



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA

**FISICOQUÍMICA Y PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DE
XOCONOSTLE BURRO (*Opuntia joconostle* Weber)**

ANA LILIA GARCÍA ROMERO

TESINA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

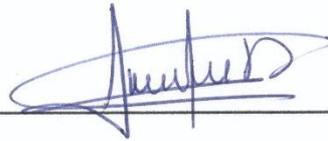
2017

La presente tesina, titulada: **Fisicoquímica y propiedades antioxidantes de xoconostle burro (*Opuntia joconostle* Weber)**, realizada por la alumna **Ana Lilia García Romero**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA

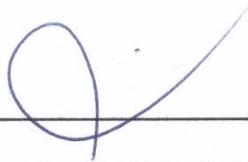
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



DRA. DORA ANGÉLICA AVALOS DE LA CRUZ

ASESOR:



MC. CARLOS GILBERTO GARCÍA GARCÍA

ASESOR:



MC. JOSÉ DE JESÚS AXOL RODRÍGUEZ

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, Febrero de 2017.

RESUMEN

FISICOQUÍMICA Y PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DE XOCONOSTLE BURRO

(*Opuntia joconostle* Weber)

Ana Lilia García Romero, M.T.

Colegio de Postgraduados, 2017

El género *Opuntia* cuenta con más de 300 especies, algunas de ellas producen frutas ácidas conocidas como xoconostle, alimento de importancia en América Latina. El xoconostle tiene un mesocarpio comestible grueso y ácido, las semillas son subproductos; su consumo es importante en varias regiones del país y existen estudios limitados sobre su composición química específica y compuestos bioactivos. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de este fruto. Se emplearon ensayos de inhibición del radical libre (DPPH) y colorimétrico Folin-Ciocalteu. El fruto midió 68.82 mm de longitud, diámetro ecuatorial 44.10 mm; el peso fue de 56.06 g. Los parámetros del color fueron luminosidad $L^* = 48.26$, pureza de color $C^*ab = 18.77$, y el tono $hab = 1.03$. El contenido de humedad fue de 88.60 %, pH 3.8, acidez 0.12 % (ácido cítrico), sólidos solubles totales 11.5 °Brix y azúcares totales 5.48 mg/g y reductores 0.96 mg/g. El contenido total de compuestos fenólicos fue de 332.50 mg AG/100 g y actividad antioxidante de 50 mmol ET/100 g (DPPH). Los resultados anteriores sugieren que el fruto xoconostle presenta propiedades antioxidantes, lo que representa potencial para su consumo en fresco y en la industria alimentaria como antioxidante natural.

Palabras clave: actividad antioxidante, xoconostle, DPPH

ABSTRACT

PHYSICOCHEMICAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF XOCONOSTLE BURRO (*Opuntia joconostle* Weber)

Ana Lilia García Romero, M.T.

Colegio de Postgraduados, 2017

The genus *Opuntia* has more than 300 species, some of them produce acidic fruits known as xoconostle, a food of importance in Latin America. The xoconostle has a thick and acidic edible mesocarp, the seeds are byproducts; its consumption is important in several regions of the country and there are limited studies on its specific chemical composition and bioactive compounds. The objective of this study was to evaluate the physicochemical and antioxidant properties of this fruit. The assays used for determining the antioxidant activity were free radical inhibition (DPPH) and Folin-Ciocalteu. The fruit was: 68.82 mm in length, 44.10 mm in equatorial diameter, and 56.06 g in weight. Color values of skin were $L^* = 48.26$, Chroma $C^*ab = 18.77$, and Hue = 1.03. The moisture content, pH, titratable acidity, total soluble solids, total sugars and reducing sugars contents were 88.60 %, 3.8, 0.12 % (citric acid), 11.5 °Brix, 5.48 mg/g and 0.96 mg/g respectively. The total phenolic content was 332.50 mg AG/100 g and antioxidant activity 50 mmol ET/100 g (DPPH). The results suggest that xoconostle fruit has antioxidant properties, and can be used for fresh consumption and food industry as a natural antioxidant.

