrigeración a 8 °C, se centrifugaron a 4500 rpm por 15 min a 25 °C, y se eliminó el sobrenadante. Para eliminar los residuos de etanol las muestras se deshidrataron 6.5 h en un horno de convección a 85 °C ± 2 °C hasta peso constante y el residuo se cuantificó como porcentaje de mucílago por gramo de materia seca (P), con la fórmula:

$$P = \frac{M_1 - M_0}{M} \times 100$$

donde P: porcentaje de mucílago por gramo de materia seca; M_0 : peso en gramos del tubo vacío; M_1 : peso en gramos del tubo con liofilizado; M: peso en gramos de la muestra de jugo liofilizado de tuna.

Cuantificación de pectina

La extracción y cuantificación de pectina se basó en la técnica gravimétrica descrita en la norma mexicana respectiva (DGN, 1980), con modificaciones y previa validación del método. Para establecer el porcentaje de recuperación se añadieron a cada muestra 250 mg de pectina de manzana (Sigma, St. Louis Mo). El CV fue 1.1 % y la recuperación 83 %.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental fue una muestra de jugo de cada una de las 10 variantes evaluadas (10 tratamientos), y las variables fueron los contenidos de glucosa, fructosa, sacarosa y la suma de ellos considerada como azúcares totales, más los de mucílago y pectina. Los resultados se analizaron mediante ANDEVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), usando SAS V.9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de azúcares

El azúcar predominante en todas las variantes fue la glucosa. La sacarosa estuvo presente sólo en algunas variantes y en cantidades mínimas. Las variantes con contenido mayor de fructosa fueron Blanca (cultivada) y Tapón Rojo (silvestre), y Rojo Pelón tuvo el contenido menor (Cuadro 2).

was added to 0.5 g, warmed in hot water at 92 °C for 15 min and centrifuged 30 min at 4500 rpm at 25 °C; the supernatant was gathered with the one obtained from a second extraction with 2.5 mL of hot water. For each part of extract precipitated, four parts of ethanol acidified with HCl at 0.1 % and a pH of 4.8 were added; they were left in refrigeration at 8 °C for 24 h, centrifuged at 4500 rpm for 15 min at 25 °C, and the supernatant was eliminated. In order to eliminate the ethanol residues, the samples were dehydrated in a convection oven at 85 °C ± 2 °C for 6.5 h, until constant weight, and the residue was quantified as percentage of mucilage per gram of dry matter (P), based on the formula:

$$P = \frac{M_1 - M_0}{M} \times 100$$

where P: percentage of mucilage per gram of dry matter; M_0 : weight in grams from the empty tube; M_1 : weight in grams from the tube with freeze-dried sample; M: weight in grams from the sample of freeze-dried prickly pear juice.

Quantification of pectin

The extraction and quantification of pectin was based on the gravimetric technique described in the corresponding Mexican norm (DGN, 1980), with some modifications and prior validation of the method. In order to establish the percentage of recovery, 250 mg of apple pectin were added to each sample (Sigma, St. Louis Mo). The CV was 1.1 % and the recuperation 83 %.

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized, with three repetitions. The experimental unit was a sample of juice from each one of the 10 varieties evaluated (10 treatments), and the variables were glucose, fructose, sucrose contents, and their sum, considered as total sugars, and also mucilage and pectin contents. The results were analyzed through ANDEVA and Tukey test ($p \leq 0.05$), using SAS V.9.

RESULTS AND DISCUSSION

Sugar quantification

The predominating sugar in all the varieties was glucose. Sucrose was present only in some varieties and in minimal amounts. The varieties with highest fructose content were Blanca (cultivated) and Tapón Rojo (wild), and Rojo Pelón showed the lowest content (Table 2).

Las diferencias en la concentración de sacarosa pueden deberse al nivel de maduración de los frutos. La concentración de azúcares no se relacionó directamente con el grado de domesticación, pues las tunas con concentración mayor de azúcares totales fueron una cultivada (Blanca) y una silvestre (Tapón Rojo) y aquellas con la cantidad menor fueron Rojo Pelón, con grado mayor de domesticación y una de las de consumo mayor, y Tapona (silvestre), menos domesticada y poco consumida.

