

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y NUTRICIONAL DE FRUTOS DE YUCA (*Yucca mixtecana*)

PHYSICAL AND NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF YUCCA FRUITS (*Yucca mixtecana*)

L. Gerardo **Barriada-Bernal**^{1*}, L. Victoria **Aquino-González**², L. Leticia **Méndez-Lagunas**²,
Juan **Rodríguez-Ramírez**², Sadoth **Sandoval-Torres**²

¹ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Hornos 1003 Colonia Noche Buena; 71230. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. (lbarriadab@ipn.mx). ² Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca. Departamento de posgrado e investigación. Hornos 1003 Colonia Noche Buena; 71230; Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

RESUMEN

Los frutos de algunas especies de yucas se consumen como complemento dietario en las zonas áridas y semiáridas de México, pero la información nutrimental se desconoce, por lo cual es difícil saber su aporte nutricional. *Yucca mixtecana* se distribuye en el estado de Oaxaca, México, y los frutos, al igual que el resto de la planta, no se aprovechan. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades nutritivas de frutos maduros de *Y. mixtecana* mediante un análisis estadístico descriptivo. Las variables en frutos maduros de *Y. mixtecana* fueron: 1) la composición química parcial (proteína cruda, método AOAC 960.52; azúcares totales, norma NMX-F-132; y lípidos, método AOAC 823.03); 2) algunas propiedades nutritivas particulares (fenoles totales, método de Folin-Ciocalteu; y saponinas, método afrosimétrico). El contenido de proteína cruda (PC) fue 2.29 % y el de azúcares totales fue 1.70 % (base seca). El contenido de fenoles totales fue 0.63 mg g⁻¹ de equivalentes de ácido gálico y el de saponinas fue 0.01 mg g⁻¹. La concentración de azúcares totales fue menor que los frutos de otras especies de *Opuntia* (11 %) y de *Prosopis alba* (2.70 %). El contenido proteico fue superior al del fruto de *Opuntia* analizados (0.39 %), pero inferior al fruto de *P. alba* (7.70 %). La alta concentración de PC y la baja concentración de azúcares totales en los frutos de *Y. mixtecana*, relativos a la mayoría de las frutas, los convierten en un fruto con gran potencial dietético.

Palabras clave: composición nutricional, características físicas, saponinas, fenoles totales, frutos del desierto.

ABSTRACT

Fruits from some species of yucca are consumed as dietary complement in the arid and semiarid zones of México, although their nutritional information is unknown, which is why it is difficult to understand their nutritional contribution. *Yucca mixtecana* is distributed in the state of Oaxaca, México, but the fruits together with the rest of the plant are not used. The objective of this study was to evaluate the nutritional properties of mature fruits of *Y. mixtecana* through a descriptive statistical analysis. The variables in mature fruits of *Y. mixtecana* were: 1) the partial chemical composition (raw protein, method AOAC 960.52; total sugars, norm NMX-F-132; and lipids, method AOAC 823.03); 2) some specific nutritional properties (total phenols, Folin-Ciocalteu method; and saponins, afrosymmetric method). The content of raw protein (RP) was 2.29 % and of total sugars 1.70 % (dry base). The content of total phenols was 0.63 mg g⁻¹ equivalents of gallic acid, and of saponins 0.01 mg g⁻¹. The concentration of total sugars was lower than the fruits of other species of *Opuntia* (11 %) and of *Prosopis alba* (2.70 %). The protein content was higher than that of the fruit of *Opuntia* analyzed (0.39 %), but lower than the fruit of *P. alba* (7.70 %). The high concentration of RP and the low concentration of total sugars in the fruits of *Y. mixtecana*, compared to most fruits, make it a fruit with great dietary potential.

Key words: nutritional composition, physical characteristics, saponins, total phenols, desert fruits.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2017. Aprobado: diciembre, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 52: 347-359. 2018.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de población rural en México (cerca de 24 millones de personas) vive en zonas áridas o semiáridas y 60 % de ellas vive en condiciones de pobreza alimentaria. La inclusión de nuevos alimentos puede contribuir a mejorar el estado nutricional de dichas poblaciones, así como ampliar la oferta de agro productos susceptibles de ser comercializados.

Dentro de las zonas áridas de México, el género *Yucca* es el segundo más importante en distribución y diversidad, después del género *Agave* (Flores-Hernández *et al.*, 2011), y está conformado por unas 47 especies distribuidas principalmente en las zonas áridas o semiáridas de México (Piña, 1979). Estas especies se usan como material para construcción, materia prima en la industria de la cordelería, combustible, y fuente de alimentos, principalmente las inflorescencias y, con menor frecuencia, los frutos o dátiles (Granados-Sánchez y López-Ríos, 1998; Aguirre, 2008).

Entre los compuestos químicos presentes en el género *Yucca*, los de mayor interés son las saponinas que se usan en productos con propiedades surfactantes (Balandrin, 1996); en alimentos como aditivos (Jensen y Elgaard, 2001; Aoun *et al.*, 2003); cosméticos (Balandrin, 1996); y como materia prima de productos con actividad farmacológica, precursores hormonales, anti cancerogénicos y anti virales (Man *et al.*, 2010; Saleem *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2012). No hay un uso pleno de los frutos de diferentes especies de yuca, como complemento dietético, como aditivo en alimentos funcionales ni como fuente de moléculas con actividad biológica.

A pesar del potencial del aprovechamiento de los frutos, no existe información referente a las características físicas y nutricionales para ninguna especie del género *Yucca*, por lo que es difícil analizar su aporte como parte de la ingesta en nutrición humana. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar las variables nutricias relevante de los frutos de *Yucca mixtecana*, para evaluar su empleo en nutrición humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Frutos maduros de *Y. mixtecana* se seleccionaron con base a su color y la textura. Los frutos se clasificaron por su color,

INTRODUCTION

Most of the rural population in México (close to 24 million people) lives in arid and semiarid zones, and 60 % of them under dietary poverty. The inclusion of new foods can contribute to improving the nutritional status of these populations, as well as broaden the offer of agro products susceptible to be commercialized.

Within the arid zones of México, the *Yucca* genus is the second most important in distribution and diversity, after the *Agave* genus (Flores-Hernández *et al.*, 2011), and it is made up of around 47 species distributed primarily in arid or semiarid zones of México (Piña, 1979). These species are used as material for construction, prime material in the rope-making industry, fuel, and source of food, mainly the inflorescences and, less frequently, the fruits or dates (Granados-Sánchez and López-Ríos, 1998; Aguirre, 2008).

Among the chemical compounds present in the *Yucca* genus, those of highest interest are the saponins that are used in products with surfactant properties (Balandrin, 1996), in foods as additives (Jensen and Elgaard, 2001; Aoun *et al.*, 2003), cosmetics (Balandrin, 1996), and as prime material for products with pharmacological, hormonal precursors, anti-cancer and anti-viral activity (Man *et al.*, 2010; Saleem *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2012). There is not a complete use of the fruits from different species of yucca as a dietary complement, as additive in functional foods or as a source of molecules with biological activity.