Keywords: antioxidant activity, xoconostle, DPPH.

DEDICATORIA

A Dios

Señor, te agradezco por esta oportunidad, por cuidar siempre de mi camino y permitirme llegar al final de este proceso.

A mis Padres

Gracias Mamá por ser siempre la más entusiasta de las compañías en cada proyecto emprendido, por todas las veces que ayudaste a que mi ausencia en casa no se notara y que mi hija no se sintiera sola.

A ti Papá porque sé que desde donde estás te alegras por verme llegar hasta aquí, gracias por siempre.

A Victoria

Todo esto es por ti y para ti; por ser una niña valiente durante las ausencias de mamá. Por tu valiosa ayuda y por desvelarte junto conmigo para ayudarme a terminar.

A Elesban

Porque sin ti nada de esto hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Dora Angélica Avalos de la Cruz, por su amistad y el generoso acompañamiento a lo largo de este proceso.

Al MC. José de Jesús Axol Rodríguez por todo su apoyo y paciencia; y por compartir sus conocimientos y experiencias.

Al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, a la Maestría Tecnológica en Agroindustria, por permitirme ser parte de ella, a los Laboratorios de Ciencia de los Alimentos y Extractos Vegetales por las facilidades otorgadas para el uso de sus instalaciones, y el apoyo brindado para la realización de este trabajo a la LGAC2 Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social, y la Subdirección de Vinculación.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | ii |
| ABSTRACT | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1. Generalidades del xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>) | 3 |
| 2.2. Distribución y diversidad en el estado de Hidalgo | 3 |
| 2.2.1. Descripción botánica | 5 |
| 2.2.2. Uso y consumo tradicional del xoconostle en el Valle del Mezquital | 5 |
| 2.2.3. Estudios sobre xoconostle..... | 7 |
| 2.3. Alimentos funcionales | 8 |
| 2.3.1. Importancia de la plantas como fuente de alimentos funcionales..... | 10 |
| 2.3.2. Clasificación de los compuestos fitoquímicos funcionales..... | 10 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 12 |
| IV. OBJETIVOS | 13 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 14 |
| 5.1. Estrategia experimental en la caracterización física, química y antioxidante del xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i> Weber) | 14 |
| 5.2. Material vegetal y ubicación del experimento..... | 15 |
| 5.3. Análisis fisicoquímicos en xoconostle | 15 |
| 5.3.1. Determinación de color (L^*a^*b)..... | 15 |
| 5.3.2. Evaluación de textura | 17 |
| 5.3.3. Determinación de peso y tamaño en fruto | 17 |
| 5.3.4. Determinación de acidez titulable (AT) | 18 |
| 5.3.5. Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)..... | 18 |
| 5.3.6. Determinación de pH..... | 18 |
| 5.4. Análisis proximal en xoconostle | 19 |
| 5.4.1. Determinación de humedad | 19 |
| 5.4.2. Determinación de cenizas | 19 |
| 5.4.3. Determinación del contenido de extracto etéreo | 20 |
| 5.4.4. Determinación del contenido de proteína total | 20 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.4.5. | Determinación del contenido de fibra cruda | 21 |
| 5.4.6. | Determinación del contenido de azúcares totales y reductores | 21 |
| 5.5. | Evaluación de la actividad antioxidante en xoconostle | 21 |
| 5.5.1. | Determinación de compuestos fenólicos totales | 22 |
| 5.5.2. | Evaluación de la actividad antioxidante por el método DPPH | 22 |
| VI. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 23 |
| 6.1. | Características de color | 23 |
| 6.2. | Textura | 24 |
| 6.3. | Peso y tamaño | 24 |
| 6.4. | Acidez Titulable | 25 |
| 6.5. | Sólidos Solubles Totales (°Brix) | 25 |
| 6.6. | pH..... | 26 |
| 6.7. | Humedad..... | 27 |
| 6.8. | Cenizas | 27 |
| 6.9. | Extracto Etéreo..... | 28 |
| 6.10. | Proteína total | 28 |
| 6.11. | Fibra cruda | 28 |
| 6.12. | Azúcares totales y reductores | 29 |
| 6.13. | Polifenoles Totales | 29 |
| 6.14. | Actividad Antioxidante por el método DPPH | 30 |
| VII. | CONCLUSIONES..... | 31 |
| VIII. | LITERATURA CITADA..... | 32 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación de los compuestos fitoquímicos..... | 11 |
| Cuadro 2. Coordenadas cromáticas en frutos de xoconostle..... | 23 |
| Cuadro 3. Peso y tamaño de xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>)..... | 25 |
| Cuadro 4. Acidez titulable de xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>). | 25 |
| Cuadro 5. Sólidos Solubles Totales en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>). | 26 |
| Cuadro 6. pH en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>)..... | 26 |
| Cuadro 7. Humedad en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>)..... | 27 |
| Cuadro 8. Cenizas en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>)..... | 27 |
| Cuadro 9. Fibra cruda en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>). | 29 |
| Cuadro 10. Azúcares totales y reductores en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>). | 29 |
| Cuadro 11. Polifenoles totales en xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>). | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización del Valle del Mezquital (Fuente: INEGI 2004) | 4 |
| Figura 2. Estrategia general del experimento. Fuente: Elaboración propia..... | 14 |
| Figura 3. Frutos de <i>O. joconostle</i> recolectados en el municipio de Ixmiquilpan. | 15 |
| Figura 4. Frutos de <i>O. joconostle</i> seleccionados para medición de color. | 16 |
| Figura 5. Medición de color CIE L*a*b* en frutos de <i>O. joconostle</i> | 16 |
| Figura 6. Determinación del peso de frutos de <i>O. joconostle</i> | 17 |
| Figura 7. Determinación de longitud y diámetro en frutos de <i>O. joconostle</i> | 18 |