Los estudios de Kuti y Galloway (1994) con frutos amarillos, rojos y púrpuras de *O. megacantha* y *O. robusta*, El Kossori *et al.* (1998) con *O. ficus-indica* y Gurrieri *et al.* (2000) también con *O. ficus-indica*, provenientes de Sicilia, Italia, mostraron que las tunas de esas especies contienen glucosa, fructosa y sacarosa en proporción menor, y la concentración de ellos depende de la variante, lo cual coincide con los resultados de la presente investigación. El contenido de azúcares totales de los frutos de *O. albicarpa* (Blanca) fue estadísticamente similar a los de *O. robusta* y *O. streptacantha* (Cuadro 2).

El tamaño de la porción a consumir podría seleccionarse con base en la cantidad de azúcar recomendada

The differences in sucrose concentration can be due to the level of maturation of the fruits. The sugar concentration was not directly related with the degree of domestication, since the prickly pears with highest concentration of total sugars were a cultivated one (Blanca) and a wild one (Tapón Rojo), and those with lowest quantity were Rojo Pelón, with a higher degree of domestication and of highest consumption, and Tapona (wild), less domesticated and seldom consumed.

The studies by Kuti and Galloway (1994) with yellow, red and purple fruits of *O. megacantha* and *O. robusta*, El Kossori *et al.* (1998) with *O. ficus-indica*, and Gurrieri *et al.* (2000) also with *O. ficus-indica* from Sicily, Italy, showed that prickly pears of this species have glucose, fructose and sucrose in lower proportions, and their concentration depends on the variety, which coincides with the results of our research. The total sugar content of the *O. albicarpa* fruits (Blanca) was statistically similar to those of *O. robusta* and *O. streptacantha* (Table 2).

The size of the portion to be consumed could be selected on the basis of the amount of sugar recommended for the consumer. In this regard, the

Cuadro 2. Contenido de azúcares (%)⁴ en el jugo de tunas de *Opuntia* spp.
Table 2. Content of sugars (%)⁴ in *Opuntia* spp. prickly pear juice.

Especie	Variante	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Azúcares totales
<i>O. ficus-indica</i>	Rojo Pelón	8.00 cde	3.62 d	0.02 bc	11.64 de
<i>O. albicarpa</i>	Blanca	8.14 cd	6.39 a	0.01 bc	14.55 a
<i>O. megacantha</i>	Amarilla Monteza	6.84 h	5.06 b	0.00 c	11.91 d
	Pico Chulo	7.41 fg	4.46 c	0.00 c	11.88 d
	Torreja	8.46 bc	4.98 b	0.033 ab	13.46 b
	Sangre de Toro	7.51 efg	5.19 b	0.00 c	12.71 c
<i>O. streptacantha</i>	Cardona	9.57 a	5.11 b	0.033 ab	14.72 a
<i>O. streptacantha</i> spp. <i>aguirrana</i>	Charola	7.92 def	4.87 b	0.00 c	12.81 bc
<i>O. robusta</i>	Tapona	7.23 gh	3.64 d	0.03 ab	10.91 e
	Tapón Rojo	8.77 b	6.30 a	0.05 a	15.13 a
Promedio general		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
(%)		7.98 (6.15)	4.96 (3.82)	0.019 (0.015)	12.97 (10.00)

Las especies están ordenadas de mayor a menor grado de domesticación. Media n=3. Tratamientos con distinta letra en una columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). ⁴Estas cantidades multiplicadas por 10 equivalen a mg mL⁻¹. ♦ The species are ordered from highest to lowest degree of domestication. Mean n=3. Treatments with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). ⁴These amounts multiplied by 10 are equivalent to mg mL⁻¹.

para el consumidor. Al respecto, el consumo de azúcares debe aportar menos de 10 % del valor calórico de la dieta (Gómez y Palma, 2013). La concentración media de glucosa en el jugo de los frutos de este estudio, permite indicar que 240 mL contienen 10 % de la glucosa recomendada para consumo diario (200 g).