Despite the potential to use the fruits, there is no information referring to the physical and nutritional characteristics for any species of the *Yucca* genus; thus, it is difficult to analyze their contribution as part of the intake in human nutrition. Therefore, the objective of this study was to evaluate the nutritional properties of mature fruits of *Yuca mixtecana* through a descriptive statistical analysis.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

Mature fruits of *Y. mixtecana* were selected based on their color and texture. The fruits were classified by color, uniform yellow in the mesocarp and yellow with dark spots in the epicarp;

amarillo uniforme en el mesocarpio y amarillo con manchas oscuras en el epicarpio; firmeza del mesocarpio y facilidad de separación del pedúnculo; todas características físicas indicadoras de la madurez. La recolección se realizó dentro de la colección viva del jardín botánico Dr. Cassiano Conzatti del Centro de Investigación para el Desarrollo Integral regional (CIIDIR- IPN) unidad Oaxaca, México.

Caracterización morfológica

Las variables físicas se determinaron sobre el fruto en el segundo estadio de maduración (fruto maduro) y para su cuantificación se aproximó el contorno del fruto al de un cilindro, en donde el ancho corresponde a la dimensión del radio en la parte central del cilindro.

El epicarpio, el endocarpio y el mesocarpio se removieron mediante disección mecánica, para después cuantificar su peso (base húmeda). El mesocarpio removido se usó para determinar las propiedades nutricias.

Cuantificación de color

El color del mesocarpio se determinó con un colorímetro MiniScan EZ (HunterLab, Reston Eter, EUA) y los resultados se registraron en una escala CIE La*b*. El parámetro L representa la luminosidad de la muestra de 0 a 100 (mayor luminosidad); la coordenada a* representa el cambio de color de rojo (+) a verde (-), y la coordenada b* representa el cambio de color de amarillo (+) a azul (-).

Los parámetros de matiz de color (h° y C*) se calcularon con las Ecuaciones 1 y 2. Los parámetros de matiz de color oscilan de 0° (color rojo puro), 90° (color amarillo puro), 180° (color verde puro) hasta 270° (color azul puro) (Sant'Anna *et al.*, 2013).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad (1)$$

$$h^{\circ} = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

Acidez titulable

Esta evaluación se realizó mediante potenciometría (HANNA HI-98172, EUA) de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-102 (2010). El resultado se expresó en mg de equivalentes de ácido cítrico por 100 g de endocarpio (EAC 100g⁻¹).

Sólidos totales

Los sólidos totales se cuantificaron por refractometría (Westover RHB-32ATC, EE. UU.A) de acuerdo con la Norma

firmness of the mesocarp and ease of separation from the stem; all these physical characteristics indicate maturity. The harvest was performed inside the live collection of the Dr. Cassiano Conzatti botanical garden at the Research Center for Integral Regional Development (*Centro de Investigación para el Desarrollo Integral Regional*, CIIDIR- IPN) Oaxaca unit, México.

Morphological characterization

The physical variables of the fruit were determined in the second state of maturation (mature fruit) and for their quantification, the contour of the fruit was sought to be nearly cylindrical, where the width corresponds to the dimension of the radius in the central part of the cylinder.

The epicarp, endocarp and mesocarp were removed through mechanical dissection, to later quantify their weight (humid base). The mesocarp removed was used to determine the nutritional properties.

Color quantification

The color of the mesocarp was determined with a MiniScan EZ colorimeter (HunterLab, Reston Eter, USA) and the results were recorded in a CIE La*b* scale. The parameter L represents the luminosity of the sample from 0 to 100 (highest luminosity); the coordinate a* represents the change of color from red (+) to green (-), and the coordinate b* represents the change in color from yellow (+) to blue (-).

The parameters of color hue (h° and C*) were calculated with Equations 1 and 2. The parameters of color hue range from 0° (pure red color), 90° (pure yellow color), 180° (pure green color), to 270° (pure blue color) (Sant'Anna *et al.*, 2013).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad (1)$$

$$h^{\circ} = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

Titration acidity

This evaluation was performed through potentiometry (HANNA HI-98172, USA) according to the Mexican Norm NMX-F-102 (2010). The result was expressed in mg of equivalents of citric acid per 100 g of endocarp (EAC 100 g⁻¹).

Total solids

The total solids were quantified through refractometry (Westover RHB-32ATC, USA) based on the Mexican Norm

Mexicana NMX-F-112-NORMEX-2010 (2010). El contenido de sólidos totales se expresó como grados Brix.

Humedad

La humedad se cuantificó con el método 934.06 modificado de la AOAC (1996) en 5 g de mesocarpio fresco. La temperatura de secado en vacío fue 105 °C (Shell lab SVAC1, EUA), con intervalos de cuantificación de 24 h (30 min de atemperado en desecador), hasta que la variación fuera menor de 0.01 g (Denver Instrument TP-1114), y el peso se expresó en g de agua por g de sólido seco ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} \text{g}_{\text{ss}}^{-1}$).

Cenizas totales

El contenido de materia inorgánica se cuantificó con el método 923.03 de la AOAC (2005), mediante mufla (Thermolyne Furnace 1400, EUA) y el contenido de cenizas se expresó como % compuestos inorgánicos (base seca).

Proteína cruda (PC)

La cuantificación de la PC se realizó con el método 960.52 de la AOAC (1995), empleando un equipo de micro digestión y destilación (Foss tecator 2100 Kjetlec EUA), y un factor de conversión de 6.25 se usó para expresar el contenido de PC como el % de proteína (base seca).

Determinación de azúcares reductores y totales

El contenido de azúcares totales se determinó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-F-312-NORMEX-2016 (2016) y se expresó como el % de azúcares (base seca).

Contenido de lípidos

El contenido de lípidos totales se determinó con el método 991.36 de la AOAC (2006) y se expresó como % de lípidos (base seca).

Contenido de fibra cruda (FC) total

El contenido de FC se determinó con la metodología de Olver *et al.* (1993) y se expresó como el % de FC (base seca).

Contenido de fenoles totales

Este contenido se determinó mediante la técnica espectrofotométrica de Folin-Ciocalteu (espectrofotómetro BBC Cintra 4040, EUA), con la metodología de Almaraz-Abarca *et al.* (2004)

NMX-F-112-NORMEX-2010 (2010). The content of total solids was expressed as degrees Brix.

Moisture

Moisture was quantified with the AOAC modified method 934.06 (1996) in 5 g of fresh mesocarp. The temperature for vacuum drying was 105 °C (Shell lab SVAC1, EUA), with intervals of quantification of 24 h (30 min of cooling in desiccator), until the variation was lower than 0.01 g (Denver Instrument TP-1114), and the weight was expressed in g of water per g of dry solid ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} \text{g}_{\text{ss}}^{-1}$).