I. INTRODUCCIÓN

El nopal se ha usado desde la antigüedad con fines medicinales y alimenticios, evidenciados por hallazgos arqueológicos. México es origen de diversas variedades conocidas de xoconostle. En las regiones áridas y semiáridas del país, es común encontrar variedades de *Opuntia* silvestres llamadas genéricamente xoconostles, su uso como ingrediente en la gastronomía y remedio medicinal es común en el Valle del Mezquital, estado de Hidalgo (Granados y Castañeda, 1991).

Las aplicaciones del xoconostle en la medicina tradicional, destacan especialmente en el tratamiento de la diabetes mellitus, colesterol elevado, hipertensión, obesidad, anemia, crecimiento de la próstata y enfermedades respiratorias. Existe información sobre las características fisicoquímicas, antioxidantes y principios activos del fruto de xoconostle y se ha demostrado que algunos compuestos están directamente relacionados con un mecanismo específico de protección contra diversas enfermedades y como suplemento alimenticio (Filardo, 2001).

Actualmente el consumo de frutas y verduras ha tomado importancia por los beneficios que tienen estos alimentos, particularmente atribuidos a los compuestos bioactivos y antioxidantes como las vitaminas C, E, β -caroteno y polifenoles (flavonoles, flavanoles, antocianinas y fenilpropanoles). Los fenoles, especialmente los flavonoides y las antocianinas, muestran una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, y han demostrado un efecto benéfico en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Acevedo *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar las características físicas, químicas y propiedades antioxidantes del xoconostle burro (*Opuntia joconostle* Weber) del Valle del Mezquital, Hidalgo, con el fin de identificar su valor nutricional y potencial antioxidante, revalorar y potenciar su uso, considerando la importancia en la gastronomía y medicina tradicional del municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo, y proponer alternativas de agregación de valor.

II. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del Xoconostle (*Opuntia joconostle*)

El xoconostle es el fruto de *Opuntia joconostle* de la familia de las Cactáceas. Se han descrito alrededor de 300 especies en el continente americano (Bravo, 1978). Son plantas xerófilas, resistentes a la sequía, su morfología es resultante de su adaptabilidad a las zonas con pocas precipitaciones pluviales, clima caliente y seco propio de las zonas áridas y semiáridas. Las plantas presentan de 2 a 3 metros de altura, partes basales leñosas, tallo en forma de raquetas (cladodios o pencas), espinas blancas de longitud desigual y coloración amarilla, blanca, verdosa, rojas o purpúreas. Su fruto es globoso, llamado tuna o xoconostle (Filardo, 2001), de pulpa ácida y rosada.

2.2. Distribución y diversidad en el estado de Hidalgo

Dentro de las cactáceas en el territorio nacional, el género *Opuntia* es el más diverso y ampliamente distribuido en América. De acuerdo a Scheinvar *et al.* (2011), en México existen 93 especies silvestres; la mayor riqueza de estas variedades se encuentra en los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas, Jalisco, Michoacán y Querétaro.

Los Estados productores de tuna y xoconostle son; Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (región Centro), Estado de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (región Sur) (Gallegos *et al.*, 2003). El estado de Hidalgo cuenta con dos principales regiones productoras de cactáceas; el Valle del Mezquital y la Altiplanicie Pulquera.

El Valle del Mezquital está conformado por 27 municipios (Figura 1); tiene una altitud entre 1,700 y 2,100 m s. n. m., limita al norte con la Sierra Baja y la Sierra Gorda; al

oeste con la Comarca Minera y la Cuenca de México; al sur con el Estado de México; y al este con el estado de Querétaro. Tiene un clima semiárido, caliente y seco, con una precipitación promedio de 409 milímetros por año y temperaturas de -9°C a 38°C. La región se caracteriza por tener una vegetación de matorral desértico arbustivo, gran variedad de cactáceas; entre ellas sobresale el xoconostle (*Opuntia joconostle*) cuya especie es comúnmente conocida como nopal. No existe información definitiva acerca del total de especies de xoconostles que pueden encontrarse en el estado de Hidalgo. De acuerdo a Mayorga *et al.* (1988), en la zona existen tres especies xoconostles, *Opuntia joconostle* c. v. “Burro”, *O. matudae* c. v. “Rosa” y c. v. “Blanco”, probablemente por ser las más adaptadas al clima extremoso de la región con heladas y sequías prolongadas.