Las variantes cultivadas y silvestres contenían fructosa en cantidades menores a 64 mg mL^{-1} de jugo, y con diferencias significativas entre las variantes (Cuadro 2). El acceso de la fructosa a la célula es directo, en contraste con la glucosa, requiere un transportador. En promedio, una porción de 240 mL de jugo de tuna aporta 12 g de fructosa, equivalentes a 202.8 kJ (48 kcal), que es menor al recomendado para una dieta de 2500 kcal (10460 kJ); de éstas 11 a 12 % (275-300 kcal), 1151.37 kJ a 1256.04 kJ, puede provenir de este azúcar (FAO, 2009). Así, cuatro porciones de jugo de tuna equivaldría a 48 g de fructosa u 803 kJ (192 kcal) o a 7.68 % de la energía diaria recomendada. Esto es importante ya que el consumo de fructosa en cantidades que aporten 25 % o más de la energía recomendada puede ocasionar desórdenes en el metabolismo de los lípidos y en la función gastrointestinal (Basciano *et al.*, 2005; Havel, 2005). Basciano *et al.* (2005) indicaron que una persona puede consumir por día 16 a 20 g de fructosa proveniente de frutas frescas, sin efectos indeseables.

El consumo de cantidades pequeñas o moderadas de fructosa (0.6 g kg^{-1}) parece no impactar el control glucémico del paciente con DM tipo 2 (Gannon *et al.*, 1998; Hawkins *et al.*, 2002; Basciano *et al.*, 2005). En efecto, personas con DM tipo 2 que recibieron 60 g d^{-1} de fructosa, por 12 semanas, no presentaron en ayuno cambios en los niveles de triglicéridos totales, LDL, colesterol o lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Havel, 2005). Así, es posible suponer, con base en la concentración de fructosa encontrada en las variantes de tuna estudiadas, que el consumo de hasta cuatro porciones de 240 mL de jugo de tuna no causará alteraciones indeseables en el metabolismo energético, incluso el de las variantes Blanca y Tapón Rojo, que presentaron mayor cantidad de fructuosa.

En el jugo de tuna la sacarosa estuvo en concentración menor o ausente en algunas variantes (Cuadro 2). Al respecto, durante la maduración el etileno estimula la producción de hidrolasas, como la invertasa, que fragmentan este disacárido (Kuti y Galloway, 1994; Gurrieri *et al.*, 2000; Prasanna *et al.*, 2007).

sugar consumption should contribute less than 10 % of the caloric value of the diet (Gómez and Palma, 2013). The average concentration of glucose in the juice of fruits in this study allows stating that 240 mL contain 10 % of the glucose recommended for daily consumption (200 g).

The cultivated and wild varieties had fructose in lower amounts than 64 mg mL^{-1} of juice, and with significant differences between varieties (Table 2). The access to fructose in the cell is direct, in contrast with glucose, which requires a transport. In average, one portion of 240 mL of prickly pear juice contributes 12 g of fructose, equivalent to 202.8 kJ (48 kcal), which is lower than that recommended for a 2500 kcal diet (10460 kJ), of which 11 to 12 % (275-300 kcal), 1151.37 kJ to 1256.04 kJ, could come from this sugar (FAO, 2009). Thus, four portions of prickly pear would be equivalent to 48 g of fructose or 803 kJ (192 kcal) or 7.68 % of the daily energy recommended. This is important because the consumption of fructose in amounts that contribute 25 % or more of the energy recommended could cause disorders in the metabolism of lipids and in the gastrointestinal function (Basciano *et al.*, 2005; Havel, 2005). Basciano *et al.* (2005) indicated that a person can consume 16 to 20 g per day of fructose from dry fruits, without undesirable effects.

The consumption in small or moderate amounts of fructose (0.6 g kg^{-1}) seems to not have an impact on the glycemic control of the patient with type 2 DM (Gannon *et al.*, 1998; Hawkins *et al.*, 2002; Basciano *et al.*, 2005). In fact, persons with type 2 DM, who received 60 g d^{-1} of fructose for 12 weeks, did not present changes, while fasting, in total triglyceride, LDL, cholesterol or high-density lipoproteins (HDL) levels (Havel, 2005). Thus, it can be assumed, based on the concentration of fructose found in the prickly pear varieties studied, that the consumption of up to four portions of 240 mL of prickly pear juice would not cause undesirable alterations in the energetic metabolism, even from varieties Blanca and Tapón Rojo, which presented a higher amount of fructose.

In prickly pear juice, sucrose was found in a lower concentration or absent in some varieties (Table 2). In this regard, during maturation ethylene stimulates the production of hydrolases, such as sucrase, which fragment this disaccharide (Kuti and Galloway, 1994; Gurrieri *et al.*, 2000; Prasanna *et al.*, 2007).