Total ashes

The content of inorganic matter was quantified with the AOAC method 923.03 (2005), through muffle (Thermolyne Furnace 1400, USA) and the content of ashes was expressed as % of inorganic compounds (dry base).

Raw protein (RP)

The quantification of RP was performed with the AOAC method 960.52 (1995), using micro-digestion and distillation equipment (Foss Tecator 2100 Kjetlec, USA), and a conversion factor of 6.25 was used to express the content of RP as the % of protein (dry base).

Determination of reducing and total sugars

The content of total sugars was determined according to the Official Mexican Norm NMX-F-312-NORMEX-2016 (2016) and was expressed as the % of sugars (dry base).

Content of lipids

The content of total lipids was determined with the AOAC method 991.36 (2006) and it was expressed as % of lipids (dry base).

Content of total raw fiber (RF)

The content of RF was determined with the methodology by Olver *et al.* (1993) and it was expressed as the % of RF (dry base).

Content of total phenols

The content of total phenols was determined through the Folin-Ciocalteu technique of spectrophotometry

y se usó ácido gálico como estándar de referencia. El contenido total de fenoles se expresó como mg de equivalentes de ácido gálico por g de muestra base seca (EAG g_{ss}⁻¹).

Contenido de saponina

El contenido de saponinas se determinó mediante el método afrosimétrico reportado por Guzmán *et al.* (2013) y se maceraron 10 g de mesocarpio fresco en agua destilada, (1:3 v/v), por 15 min -25 °C. El contenido de saponinas se expresó como mg de saponinas por g de muestra base seca (ST g_{ss}⁻¹).

Perfil de ácidos grasos (AG)

La evaluación del perfil de AG se realizó mediante la identificación y cuantificación de su funcionalización (metil-ésteres) y la funcionalización de acuerdo con la metodología de Martínez *et al.* (1999). Por cada 100 mL de extracto etéreo proveniente de los frutos, se adicionaron 800 µL de solución de cloroformo-metanol (J. T. Baker) en una proporción (2:1 v/v). A 200 µL de esta solución se adicionó 1 mL de HCl-metanol (J.T. Baker) en una concentración [1 N]. La reacción ocurrió a 80 °C durante 20 min, se agregaron 200 µL de agua destilada, y se extrajeron los metil-ésteres mediante una extracción líquido-líquido con hexano cromatográfico (Fermont); para remover los residuos de la solución polar se usó sulfato de sodio anhidro (J. T. Baker). La solución se decantó y se evaporó bajo una corriente de nitrógeno; los metil-ésteres se suspendieron en 1.4 mL de hexano cromatográfico (Fermont) antes de su inyección.

Los metil-ésteres se identificaron en un cromatógrafo de gas con un detector de ionización de flama (Perkin-Elmer Clarus 580, EUA) y se usó una columna capilar Elite-SMS-30 (30 m x 0.32 x 0.25 µm; Perkin-Elmer), una relación de inyección "split" de 100:1, la temperatura de inyección y la del detector fue 220 °C y la del horno fue 186 °C en un método isotérmico de 16 min. El volumen de inyección fue 2 µL de muestra. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con respecto a estándares de referencia (Supelco fatty acid methyl esters, C₄ - C₂₄).

Para cuantificar el perfil de AG se usó hexadecano (Sigma-Aldrich) como estándar interno, de acuerdo con la Ecuación 3 y la Ecuación 4

$$C_x = [(C_r)(V_r)] * 100 \quad (3)$$

donde: C_x: concentración del AG en la muestra (mg 100 mg⁻¹ de extracto etéreo), V_r: volumen de solvente.

$$C_i = [C_r] [A_x - A_r] \quad (4)$$

(spectrophotometer BBC Cintra 4040, USA), with the methodology described by Almaraz-Abarca *et al.* (2004) and gallic acid was used as standard of reference. The total phenols value was expressed as mg of equivalents of gallic acid per g of dry-base sample (EAG g_{ss}⁻¹).

Content of saponin

The content of saponins was determined through the afrosymmetrical method reported by Guzmán *et al.* (2013) and 10 g of fresh mesocarp were macerated in distilled water (1:3 v/v), for 15 min at -25 °C. The content of saponins was expressed as mg of saponins per g of dry-base sample (ST g_{ss}⁻¹).

Profile of fatty acids (FA)

The evaluation of the FA profile was carried out through the identification and quantification of its functionalization (methyl-esters) and the functionalization, according to the methodology by Martínez *et al.* (1999). For every 100 mL of ether extract from the fruits, 800 µL of chloroform-methanol solution (J. T. Baker) were added in a proportion of 2:1 v/v. To 200 µL of this solution, 1 mL of HCl-methanol (J. T. Baker) were added in a concentration of 1 N. The reaction took place at 80 °C during 20 min, 200 µL of distilled water were added, and the methyl-esters were extracted through a liquid-liquid extraction with chromatograph hexane (Fermont); in order to remove the residues from the polar solution, anhydrous sodium sulfate (J. T. Baker) was used. The solution was decanted and evaporated under a current of nitrogen; the methyl-esters were suspended in 1.4 mL of chromatographic hexane (Fermont) before their injection.

The methyl-esters were identified in a gas chromatograph with a flame ionization detector (Perkin-Elmer Clarus 580, USA) and an Elite-SMS-30 capillary column (30 m x 0.32 x 0.25 µm; Perkin-Elmer), a "split" injection relation of 100:1 was used, and the temperature of injection and of the detector was 220 °C, and of the oven 186 °C in isothermal method of 16 min. The volume of injection was 2 µL of sample. The identification was carried out by comparison of the retention times with regards to standards of reference (Supelco fatty acid methyl esters, C₄ - C₂₄). To quantify the FA profile, hexadecane was used (Sigma-Aldrich) as internal standard, according to Equation 3 and Equation 4.

$$C_x = [(C_r)(V_r)] * 100 \quad (3)$$

where C_x: FA concentration in the sample (mg 100 mg⁻¹ of ether extract), V_r: volume of solvent.

$$C_i = [C_r] [A_x - A_r] \quad (4)$$

donde: C_i : concentración de AG en el extracto final (mg mL^{-1}); C_s : concentración del estándar interno en el extracto (mg mL^{-1}); A_x : área del compuesto de interés; A_s : área del estándar interno

Determinación de minerales

Esta determinación se realizó mediante espectrometría de emisión atómica de plasma (Termo Electron Corporativo IRIS INTREPID II XSP Duo, EUA). La cuantificación de potasio se efectuó mediante espectrofotometría y se usó ortofosfato dihidrógeno de potasio (Sigma-Aldrich) como estándar. Los resultados se expresaron en mg del elemento por 100 g de sólido seco.