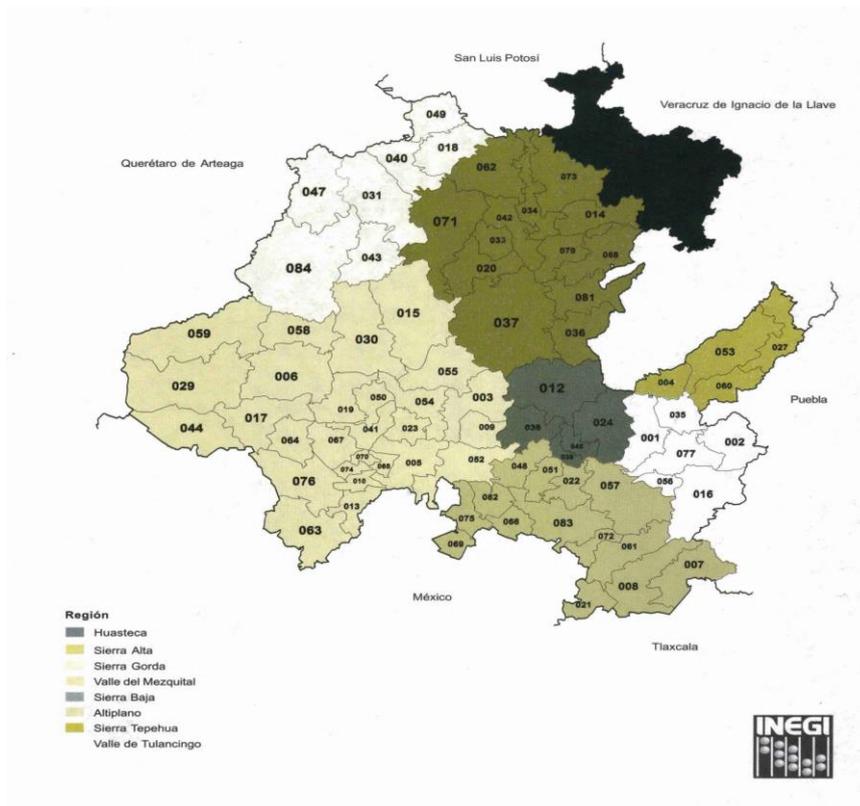


Figura 1. Localización del Valle del Mezquital (Fuente: INEGI 2004)

2.2.1. Descripción botánica

Las cactáceas del género *Opuntia* son originarias de América. El xoconostle, no es una categoría natural, el vocablo refiere a todas las cactáceas que producen frutos ácidos. Su descripción morfológica es posible observando la estructura que presenta la planta, sus flores y frutos. El género *Opuntia* comprende plantas definidas o arborescentes (Granados y Castañeda, 1991).

Presentan hojas convertidas en espinas, rasgo común en las cactáceas. Por lo general las espinas son de dos tipos: unas pequeñas y agrupadas en gran número (gloquídeos) y las grandes que son, según algunos naturalistas, hojas modificadas. La flor es hermafrodita, hemicíclica, con eje floral frecuentemente largo, su color es amarillo intenso. El gineceo es ínfero sincárpico, tiene de tres a ocho carpelos, con numerosos óvulos sobre placentas parietales. Su fruto es una baya polispérmica, carnosa, más o menos ovoide, desnuda o espinosa, normalmente jugosa y comestible (Alvarado y Sosa, 1978), está formado, de afuera hacia dentro, por: tejidos cortical, axial, carpelos, funículos y estructuras papilares; estos dos últimos forman la pulpa del fruto, o la cáscara en este caso, ya que no hay diferencia entre epicarpio, mesocarpio y endocarpio, dado que está constituido por el tejido cortical axial y los carpelos. La capa formada por los carpelos es muy delgada y se puede separar del pericarpio y quedar libre del fruto maduro (Kalmbacher, 1976).

2.2.2. Uso y consumo tradicional del xoconostle en el Valle del Mezquital

Durante la época prehispánica las nopaleras fueron fuente de alimento en el árido Valle del Mezquital donde su presencia fue determinante para el proceso de sedentarización (Filardo, 2001). Las dos estructuras principales de las plantas para su consumo o aprovechamiento son: los cladodios y los frutos; estos formaban parte

de la dieta tradicional de la población como vegetal o fruto por sus propiedades nutrimentales. La ingesta diaria aproximada por mexicano es de 10 a 17 g/persona/día. Desafortunadamente en muchos casos su consumo ha sido desplazado por otros alimentos de mayor aporte calórico (Bensandón *et al.*, 2010). Esta disminución en la ingesta de alimentos tradicionales presupone una disminución en la calidad de la dieta y por consiguiente un aumento en el padecimiento de enfermedades crónicas (Alanís *et al.*, 2012).

En su conjunto las plantas de *Opuntia* se utilizan como cercos vivos o barreras de retención u otras prácticas de protección de suelos y como forraje de buena calidad para el ganado. En su mayoría el cultivo del nopal se considera todavía de traspatio, comúnmente orgánico; los frutos se cosechan de plantas silvestres de forma manual y muy selectiva. Su utilización y el desarrollo de nuevos productos elaborados a base de xoconostle son resultado del conocimiento local o tradicional que existe en condiciones específicas de grupos indígenas (Díaz *et al.*, 2005).