Glucose in prickly pears represents energy that is directly available for brain cells and nerves, fructose

La glucosa en las tunas representa energía directamente disponible para las células del cerebro y de los nervios, y la fructosa destaca por ser más dulce y mejorar el sabor de la fruta (Sarbojeet, 2012). El contenido de azúcares solubles variados de la tuna se ajusta a lo recomendado por la WHO (2003), y puede incluirse en la alimentación cotidiana sin efectos negativos en el consumidor, y en concordancia con lo reconocido para el consumo tradicional de tuna fresca.

Los resultados de este estudio (Cuadro 2) concuerdan con los antecedentes (Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda y Sáenz, 1990; Odoux y Dominguez-Lopez, 1996) para las variantes estudiadas. El consumo del jugo de tuna debería fomentarse (El Kossori *et al.*, 1998) ya que su contenido total de azúcares (12.97 %) es similar o mayor que el de otras frutas: piña (12.30 %), manzana (11.10 %), pera (9.80 %), melocotón (8.50 %), ciruela (7.80 %), naranja (7.00 %), albaricoque (6.10 %), fresa (5.70 %) y frambuesa (4.50 %) (Cappelli y Vannucchi, 1990; Belitz y Grosch, 1999).

Fibra soluble

El jugo de tuna se caracterizó por su contenido de fibra soluble estadísticamente diferente entre las variantes, y por el predominio del mucílago en todas ellas (Cuadro 3). Este tipo de fibra tiende a formar un retículo en presencia de agua, en el cual queda atrapada, y produce soluciones con gran viscosidad (Dikeman y Fahey, 2006). La ADA recomienda un consumo de fibra soluble e insoluble, de 20 a 35 g d⁻¹, para mantener control glucémico e insulínico (Escudero y González, 2006). Con base en el promedio de la concentración de fibra soluble, el consumo de cuatro porciones diarias de 240 mL de jugo de tuna aporta 10 g de fibra, lo que puede favorecer la función intestinal, reducir la absorción de carbohidratos y mejorar su metabolismo (Würsch y Pi-Sunyer, 1997).

Con base en el análisis estadístico, puede afirmarse que el grado de domesticación carece de relación directa con la concentración de fibra soluble. Sin embargo, las variantes de la misma especie silvestre tuvieron concentración similar de mucílago y pectina, contrario a lo observado entre variantes cultivadas (Cuadro 3).

El contenido de mucílago entre variantes presentó diferencias significativas, de 4.1 a 8.4 g por cada 100 g

stands out for being sweeter and improving the flavor of the fruit (Sarbojeet, 2012). The diverse soluble sugars' content in prickly pear adjusts to that recommended by the WHO (2003), and it can be included in the daily diet without negative effects to the consumer, and in accordance to what is recognized for the traditional consumption of fresh prickly pear.

This study's results (Table 2) agree with the antecedents (Sawaya *et al.*, 1983; Sepúlveda and Sáenz, 1990; Odoux and Dominguez-Lopez, 1996) for the varieties studied. The consumption of prickly pear juice should be fostered (El Kossori *et al.*, 1998), since its total sugar content (12.97 %) is similar or higher than other fruits: pineapple (12.30 %), apple (11.10 %), pear (9.80 %), peach (8.50 %), plum (7.80 %), orange (7.00 %), apricot (6.10 %), strawberry (5.70 %) and raspberry (4.50 %) (Cappelli and Vannucchi, 1990; Belitz and Grosch, 1999).

Soluble fiber

The prickly pear juice was characterized for its statistically different content of soluble fiber among varieties, and for the predominance of mucilage in all of them (Table 3). This type of fiber tends to form a reticle in the presence of water, in which it is trapped, and produces solutions with high viscosity (Dikeman and Fahey, 2006). The ADA recommends a consumption of soluble and insoluble fiber of between 20 and 35 g d⁻¹, in order to maintain glycemic and insulin control (Escudero and González, 2006). Based on the average of concentration of soluble fiber, the consumption of four daily portions of 240 mL of prickly pear juice contributes 10 g of fiber, which can favor intestinal function, reduce carbohydrate absorption and improve metabolism (Würsch and Pi-Sunyer, 1997).

Based on the statistical analysis, it can be affirmed that the degree of domestication does not have a direct relation with the concentration of soluble fiber. However, the varieties of the same wild species had a similar concentration of mucilage and pectin, contrary to what was observed between cultivated varieties (Table 3).