Tamaño de la muestra

El tamaño de muestra se determinó con la Ecuación 4 (Levin y Rubin, 2004). Por cada elemento de la muestra se realizaron las determinaciones por triplicado.

$$n = \frac{[pq] [N z_a^2]}{[d^2(N-1)] [(pq) z_a^2]} \quad (4)$$

donde: N: total de frutos en la población; $z_a^2 = 2.57$, para $\alpha = 0.01$; p: posibilidad de obtener información de la muestra (0.5); q: posibilidad de no obtener información de la muestra (0.5); d: margen de error máximo porcentual admitido (0.5).

Análisis de datos

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. El promedio y la desviación estándar se presentan en los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de datos

De acuerdo con número total de frutos contabilizados en la plantas de la colección viva, se determinó una muestra de siete frutos por planta, para un total de 35 frutos analizados, sin considerar el número de réplicas determinadas.

Caracterización morfológica

Los frutos de *Y. mixtecana*, (Figura 1) tienen forma capsular, epicarpio fino y delgado, mesocarpio blando y ligeramente amarillento, que rodean un tejido capsular donde están las semillas (color negro mate de forma lacrimiformes).

where C_i : FA concentration in the final extract (mg mL^{-1}), C_s : concentration of the internal standard in the extract (mg mL^{-1}), A_x : area of the compound of interest; A_s : area of the internal standard

Determination of minerals

This determination was carried out through plasma atomic emission spectrophotometry (Termo Electron Corporativo IRIS INTREPID II XSP Duo, USA). The quantification of potassium was accomplished through spectrophotometry and potassium dihydrogen orthophosphate was used (Sigma-Aldrich) as standard. The results were expressed in mg of the element by 100 g of dry solid.

Size of the sample

The size of the sample was determined with Equation 4 (Levin and Rubin, 2004). For each element of the sample, the determinations were performed by triplicate.

$$n = \frac{[pq] [N z_a^2]}{[d^2(N-1)] [(pq) z_a^2]} \quad (4)$$

where N: total fruits in the population; $z_a^2 = 2.57$, for $\alpha = 0.01$; p: possibility of obtaining information from the sample (0.5); q: possibility of not obtaining information from the sample (0.5); d: margin of maximum percentage error admitted (0.5)

Data analysis

All the determinations were carried out by triplicate. The average and standard deviation are presented in the results.

RESULTS AND DISCUSSION

Data analysis

According to the total number of fruit counted in the plants from the live collection, a sample of seven fruits per plant was determined, for a total of 35 fruits analyzed, without taking into account the number of replicas defined.

Morphological characterization

The *Y. mixtecana* fruits (Figure 1) have capsular shape, fine and thin epicarp, soft and slightly yellow mesocarp, which surround capsular tissue where the seeds are found (black matte color of tear shape).

Los frutos son climatéricos y se constató al menos tres estados de maduración. El más evidente fue el tercer estado caracterizado por un oscurecimiento acentuado del epicarpio y mesocarpio.

En el primer estado de maduración, el epicarpio y el mesocarpio tienen un color verde y una textura compacta; el epicarpio está fuertemente adherido. El pedúnculo del fruto es difícil de separar de la planta.

En el segundo estado de madurez el epicarpio se encuentra ligeramente adherido y la firmeza del mesocarpio disminuye sin perder su consistencia. El pedúnculo es fácilmente separable de la planta, ocasionando la caída del fruto con facilidad. El color del mesocarpio cambia hacia un amarillo uniforme. De acuerdo con la metodología empleada para evaluar el color, el mesocarpio y el epicarpio tienen a exhibir un color luminoso y orientado a tonos rojizos (Cuadro 1).

En el tercer estado de madurez el mesocarpio adquiere una coloración más oscura (Cuadro 1) la adherencia del epicarpio es similar al del segundo estado de madurez y la consistencia es blanda perdiendo su estructura en el mesocarpio. El epicarpio y el mesocarpio pierden luminosidad aunque siguen exhibiendo un matiz rojizo característico.

La sensación gustativa del mesocarpio es dulce con regusto astringente con respecto al epicarpio, que exhibe un gusto neutro.

Características físicas

La mayor parte del peso del fruto lo constituye el mesocarpio (Cuadro 2), el cual representa una fracción del peso similar al endocarpio. La principal fuente de proteínas en la dieta humana es tejidos de origen animal o leguminosas (cacahuates, garbanzos, soja, y otros), pero su consumo posee inconvenientes relacionados con la calidad de las proteínas, y con la presencia de diversos compuesto con actividad biológica indeseada o perjudicial para la salud humana (hormonas del crecimiento, pesticidas, presencia de aflatoxinas, entre otras).

La ingesta proteínica diaria recomendada para dietas en humanos, varía de 16.2 g a 65 g d⁻¹ (Latham, 2002), que se puede satisfacer de forma adecuada por la ingesta de los frutos la cual puede cubrir 3 % a 13.5 % de la ingesta diaria recomendada para seres humanos.

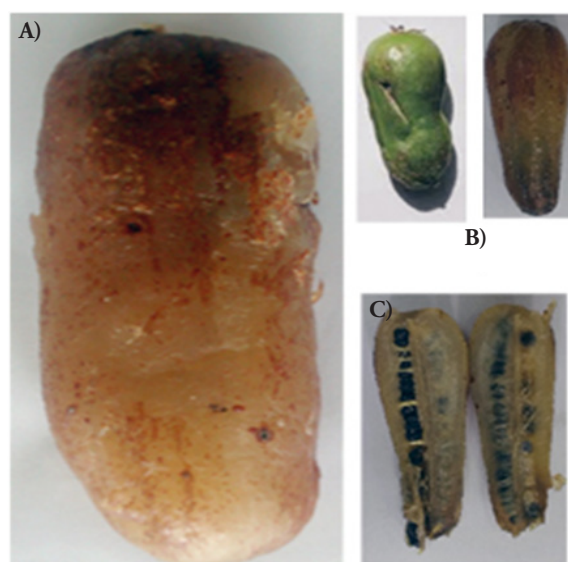


Figura 1. Frutos de *Yucca mixteca*. A) Frutos maduros; B) frutos en el primer y tercer estado de maduración; C) vista transversal del fruto.

Figure 1. *Yucca mixteca* fruits. A) Mature fruits; B) fruits in the first and third state of maturation; C) transverse view of the fruit.

The fruits are climacteric and at least three states of maturation were observed. The most evident was the third state characterized by accentuated darkening of the epicarp and mesocarp. In the first state of maturation, the epicarp and mesocarp are of green color and compact texture; the epicarp is strongly adhered. The fruit stem is difficult to separate from the plant.

In the second state of maturity, the epicarp is slightly adhered and the firmness of the mesocarp decreases without losing its consistency. The peduncle is easily separable from the plant, causing the fall of the fruit with ease. The color of the mesocarp changes toward uniform yellow. According to the methodology used to evaluate color, the mesocarp and the epicarp tend to exhibit a luminous color and tending toward reddish tones (Table 1).