Los frutos del xoconostle son la parte más aprovechada de la planta, debido a su versatilidad gastronómica, aporte nutricional y valor medicinal superior al de otras frutas en sus diversos componentes (Scheinvar *et al.*, 2010). En forma de alimento además de consumirse crudo, lo podemos encontrar con frecuencia en la gastronomía del Valle del Mezquital en carne de cerdo con verdolagas, caldo de res con verduras, mole de olla y deshidratado o como verdura en salsas y ensaladas. Se ha dado valor agregado diversificando sus usos, recientes e innovadores, se emplea a los xoconostles como materia prima en la elaboración de salsas, mermeladas, sazónadores, confitería, gomitas, vinos, licores, agua fresca, orejones, pulpa cristalizada, galletas (harina), néctar, ate, tartas, helado, conservas, miel y almíbar.

Las flores se consideran también una verdura y se pueden consumir como tales, por lo que son utilizadas en la elaboración de platillos tradicionales como sopas, caldos y guisos; y en el tratamiento de padecimientos como el crecimiento de la próstata (Jonas *et al.*, 1998). Otros usos medicinales promovidos en el Valle del Mezquital son como agente reductor de: anemia, sobrepeso, fatiga, acidez, hipertensión, concentración de la glucosa y colesterol en la sangre; como laxante en el tratamiento de la colitis; desintoxicante y antiinflamatorio. Además se ha comprobado científicamente su beneficio en el tratamiento de la gastritis, aterosclerosis, diabetes, hipertrofia prostática, disminución del nivel de estrés oxidativo y la circulación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos (Herwood, 1990; Frati *et al.*, 1990; Palevitch *et al.*, 1993; Tesorerie *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2005) y también en padecimientos crónicos tales como: dolor reumático, fragilidad capilar, vejez del hígado y úlceras estomacales (Muñoz de Chávez *et al.*, 1995; Domínguez, 1995).

2.2.3. Estudios sobre xoconostle

Entre los estudios realizados a la planta y frutos del xoconostle destacan por su importancia el de botánica, llevado a cabo por Bravo (1978) donde se detallan sus características morfológicas y de localización geográfica. Mayorga *et al.* (1988) realizaron un estudio agronómico del xoconostle en la región del bajío, así como la composición en frutos de *Opuntia joconostle*. Por su parte Sánchez y Figueroa (1988) estudiaron 14 formas físicas de xoconostle en el estado de Zacatecas, las cuales determinaron peso del fruto, piel, semillas y pulpa; longitud y anchura; número de semillas y pH. Sánchez y Ortega (1996) analizaron epidermis y semillas de xoconostle cuaresmeño en tres etapas de maduración del fruto y en dos épocas de muestreo; estos autores determinaron pH, humedad, proteína, ácidos grasos, hidratos de carbono solubles y ácidos orgánicos. Sánchez (2006) realizó extracción y estudio del

comportamiento de los pigmentos (betalainas) de *Opuntia joconostle* en distintas combinaciones de temperaturas y pH. Morales (2009) determinó la composición fitoquímica funcional (antioxidantes, fibras insolubles y polifenoles), su efecto terapéutico y resultado hipoglucemiante en ratas diabéticas.

Según estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010), el consumo de xoconostle aporta al organismo cantidades significativas de fibra, minerales, vitamina C y antioxidantes. Su cáscara es rica en nutrientes, incluso más que la pulpa. La concentración de fenoles solubles, betalainas y vitamina C, supera a la de otros frutos como la fresa, mora azul y cereza.