The mucilage content presented significant differences between varieties, from 4.1 to 8.4 g per 100 g of dry biomass, although without an identifiable trend with regard to the degree of

de biomasa seca, pero sin una tendencia identificable respecto al grado de domesticación. Las variantes Blanca (cultivada) y Cardona (silvestre) presentaron valores similares de mucílago y la variante silvestre Charola tuvo la concentración mayor, equivalente al doble que Rojo Pelón de *O. ficus-indica*.

Las variantes silvestres Charola y Cardona son las usadas tradicionalmente para elaborar el “queso de tuna” (dulce compacto hecho con el jugo de tuna concentrado), y su elaboración se favorecería con el contenido elevado de fibra soluble (López *et al.*, 1997). Las variantes Amarilla Monteza y Rojo Pelón presentaron los contenidos menores de mucílago, lo cual estaría inversamente relacionado con la selección para su consumo frescas, como fruta succulenta y de gran tamaño, a diferencia de los frutos pequeños y con gran cantidad de semillas característicos de las variantes silvestres de *O. streptacantha* (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

La concentración de pectina, parte de la fibra soluble y necesaria para el funcionamiento adecuado del intestino humano, varió de 0.87 a 2.79 g por cada 100 g de peso seco, y ambos valores correspondieron

domestication. The Blanca (cultivated) and Cardona (wild) varieties presented similar values of mucilage and the wild Charola variety showed the highest concentration, equivalent to double the amount in the *O. ficus-indica* Rojo Pelón variety.

The wild varieties Charola and Cardona are the ones traditionally used to elaborate the “prickly pear cheese” (compact sweet made with the concentrated juice of prickly pears), and its production is favored by the high content of soluble fiber (López *et al.*, 1997). The varieties Amarilla Monteza and Rojo Pelón presented the lowest contents of mucilage, which can be inversely related to their selection for consumption fresh, as succulent fruits of large size, in contrast with the small fruits with a high amount of seeds characteristic of the wild varieties of *O. streptacantha* (Reyes-Agüero *et al.*, 2005).

The pectin concentration, part of the soluble fiber and necessary for the adequate functioning of the human intestine, varied from 0.87 to 2.79 g per 100 g of dry weight, and both values correspond to varieties of *O. megacantha*. In the wild varieties the pectin content was statistically similar, with a lower variability

Cuadro 3. Contenido medio de fibra soluble (g por 100g de peso seco) en el jugo de tunas de *Opuntia* spp.
Table 3. Average soluble fiber content (g per 100 g of dry weight) in the *Opuntia* spp. prickly pear juice.

Especie	Variante	Mucílago	Pectina	Fibra soluble total
<i>O. ficus-indica</i>	Rojo Pelón	4.16 e	2.18 ab	6.34 f
<i>O. albicarpa</i>	Blanca	7.50 b	1.69 b	9.19 bc
<i>O. megacantha</i>	Amarilla Monteza	4.48 de	1.98 b	6.46 ef
	Pico Chulo	6.81 bc	1.69 b	8.50 c
	Torreaja	7.05 bc	2.79 a	9.84 ab
	Sangre de Toro	6.43 c	0.87 c	7.30 d
<i>O. streptacantha</i>	Cardona	7.40 b	1.72 b	9.12 c
<i>O. streptacantha</i> ssp. <i>aguirrana</i>	Charola	8.47 a	1.57 b	10.04 a
<i>O. robusta</i>	Tapona	5.33 d	1.76 b	7.09 de
	Tapón Rojo	5.36 d	1.59 b	6.95 de
Valor de P		<0.0001	<0.0001	<0.0001
Promedio general		6.30	1.78	8.01
(%)		(78.65)	(22.22)	(100.87)

Las especies están ordenadas de mayor a menor grado de domesticación. Media n=3. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ The species are ordered from highest to lowest degree of domestication. Mean n=3. Means with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

La variante con grado mayor de domesticación (Rojo Pelón) presentó el contenido menor de fibra soluble, y la silvestre Charola el más alto; pero la variación general careció de tendencias identificables ♦ The variety with highest degree of domestication (Rojo Pelón) presented the lowest content of soluble fiber, and the wild Charola the highest; however, the general variation lacked identifiable trends.

a variantes de *O. megacantha*. En las variantes silvestres el contenido de pectina fue estadísticamente similar, con variabilidad menor que en las cultivadas. En frutos de *O. albicarpa* la concentración de pectina es 5 a 20 g por kg de biomasa seca (Lira-Ortiz *et al.*, 2014), lo cual coincide con el resultado de la presente investigación en la misma especie.