**Cuadro 1. Parámetros de color de fruto
Table 1. Parameters of fruit color**

Tejido	Segundo estado de madurez			Tercer estado de madurez		
	L*	C*	h°	L*	C*	h°
Epicarpio	49.80	25.78	1.01	39.52	22.48	0.96
Mesocarpio	55.59	44.95	0.82	46.32	38.62	0.84

Cuadro 2. Propiedades físicas de frutos frescos de *Yucca mixteca*.**Table 2. Physical properties of fresh *Yucca mixteca* fruits.**

Peso (g)	100.49 ± 19.73
Ancho (cm)	5.68 ± 0.50
Largo (cm)	11.70 ± 3.72
Biomasa del epicarpio (g)	10.10 ± 0.45
Biomasa del mesocarpio (g)	49.48 ± 10.42
Biomasa del endocarpio (g)	40.90 ± 12.74
Humedad (g _{H₂O} g _{ss} ⁻¹)	31.50 ± 1.78
Sólidos totales, mesocarpio	11.10 ± 0.70
Acidez titulable (EAC 100 g ⁻¹)	0.03 ± 0.00

[†]Los resultados son el promedio de tres réplicas ♦ The results are the average of three replicas.

Composición de las variables nutritivas del mesocarpio

Proteína cruda (PC)

El contenido de PC de los frutos (Cuadro 3) es más elevado respecto a la mayoría de las frutas de consumo frecuente, cuyo contenido promedio es cercano al 1 % (Silva, 1994), con excepción a los frutos de *Persea americana* (aguacate) que tienen 2.1 % de PC (Silva, 1994).

Azúcares reductores totales

El contenido de azúcares totales (Cuadro 3) es sensiblemente más bajo que los encontrados en la mayoría de las frutas de consumo frecuente y varía de 6 a 22 % (Silva, 1994; Latham, 2002). Por lo tanto, su incorporación en la ingesta diaria como complemento energético no sería significativa.

Lípidos totales

El contenido de lípidos del fruto de *Y. mixteca* (Cuadro 3) indica que tiene características no oleaginosas, con valores muy inferiores a otros frutos con alto contenido de lípidos, por ejemplo, *P. americana* y *Olea europaea*, con valores promedio de 20 % (Silva, 1994).

Perfil de ácidos grasos (AG)

Los AG predominantes fueron palmítico 42.40 mg 100 mg⁻¹ de extracto etéreo, oleico, 39.40 mg

In the third state of maturity, the mesocarp acquires a darker coloration (Table 1), the adherence of the epicarp is similar to the second state of maturity and the consistency is soft losing its structure in the mesocarp. The epicarp and the mesocarp lose luminosity although they continue exhibiting a characteristic reddish shade.

The gustatory sensation of the mesocarp is sweet with astringent retaste compared to the epicarp, which exhibits a neutral taste.

Physical characteristics

Most of the weight of the fruit is constituted by the mesocarp (Table 2), which represents a fraction of the weight similar to the endocarp. The main source of proteins in the human diet is tissues of animal origin or leguminous plants (peanuts, chickpeas, soy and others), although their consumption has inconveniences related to the quality of the proteins, and with the presence of diverse compounds with unwanted or harmful biological activity for human health (growth hormones, pesticides, presence of aflatoxins, among others).

The daily protein intake recommended for human diets varies from 16.2 g to 65 g d⁻¹ (Latham, 2002), which can be satisfied adequately by the intake of fruits which can cover 3 % to 13.5 % of the recommended daily intake for human beings.

Composition of the nutritional variables of the mesocarp

Raw protein (RP)

The content of RP of the fruits (Table 3) is higher compared to most of the fruits of frequent consumption, whose average content is close to 1 % (Silva, 1994), with the exception of the fruits from *Persea americana* (avocado) which have 2.1 % of RP (Silva, 1994).

Total reducing sugars

The content of total reducing sugars (Table 3) is noticeably lower than what is found in most of the fruits of frequent consumption and varies from 6 to 22 % (Silva, 1994; Latham, 2002). Therefore, its incorporation into the daily intake as energetic complement would not be significant.

Cuadro 3. Composición de las variables nutritivas del mesocarpio de *Yucca mixteca*.
Table 3. Composition of the nutritional values of the mesocarp of *Yucca mixteca*.

Proteína cruda (%)	Lípidos totales (%)	Fibra cruda (%)	Azúcares reductores (%)	Azúcares totales (%)
2.29 ± 0.49	1.70 ± 0.38	51.65 ± 2.05	0.45 ± 0.00	0.81 ± 0.02

† Los resultados son el promedio de tres replicas ♦ The results are the average from three replicas.

100 mg⁻¹, y esteárico 18.10 mg 100 mg⁻¹ de extracto etéreo.

Dietas cuya relación de concentración entre ácidos insaturados y saturados es mayor a la unidad (denominadas dietas mediterráneas) se han correlacionado con una disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, así como alteraciones en la generación de energía en las mitocondrias (Siri-Tarino *et al.*, 2010). Aun así, dietas con relación de concentración de AG más equilibrado tienen correlación positiva con mejores tasas metabólicas de generación y aprovechamiento energético, y con menores tasas de oxidación fraccional de sustratos biológicos ocasionados por el consumo en exceso de oxígeno *post* trabajo (BØrsheim *et al.*, 2006).

Nuestros resultados muestran que la concentración de grasas saturadas es superior que las insaturadas, pero la proporción de estas últimas es cercana a la encontrada en los frutos de *Helianthus annuus*, *Arachis hypogaea* y *Cocos nucifera*. El fruto de *Y. mixteca* podría ser una fuente importante de energía. La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir dietas con perfiles lipídicos en donde las ácidos poli insaturados deben constituir del 6 al 11 % del total de lípidos ingeridos, pero los ácidos saturados deben ser menos del 10 % del total (WHO, 2003; FAO, 2010).

Compuestos fenólicos

El contenido de fenoles totales (Cuadro 4) fue comparable al reportado para frutos de *Prosopis alba*, 0.6 EAG g_{ss}⁻¹ (González-Galán *et al.*, 2008), y mayor al de diversas especies de *Opuntia*, 0.153 EAG g_{ss}⁻¹ (Aquino *et al.*, 2012).

Nuestros resultados muestran que el contenido de fenoles y saponinas es bajo por lo que su efecto

Total lipids

The content of lipids from the *Y. mixteca* fruit (Table 3) indicates that it has non-oleaginous characteristics, with quite lower values than other fruits with high lipid content; for example, *P. americana* and *Olea europaea*, with average values of 20 % (Silva, 1994).

Profile of fatty acids (FA)

The predominant FA were palmitic 42.40 mg 100 mg⁻¹ of ethereal extract, oleic 39.40 mg 100 mg⁻¹, and stearic 18.10 mg 100 mg⁻¹ of ethereal extract.

The diets whose rate of concentration between unsaturated and saturated acids is higher than the unit (called Mediterranean diets) were correlated with a decrease in the risk of cardiovascular diseases, as well as alterations in generation of energy in mitochondria (Siri-Tarino *et al.*, 2010). Even so, diets with a more balanced rate of FA concentration have positive correlation with better metabolic rates of energetic generation and use, and with lower rates of fractional oxidation of biological substrates caused by the excess consumption of oxygen *post* work (BØrsheim *et al.*, 2006).