2.3. Alimentos funcionales

La relación entre dieta y salud ha evidenciado que muchos alimentos contienen componentes que resultan benéficos para el organismo. El estilo de vida moderno dificulta una relación armoniosa entre una dieta sana, variada y equilibrada, a consecuencia de ello surgen en el mercado los alimentos funcionales, los cuales buscan compensar los desequilibrios alimentarios y convertirse en un agente preventivo ante la mayoría de las enfermedades, las cuales se consideran resultado de un desajuste alimentario y el aumento de estrés, lo que provoca que no se ingieran o aprovechen las cantidades nutrimentales diarias necesarias, este comportamiento además va de la mano con cambios socioeconómicos y demográficos (European Food Information Council, 2006).

Hasta el momento no existe un acuerdo para definir de manera única a los alimentos funcionales. Según Chasquibol *et al.* (2003) podrían definirse como “cualquier alimento natural o procesado, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y mental de

una persona”. Los alimentos funcionales como concepto, tienen su origen en la década de 1980 en Japón, donde las autoridades de sanidad notaron que para garantizar una mejor calidad de vida y disminuir el gasto en salud pública, era necesario desarrollar alimentos enfocados específicamente a mejorar la salud y disminuir el riesgo de contraer enfermedades (Japanese Ministry of Health and Welfare, 2000).

Pese a lo anterior, no existe consenso internacional en cuanto a la definición y clasificación de los alimentos funcionales. La Unión Europea considera como tal a aquellos alimentos que se consumen como parte de una dieta saludable y contienen compuestos biológicamente activos, que además de ofrecer beneficios a la salud, reducen el riesgo de contraer enfermedades. “La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) no considera ninguna definición universalmente aceptada, en su caso definen a los alimentos funcionales como un alimento que provee beneficios más allá de la nutrición básica proporcionada por dicho alimento. El beneficio adicional se debe a un componente que ofrece beneficios físicos o biológicos” (Ford y Dahl, 2016). Por mencionar solo algunos ejemplos de alimentos funcionales están aquellos que contienen además de minerales y vitaminas, ácidos grasos, fibra y aquellos a los que se les han añadido sustancias biológicamente activas como los fitoquímicos u otros antioxidantes y prebióticos (Guía de Alimentos Funcionales, s.f.). Algunos de estos componentes pueden extraerse de frutas o vegetales. Según el estudio realizado por Trejo *et al.* (2016) el xoconostle es un fruto que posee un contenido elevado de antioxidantes, cuyo consumo puede abatir efectos adversos.

De manera general los alimentos funcionales se dividen en aquellos que contienen de forma natural los componentes bioactivos y aquellos a los que les han sido adicionados de forma exógena (Ford y Dahl, 2016).

2.3.1. Importancia de las plantas como fuente de alimentos funcionales

Las plantas contienen fitoquímicos que se caracterizan por ser componentes bioactivos y muestran propiedades farmacológicas. Algunos de estos compuestos están presentes en alimentos funcionales de origen vegetal que son elementos indispensables de una dieta cotidiana, los cuales además de exhibir propiedades nutritivas, poseen efectos terapéuticos asociados a su contenido (Drago *et al.*, 2006).

Los fitoquímicos de origen vegetal son de interés a la industria farmacéutica, debido al potencial terapéutico para la obtención de fármacos inocuos y efectivos en el tratamiento de infecciones bacterianas, fúngicas y enfermedades crónico-degenerativas. Todo ello demanda un conocimiento profundo de sus propiedades para estimar sus efectos terapéuticos y potencial toxicidad (Drago *et al.*, 2006).

Los japoneses clasifican los alimentos funcionales en tres categorías: 1). A base de ingredientes naturales; 2). Alimentos como parte de una dieta diaria; y 3). Alimentos que al consumirse cumplen un papel específico en las funciones del cuerpo humano, las cuales son: mejoramiento de los mecanismos de defensa biológica, prevención o recuperación de alguna enfermedad específica, control de las condiciones físicas y mentales, y retardo en el proceso de envejecimiento.