El contenido alto de mucílago en las frutas es apreciado por los nutriólogos ya que este integrante de la fibra soluble ayuda a reducir los niveles de glucosa y de triglicéridos en la sangre, porque interfiere su digestión y absorción. Además, la fibra soluble favorece el desarrollo en el colon de bacterias deseables, que la fermentan y producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Estos ácidos son la fuente energética esencial para las células del colon y favorecen la absorción de calcio, magnesio, zinc, sodio y agua (Roberfroid, 2000; Duggan *et al.*, 2002). Por estos efectos la fibra soluble es útil para prevenir y tratar las enfermedades del colon (Galas *et al.*, 2013). También, la fibra soluble tiene un efecto hipocolesterolemiante debido a su viscosidad, ya que dificulta la absorción del colesterol; a la vez, el hígado capta algunos AGCC, como el propionato, después de ser absorbidos, son generados por la fermentación de la fibra, y disminuyen las enzimas que catalizan la síntesis del colesterol (Slavin, 2013). La viscosidad de la fibra soluble contribuye a los efectos benéficos sobre el metabolismo de los lípidos y carbohidratos, y parcialmente a su potencial anticancerígeno (Escudero y González, 2006).

El-Sayed *et al.* (2014) concluyeron que el potencial alimentario de la tuna es alto, pues además de su contenido elevado de fibra y polifenoles, contiene proporciones adecuadas de azúcares simples, por lo cual puede sugerirse como alimento funcional. Además, hay evidencias de que su consumo reduce los niveles de azúcar y colesterol en la sangre (Stintzing *et al.*, 2001).

Las características principales de la tuna que limitan su consumo como fruta de mesa en mercados foráneos son los gloquideos (espinas finas), remanentes de una limpieza limitada por el riesgo de dañar la cáscara, así como la presencia abundante de semillas que dificultan su consumo. Con procesos industriales relativamente simples es posible transformar la tuna en jugo natural envasado, que supera esas limitaciones, y puede ser comercialmente competitivo por sus cualidades nutricionales y funcionales.

than in the cultivated ones. Pectin concentrations is 5 to 20 g per kg of dry biomass in *O. albicarpa* fruits (Lira-Ortiz *et al.*, 2014), which coincide with those found in this study for the same species.

The high mucilage content in the fruits is appreciated by nutritionists since this component of the soluble fiber helps to reduce the levels of glucose and triglycerides in blood, because it interferes on their digestion and absorption. Also, the soluble fiber favors the development of desirable bacteria in the colon, which ferment it and produce short chain fatty acids (SCFA). These acids are the essential energy source for cells in the colon and favor the absorption of calcium, magnesium, zinc, sodium and water (Roberfroid, 2000; Duggan *et al.*, 2002). Because of these effects, the soluble fiber is useful to prevent and treat colon diseases (Galas *et al.*, 2013). Also, soluble fiber shows a cholesterol-lowering effect due to its viscosity, since it makes the absorption of cholesterol difficult; in turn, the liver captures some SCFAs after they are absorbed, such as propionate, which are generated from fermentation of the fiber, and decrease the enzymes that catalyze cholesterol synthesis (Slavin, 2013). The viscosity of soluble fiber contributes to its beneficial effects on the metabolism of lipids and carbohydrates and, partially, to its anti-cancer potential (Escudero and González, 2006).

El-Sayed *et al.* (2014) concluded that the dietary potential of prickly pear is high, because in addition to its high content of fiber and polyphenols, it contains adequate proportions of simple sugars, so it can be suggested as a functional food. Also, there is evidence that its consumption reduces the levels of sugar and cholesterol in blood (Stintzing *et al.*, 2001).

The main characteristics of prickly pear that limit its consumption as table fruit in foreign markets, are the glochids (fine spines) that remain after cleaning, since this is limited by the risk of damaging the skin, as well as the abundant presence of seeds that make its consumption difficult. With rather simple industrial processes, it is possible to transform prickly pears into natural bottled juice, overcoming these limitations, and become commercially competitive because of its nutritional and functional qualities.