Our results show that the concentration of saturated fats is higher than the unsaturated, although the proportion of the latter is close to that one found in fruits of *Helianthus annuus*, *Arachis hypogaea* and *Cocos nucifera*. The *Y. mixteca* fruit could be an important source of energy. The World Health Organization recommends consuming diets with lipid profiles where the poly-unsaturated acids should constitute 6 to 11 % of the total lipids ingested, but the saturated acids should be less than 10 % of the total (WHO, 2003; FAO, 2010).

Cuadro 4. Fenoles totales y saponinas en frutos frescos de *Yucca mixteca*.

Table 4. Total phenols and saponins in dry fruits of *Yucca mixteca*.

Fenoles totales (EAG g _{ss} ⁻¹) 0.63 ± 0.03	Saponinas (ST g _{ss} ⁻¹) 0.01 ± 0.00
---	--

[†]Los resultados son el promedio de tres replicas ♦ The results are the average of three replicas.

anti nutricio es mínimo. Las actividades biológicas de los compuestos fenólicos de los alimentos son como vasodilatadores, anti carcinogénicos, moduladores de la respuesta anti inflamatoria, bactericidas y estimuladores de la respuesta inmune (Jiang y Dusting, 2003). La inhibición de la acción oxidativa de radicales libres (Owen *et al.*, 2000) y la modulación de genes mutagénicos pro carcinógenos e inductores de procesos de inflamación (Bravo, 1998) son sobresalientes.

Entre los aspectos anti nutricios de la ingesta de compuestos fenólicos se encuentra la disminución de las tasas de adsorción de proteínas, la inactivación de enzimas digestivas (Martínez-Valverde *et al.*, 2000); y la disminución de la biodisponibilidad de minerales, principalmente hierro y zinc (Hurrell *et al.*, 1997; Martínez-Valverde *et al.*, 2000). La actividad biológica de los compuestos fenólicos depende de la concentración, tipo de compuesto fenólico y biodisponibilidad (Jiang y Dusting, 2003; Galati y O'Brien, 2004).

Contenido de saponinas

El contenido de saponinas en frutos de *Y. mixteca* es sensiblemente menor al reportado en el epicarpio y del mesocarpio de *Prosopis alba*, 0.80 mg g⁻¹ de sólido seco (González-Galán *et al.*, 2008), y en frutos de diversas especies del género *Opuntia* relacionadas con los hábitats donde prospera el género *Yucca* (0.70 ST g_{ss}⁻¹) (Aquino *et al.*, 2012).

Las moléculas agliconas (sapogeninas) y glucósidas de las saponinas se relacionan con efectos indeseados o nocivos para la nutrición humana y animal. Las moléculas glucósidas ocasionan la formación de espuma en el aparato digestivo, mientras que las moléculas agliconas están relacionadas con actividad biológica (Forturbel, 2003; Güclü-Üstündağ y Mazza, 2007). La actividad biológica derivada de las

Phenolic compounds

The content of total phenols (Table 4) was comparable to what was reported for fruits of *Prosopis alba*, 0.6 EAG g_{ss}⁻¹ (González-Galán *et al.*, 2008), and higher to that of diverse *Opuntia* species, 0.153 EAG g_{ss}⁻¹ (Aquino *et al.*, 2012).

Our results show that the content of phenols and saponins is low so their anti-nutritious effect is minimal. The biological activities of phenolic compounds of foods are like vasodilators, anti-carcinogenic, modulators of the anti-inflammatory response, bactericides, and stimulators of the immune response (Jiang and Dusting, 2003). The inhibition of the oxidative action of free radicals (Owen *et al.*, 2000) and the modulation of pro-carcinogenic mutagenic genes and inductors of inflammation processes (Bravo, 1998) are outstanding.

The following are some of the anti-nutrition aspects regarding the intake of phenolic compounds: decrease of the rates of protein adsorption, inactivation of digestive enzymes (Martínez-Valverde *et al.*, 2000), and decrease of mineral bioavailability, primarily iron and zinc (Hurrell *et al.*, 1997; Martínez-Valverde *et al.*, 2000). The biological activity of the phenolic compounds depends on the concentration, type of phenolic compound and bioavailability (Jiang and Dusting, 2003; Galati and O'Brien, 2004).

Content of saponins

The content of saponins in fruits of *Y. mixteca* is sensibly lower than the one reported in the epicarp and the mesocarp of *Prosopis alba*, 0.80 mg g⁻¹ of dry solid (González-Galán *et al.*, 2008), as well as in fruits of various species of the *Opuntia* genus related to the habitats where the *Yucca* genus thrives (0.70 ST g_{ss}⁻¹) (Aquino *et al.*, 2012).

The aglycone (sapogenin) and glucoside molecules of the saponins are related to unwanted or harmful effects for human and animal nutrition. The glucoside molecules cause the formation of foam in the digestive system, while the aglycone molecules are related to biological activity (Forturbel, 2003; Güclü-Üstündağ and Mazza, 2007). The biological activity derived from sapogenins (acid hydrolysis of the saponins) is related to hypo-cholesterolemic (López *et al.*, 1993), anti-mycotic (Zamilpa *et al.*, 2002), anti-viral (Aquino *et al.*, 1991), anti-cancer

sapogeninas (hidrólisis ácida de las saponinas) se relaciona con efectos hipo colesterolémicos (López *et al.*, 1993), anti micóticos (Zamilpa *et al.*, 2002); anti virales (Aquino *et al.*, 1991), anti cancerígenos (Sung *et al.*, 1995); hipoglucémica (Kato *et al.*, 1995), anti trombóticos (Zhang *et al.*, 1999), diuréticos (Silva *et al.*, 2005) anti inflamatorios (da Silva *et al.*, 2002), y molusquicidas (Abdel-Gawad *et al.*, 1999). No existe información referente a la ingesta media máxima de sapogeninas recomendada; aunque se desaconseja la ingesta elevada de las mismas (Southonh *et al.*, 1988).

Minerales

Los frutos de *Y. mixtecana* (Cuadro 5) son ricos en magnesio y calcio. La concentración de minerales en frutos tiene una correlación significativa con la concentración de los mismos en el suelo, el régimen hídrico al cual está sujeta la planta durante el periodo de fructificación, el clima y el genotipo (Vig *et al.*, 2003; Barceló y Poschenrieder, 2003; Rooney, *et al.*, 2006). Por lo tanto, la inferencias referente al aporte de los frutos de *Y. mixtecana* a la dieta diaria se debería realizar en un marco multifactorial. Entre los minerales cuantificados en el fruto, solamente el hierro y el calcio son considerados esenciales (James y Schofield, 1999). El consumo de los frutos de yuca suplementa parcialmente el consumo recomendado de hierro 21 a 48 mg d⁻¹ y calcio de 400 a 700 mg d⁻¹.

CONCLUSIONES

La composición nutricional evaluada en los frutos de *Yuca mixtecana* indica que se pueden considerar como complementos nutricionales de la dieta, ya que el consumo moderado del fruto puede aportar los requerimientos nutricionales de proteínas y fibras necesarios en una dieta equilibrada.

La relación entre los ácidos grasos indica una proporción mayor de ácidos saturados, la que se desaconseja en la dieta para humanos. Pero en los frutos de yuca la concentración de lípidos totales es baja en comparación con la mayoría de los alimentos.

La concentración de compuestos fenólicos y saponinas no es un factor limitante en la ingesta de este fruto. Las bajas concentraciones de estos compuestos mejoran las características sensoriales y aseguran una baja toxicidad.

(Sung *et al.*, 1995), hypoglycemic (Kato *et al.*, 1995), anti-trombotic (Zhang *et al.*, 1999), diuretic (Silva *et al.*, 2005), anti-inflammatory (da Silva *et al.*, 2002), and molluscicide (Abdel-Gawad *et al.*, 1999) effects. There is no information referring to the maximum mean intake of saponins recommended, although a high intake is not advised (Southonh *et al.*, 1988).

Minerals

The fruits of *Y. mixtecana* (Table 5) are rich in magnesium and calcium. The mineral concentration in fruits has a significant correlation with the concentration of these in the soil, the water regime which the plant is subject to during the period of fructification, the weather and the genotype (Vig *et al.*, 2003; Barceló and Poschenrieder, 2003; Rooney, *et al.*, 2006). Therefore, the inferences that refer to the contribution of the *Y. mixtecana* fruits to the daily diet should be carried out within a multifactorial framework. Among the minerals quantified from the fruit, only iron and calcium are considered essential (James and Schofield, 1999). The consumption of yuca fruits supplements partially the recommended consumption of iron, of 21 to 48 mg d⁻¹ and calcium, 400 to 700 mg d⁻¹.

CONCLUSIONS

The nutritional composition evaluated in the fruits of *Yuca mixtecana* indicate that they can be considered as nutritional complements to the diet, since the moderate consumption of the fruit can contribute the nutritional requirements of proteins and fibers necessary in a balanced diet.

Cuadro 5. Composición mineral del epicarpio de *Yuca mixtecana*.

Table 5. Mineral composition of the epicarp of *Yuca mixtecana*.

Elemento	Concentración [mg 100 g ⁻¹]
Calcio	24±0.06
Magnesio	98±0.42
Hierro	1±0.02
Sodio	1±0.18
Potasio	15±0.11

†Los resultados son el promedio de tres réplicas ♦ The results are the average of three replicas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por el estímulo económico proporcionado.

A la Dra. Ivet Gallegos Marín, por su asistencia en la determinación del perfil de ácidos grasos.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Gawad M., M. M., M. El-Sayed., and E. S. Abdel-Hameed. 1999. Molluscicidal steroidal saponins and lipid content of *Agave decipiens*. *Fitoterapia* 70: 371-381.
- Aguirre A., A. 2008. La útil *Yucca*. Ideas para el Cambio 1: 46-49.
- Almaraz-Abarca N., Ma. da G., Campos, A., Ávila-Reyes, N., Naranjo-Jiménez, J., Herrera-Corral, y L., S. González-Valdez. 2004. Variability of antioxidant activity among honeybee-collected pollen of different botanical origin. *Interciencia* 29: 574-578.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Method 960.52: Microchemical determination of nitrogen. Micro-Kjeldahl method. Official Methods of Analysis of AOAC International. 12th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 1.12.07 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1996. Method 934.06: Moisture in Dried Fruits method. Official Methods of Analysis of AOAC International. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 2.15.04 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Method 923.03: Filth in grain products and brewers. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 32.2.02 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2006. Method 991.36: Fat (Crude) in meat and meat products. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 4.10.05 p.
- Aoun M., G. Amiard, P. Garres, and P. Boide. 2003. Food supplement used in feed formulations in ruminants. WO Patent 03/056935 A1.
- Aquino B, E. N., Y. Chavarría M., J., L. Chávez S., R., I. Guzmán G., E., R. Silva H., y I. Verdalet G. 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* 20: 3-10.
- Aquino R., C., Conti, F., de Simone, N., Orsi, C. Pizza C., and M., Stein. 1991. Antiviral activity of constituents of *Tamus communis*. *J. Chemother.* 3: 305-309.
- Balandrin, M., F. 1996. Commercial utilization of plant-derived saponins: An overview of medicinal, pharmaceutical, and industrial applications. *Adv. Exp. Med. Biol.* 404: 1-14.
- Barceló, J., and C. Poschenrieder. 2003. Phytoremediation: principles and perspectives. *Contrib. Sci.* 2: 333-344.
- Børshheim, E., C., K. Lawrence, and W. M. Peral. 2006. Differential effects of dietary intake of palmitic acid and oleic acid on oxygen consumption during and after exercise. *Metabolism* 55:1215-1221.

The relation between fatty acids indicates a higher proportion of saturated acids, which is advised against in the diet for humans. However, the concentration of total lipids in the yucca fruits is low compared to most foods.

The concentration of phenolic compounds and saponins is not a limiting factor in the intake of this fruit. The low concentrations of these compounds improve the sensorial characteristics and ensure low toxicity.

—End of the English version—



- Bravo, L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56: 317-333.
- Da Silva B., P., C. de Sousa A., M. Silva G., P. Mendes T., and P. Parente J. 2002. A new bioactive steroidal saponin from *Agave attenuate*. *Z. Naturforsch.* 57: 423-428.
- Flores-Hernández, A., J., A. Hernández-Herrera, H., Madinaveitia-Rios, L., M. Valenzuela N, Murillo-Amador, O., Rueda-Puente, J., L. García H, y H., G. Ortiz-Cano. 2011. Evaluación de la población natural y hábitat de palma azul (*Yucca rigida*) en Mapimí, Durango, México. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14: 315-321.
- Food and Agriculture Organization. 2010. Fats and fatty acids in human nutrition: report of an expert consultation. In: Food and Agriculture Organization (ed). *FAO Food and Nutrition Paper* 91. pp: 43 – 53.
- Forturbel, R. 2003. Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium quinoa* W. (*Chenopodiaceae*), debido a la presencia de saponinas. *Ciencia Abierta* 21: 1-10.
- Galati, G., and J. O'Brien P. 2004. Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: significance for their chemopreventive and anticancer properties. *Free Radic. Biol. Med.* 37: 287-303.
- Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Economía (SE). 2010. Norma Mexicana NMX-F-102-NORMEX-2010. Determinación de acidez titulable en alimentos-método de ensayo (prueba). *Diario Oficial de la Federación*, México. 4 p.
- Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Economía (SE). 2010. Norma Mexicana NMX-F-112-NORMEX-2010. Alimentos-determinación de sólidos solubles-método refractométrico. *Diario Oficial de la Federación*, México. 3 p.
- Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Economía (SE). 2010. Norma Mexicana NMX-F-312-NORMEX-2016. Determinación de reductores directos y totales en alimentos. *Diario Oficial de la Federación*, México. 5 p.
- González-Galán A., A. Duarte-Correa C., M. de Abreu P. y Ma. de F. Piccolo-Barcelos. 2008. Caracterización química de la harina del fruto de *Prosopis* spp. procedente de Bolivia y Brasil. *Arch. Latinoam. Nutr.* 58: 309-315.
- Granados-Sánchez D., y G. López-Ríos. 1998. *Yucca* "Izote" del desierto. *Rev. Chapingo Serie Cienc. Fores. Ambiente* 4: 179-192.