CONCLUSIONS

There is variability in the content of sugars and soluble fiber among the varieties studied, which can

CONCLUSIONES

Hay variabilidad en el contenido de azúcares y fibra soluble entre las variantes estudiadas, que puede ser la base para el diseño de distintos productos que multipliquen el potencial de comercialización del jugo. La concentración de azúcares en las variantes no se relaciona directamente con su grado de domesticación. Al respecto, las diferencias mayores en las variantes cultivadas podrían deberse a la preferencia humana por su sabor o dulzura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce, por el financiamiento otorgado para esta investigación. Al Ing. Roberto Garfías Cánovas, presidente del Sistema Producto Nopal de San Luis Potosí, por promover y respaldar este proyecto y por suministrar toda la materia prima (tunas) requerida. Al CONACyT por las becas otorgadas a G. Zenteno y M. Monrreal. A Ma. del Socorro Jasso Espino, Josefina Acosta y David Isabel Ortiz Mendoza por el apoyo brindado en el laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Álvarez A., R. and C. B. Peña-Valdivia. 2009. Structural polysaccharides in xocostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 11: 26-44.
- Basciano, H., L. Federico, and K. Adeli. 2005. Fructose, insulin resistance, and metabolic dyslipidemia. *Nutr. Metab.* 2: 1-15.
- Belitz, H. D., and W. Grosch. 1999. *Food Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 921 p.
- Cappelli, P., and V. Vannucchi. 1990. *Chimica degli Alimenti: Conservazione e Trasformazioni*. Zanichelli. Bologna, Italy. 750 p.
- Dikeman, C. L. and G. C. Fahey. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 46: 649-63.
- Duggan, C., J. Gannon, and W. A. Walter. 2002. Protective nutrients and functional foods for the gastrointestinal tract. *Am. J. Clin. Nutr.* 75: 789-808.
- El Kossori, R. L., C. Villaume, E. El Boustani, Y. Sauvaire, and L. Méjean. 1998. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica*). *Plant Foods Hum. Nutr.* 52: 263-270.
- El-Sayed, S. A. H., M. A. Nagaty, M. S. Salman, and 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.
- Escudero, A. E., y P. González S. 2006. La fibra dietética. *Nutr. Hosp.* 21(Sup 2): 61-72.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2009. Hojas de balance alimentario.

be the basis for the design of different products that multiply the potential for commercialization of the juice. The sugar concentration of the varieties is not directly related to its degree of domestication. In this regard, the greatest differences in the varieties cultivated could be due to the human preference for its taste or sweetness.

—End of the English version—



<http://faostat.fao.org/site/368/default.aspx#ancor>. (Consulta: Agosto, 2014).

- Figueroa-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.
- Galas, A., M. Augustyniak, and E. Sochacka-Tatara. 2013. Does dietary calcium interact with dietary fiber against colorectal cancer? A case-control study in Central Europe. *Nutr. J.* 12: 134.
- Gannon, M. C., F. Q. Nutall, S. A. Westphal, S. Fan, and N. Ercan-Fang. 1998. Metabolic response to carbohydrate, high-starch meals compared with moderate carbohydrate low-starch meals in subjects with type 2 diabetes. *Diabetes Care.* 21: 1619-1626.
- Gómez, C. C., y S. Palma S. 2013. Una visión global, actualizada y crítica del papel del azúcar en nuestra alimentación. *Nutr. Hosp.* 28: 1-4.
- Gross, L. S., L. Li., E. S. Ford, and S. Liu. 2004. Increased consumption of refined carbohydrate and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment. *Am. J. Clin. Nutr.* 19: 774-779.
- Gurrieri, S., L. Miceli, C. M. Lanza, F. Tomaselli, R. P. 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.
- Havel, P. 2005. Dietary fructose: implications for dysregulation of energy homeostasis and lipid/carbohydrate metabolism. *Nutr. Rev.* 63: 133-157.
- Hawkins, M., I. Gabriely, R. Wozniak, C. Vilcu, H. Shamon, and L. Rossetti. 2002. Fructose improves the ability of hyperglycemia per se to regulate glucose production in type 2 diabetes. *Diabetes* 51: 606-614.
- Kuti, J. O., and C. M. Galloway. 1994. Sugar composition and invertase activity in prickly pear fruit. *J. Food Sci.* 59: 387-388.
- Laughlin, M. R. 2014. Normal roles for dietary fructose in carbohydrate metabolism. *Nutrients* 6: 3117-3129.
- Lira-Ortiz, A. L., F. Reséndiz-Vega, E. Ríos-Leal, J. C. Contreras-Esquivel, N. Chavarría-Hernández, Vargas-Torres, and A. I. Rodríguez-Hernández, 2014. Pectins from waste of prickly

- pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna'): chemical and rheological properties. *Food Hydrocolloid*. 37: 93-99.
- López, G., J. J., J. M. Fuentes, R., and A. Rodríguez, G. 1997. Prickly pear fruit industrialization (*Opuntia streptacantha*). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 2: 169-175.
- López-Palacios, C., C. B. Peña-Valdivia, J.A. Reyes-Agüero, and A.I. Rodríguez-Hernández. 2012. Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Genet. Resour. Crop. Evol.* 59: 1015-1026.
- Maki-Díaz, G., C. B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, M. L. Arévalo-Galarza, G. Calderón-Zavala, y S. Anaya-Rosales. 2015. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia* 49: 31-51.
- Michel-Cuello, C., B. I. Juárez-Flores, J. R. Aguirre-Rivera, and J. M. Pinos-Rodríguez. 2008. Quantitative characterization of non-structural carbohydrates of mezcal agave (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dick). *J. Agric. Food Chem.* 56: 5753-5757.
- NOM. 1980. NMX-F-347-S-1980 Frutas y derivados. Determinación de pectina. Fruits and derivatives. Determination of pectin. Dirección general de normas, Secretaría de Economía. México. 3 p.
- Odoux, E., and A. Dominguez-Lopez. 1996. Le figuier de barbarie: une source industrielle de bêtaïnes? *Fruits* 51: 61-78.
- Peña-Valdivia, C. B., and A. B. Sánchez-Urdaneta. 2006. Nopalito and cactus pear (*Opuntia* spp.) polysaccharides: mucilage and pectin. *Acta Hort.* 728: 241-248.
- Pérez, C. E., A. E. Serralde Z., y G. Meléndez M. 2007. Efectos benéficos y deletéreos del consumo de fructosa. *Rev. Endocrinol. Nutr.* 15: 67-74.
- Prasanna, V., T. N. Prabha, and R. N. Tharanathan. 2007. Fruit ripening phenomena-an overview. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47: 1-19.
- Reyes-Agüero, J. A., J. R. Aguirre R., y J. L. Flores, F. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la Altiplanicie Meridional de México. *Interciencia* 30: 476-484.
- Roberfroid, M. B. 2000. Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 1660S.
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas Núm. 162. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 165 p.
- Sarbojeet, J. 2012. Nutraceutical and functional properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) and its utilization for food applications. *J. Eng. Res. Stud.* 3: 60-66.
- Sawaya, W. N., H. A. Khatchadourian, W. M. Safi, and H. M. Al-Muhammad. 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica* and the manufacturing of prickly pear jam. *J. Food Tech.* 18: 183-193.
- Sepúlveda, E., and C. Sáenz, C. 1990. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. *Rev. Agroquim. Technol.* 30: 551-555.
- Slavin, J. 2013. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients* 5: 1417-1435.
- Stintzing, F. C., A. Schieber, and R. Carle. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res. Technol.* 212: 396-407.
- Valencia-Sandoval, K., J. de J. Brambila-Paz, y J. S. Mora-Flores. 2010. Evaluación del nopal verdura como alimento funcional mediante opciones reales. *Agrociencia* 44: 955-963.
- WHO. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Technical Report Series 916. World Health Organization, United Nations. Geneva, Switzerland. 160 p.
- Würsch, P. and F. X. Pi-Sunyer. 1997. The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. A review with special emphasis on cereals rich in beta-glucan. *Diabetes Care.* 20: 1774-1780.
- Yeddes, N., J. K. Chérif, S. Guyot, A. Baron, and M. Trabelsi-Ayadi. 2014. Phenolic profile of Tunisian *Opuntia ficus indica* thornless form flowers via chromatographic and spectral analysis by reversed phase-high performance liquid chromatography-UV-photodiode array and electrospray ionization-mass spectrometer. *Int. J. Food Prop.* 17: 741-751.