- Güclü-Üstündağ, O., and G. Mazza. 2007. Saponins: properties, applications and processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47: 231-258.
- Guzmán B., D., L. Cruz J., A. Alvarado, y P. Mollinedo. 2013. Cuantificación de saponinas en muestras de *Cañihua chenopodium* Pallidicaule Aellen. *Rev. Bol. Quim.* 30: 131-136.
- Hurrell, R., M. Reddy M., and D. Cook J. 1997. Influence of polyphenol containing beverage on iron absorption. *In: Proceedings of a European Cost Concerted Action Scientific Workshop* (ed). Polyphenols in Foods. Aberdeen Press, Netherlands. pp: 169-172.
- James, V., and P. E., Schofield. 1999. Human Energy Requirements: A Manual for Planners and Nutritionists. Oxford University Press. Oxford. pp: 42-54.
- Jensen, J., and T. Elgaard. 2001. Natural feed additive, a method of preparing said feed additive, a feed mixture containing the feed additive as well as a method of breeding farm animals. EP Patent 129,627 A1.
- Jiang, F., and J. Dusting G. 2003. Natural phenolic compounds as cardiovascular therapeutics: potential role of their anti-inflammatory effects. *Curr. Vasc. Pharmacol.* 1: 135-156.
- Kato, A., T. Miura, and T. Fukunaga. 1995. Effects of steroidal glycosides on blood glucose in normal and diabetic mice. *Biol. Pharm. Bull.* 18: 167-168.
- Latham, M. C. 2002. Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, ONU-FAO (Ed.). Roma, 480 p.
- Levin R., I., and D. S. Rubin. 2004. Estadística para Administración. 7a ed. Pearson Education, México. pp: 235-268.
- López, R., E. S., O. Ruiz, Ma. del R. Fusco, y A. Sosa. 1993. Aislamiento de un glicósido flavonoide y de una saponina del "mastuerzo" (*Coronopus didymus* Sm., Brassicaceae). *Acta Farm. Bonaer.* 12: 101-104.
- Man, S., W. Gao, Y. Zhang, L. Hoang, and V. Lio. 2010. Chemical study and medical application of saponins as anti-cancer agents. *Fitoterapia* 81: 703-714.
- Martínez S., C. J., C. Vinay, R. Brieva, and H. García. 1999. Lipase-catalyzed interesterification (acidolysis) of corn oil and conjugated linoleic acid in organic solvents. *Food Biotechnol.* 13: 183-193.
- Martínez-Valverde I., Ma de J., Periago, y G., Ros. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Arch. Latinoam. Nutr.* 50: 1-19.
- Owen R., W. A. Giacosa, W. Hull, R. Haubner, G. Würtele, B. Spiegelhalter, and H. Bartsch. 2000. Olive-oil consumption and health: the possible role of antioxidants. *Lancet. Oncol.* 1: 107-112.
- Olvera N., C., A. Martínez P., y E. Real de León. 1993. Manual de Técnicas para Laboratorio de Nutrición de Peces y Crustáceos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, ONU-FAO (Ed.). México. 220 p.
- Piña I., L. 1979. Algunas especies de *Yucca* del noreste de México. *Cactáceas y Suculentas Mex.* 19: 1-7.
- Rooney C., P., J. Zhao F., and P. McGrath S. 2006. Soil factors controlling the expression of copper toxicity to plants in a wide range of European soils. *Environ. Toxicol. Chem.* 25: 726-732.
- Saleem, M., M. Nazir, M. Ali, H. Hossain, Y. Lee, N. Riaz, and A. Jabbar. 2010. Antimicrobial natural products: an update on future antibiotic drug candidates. *Nat. Prod. Rep.* 27: 238-254.
- Sant'anna V., P., D. Gurak L., D. Marczak I., and C. Tessaro. 2013. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods—A review. *Dyes Pigments* 98: 601-608.
- Silva G., M., M. de Souza A., S. Larab L., P. Mendesa T., P. da Silva B., G. Lopesb A., C. Caruso-Nevesb., and P. Parentea J. 2005. A new steroidal saponin from *Agave brittoniana* and its biphasic effect on the Na⁺ATPase activity. *Z. Naturforsch* 60: 121-127.
- Silva P., C. 1994. Composición y evaluación de los componentes químicos de la plata (*Persea americana* Mill) durante su maduración. *Alimentos. Rev. Soc. Chil. Tecnol. Aliment.* 19: 88-102.
- Siri-Tarino P., W. Sun Q., Hu F., and R. M. Krauss. 2010. Saturated fatty acids and risk of coronary heart disease: modulation by replacement nutrients. *Curr. Atheroscler. Rep.* 12: 384-90.
- Son S. X., M., Y. Li, W. Fan., P. Cheng, L. Lio, and F. Li. 2012. Effect and mechanism of AR-6 in experimental rheumatoid arthritis. *Clin. Exp. Med.* 10: 113-121.
- Southon S., J., R. Wright A., S. Price K., J. Fairweather-Tait, and R. Fenwick G. 1988. The effect of three types of saponin on iron and zinc absorption from a single meal in the rat. *Br. J. Nutr.* 59: 389-396.
- Sung M., K., W. Kendall C., and V. Rao A. 1995. Effect of saponins and *Gypsophila* saponin on morphology of colon carcinoma cells in culture. *Food Chem. Toxicol.* 33: 357-366.
- Vig, K., M. Megharaj, N. Sethunathan, and R. Naidu. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Adv. Environ. Res.* 8: 121-135.
- World Health Organization. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. *In: World Health Organization* (ed). WHO Technical Report Series, No. 916. Geneva. pp: 54-132.
- Zamilpa, A., J. Tortoriello, V. Navarro, G. Delgado, and L. Álvarez. 2002. Five new steroidal saponins from *Solanum chrysotrichum* leaves and their antimycotic Activity. *J. Nat. Prod.* 65: 1815-1819.
- Zhang, J., Z. Meng, M. Zhang, A. Ma, S. Xu, and I. Kodama. 1999. Effect of six steroidal saponins isolated from *Anemarrhenae rhizoma* on platelet aggregation and hemolysis in human blood. *Clin. Chim. Acta* 289: 79-88.