2.3.2. Clasificación de los compuestos fitoquímicos funcionales

Los avances científicos en la industria alimentaria han demostrado que las sustancias fisiológicamente activas presentes en los alimentos y junto con los nutrientes

esenciales, cumplen la función de ayudar a mantener una vida saludable (Caragay, 1992). El término fitoquímico constituye la evolución del término alimentos funcionales y enfatiza las fuentes vegetales de la mayoría de los “compuestos preventivos de enfermedades” (Chasquibol *et al.*, 2003).

Para Cenobio-Galindo *et al.* (2015) “el xoconostle es considerado un objetivo atractivo para la industria alimentaria, respecto a su composición nutricional, así como sus propiedades antioxidantes”. En otro estudio, Morales *et al.* (2012) encontraron evidencia concluyente de que los frutos de *Opuntia joconostle* son una fuente importante de compuestos fenólicos, flavonoides y tocoferoles que destacan por su capacidad antioxidante. De acuerdo a ello, la pulpa y cáscara del xoconostle se considera un alimento funcional (Guzmán, 2010).

Cuadro 1. Clasificación de los compuestos fitoquímicos.

| Grupo | Subgrupo | |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1. Terpenos | 1.1. Carotenoides | 1.2.1. Betacarotenos |
| | 1.2. Limonoides | |
| 2. Fitoesteroles | | |
| 3. Fenoles | 3.1. Flavonoides | 3.3.1. Antocianinas |
| | 3.2. Isoflavonas | 3.3.2. Catequinas y |
| | 3.3. Otros compuestos fenólicos | Ácidos Gálicos |
| 4. Lignanos | | |
| 5. Tioles | 5.1. Glucosinolatos | |
| | 5.2. Sulfidos Alílicos | |
| | 5.3. Índoles | |
| | 5.4. Isoprenoides | |
| 6. Tocoferoles y tocotrienoles | | |

Fuente: Chasquibol *et al.*, 2003.

III. JUSTIFICACIÓN

El xoconostle posee una composición química y un valor nutritivo superior al de otros frutos de consumo masivo, estas características hacen que sea un alimento potencial para ser sometido a procesos de transformación como la concentración y la deshidratación. Este fruto es una fuente importante de compuestos funcionales tales como la fibra, mucílagos, pigmentos, minerales y vitamina C; todos estos son muy apreciados desde el punto de vista de la alimentación saludable y como parte de nuevos alimentos.

La relación de estos componentes con la salud, la nutrición y la prevención de algunas enfermedades motivan la caracterización de sus componentes, así como el estudio del índice de actividad antioxidante en los xoconostles. Los nuevos estilos de vida moderna han propiciado que se abandonen hábitos de alimentación saludables, provocando desequilibrios y desajustes en el cuerpo, relacionado con el aumento de enfermedades.

Frente a los alimentos funcionales, los alimentos procesados pierden terreno en la preferencia de los consumidores, aunado a esto, la evidencia científica es clara al demostrar que las dietas basadas en un alto consumo de vegetales, además de proporcionar los nutrientes tradicionales, poseen otros elementos que contribuyen a reducir enfermedades. Así mismo, el xoconostle es un importante recurso de reforestación y recuperación de suelos degradados con impacto económico para el Valle del Mezquital.

México al ser el país con mayor variedad de opuntias cuenta con una marcada ventaja comparativa y económica si aprovecha el potencial de todas estas variedades. Si bien

el precio del xoconostle en la región es bueno, falta fortalecer el mercado nacional e internacional, lo que se traduciría en beneficio de quienes lo producen, especialmente en las zonas áridas o semiáridas del país.

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas, químicas y antioxidantes del fruto xoconostle burro (*Opuntia joconostle* Weber).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física y químicamente el fruto xoconostle.
- Evaluar el contenido de fenoles totales.
- Determinar las propiedades antioxidantes del xoconostle por el método DPPH.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Estrategia experimental en la caracterización física, química y antioxidante del xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber)

En la figura 2 se especifica la estrategia a seguir en el proceso experimental, el cual se dividió en 4 etapas. La primera etapa se destinó al análisis de las características físicas y estructurales de los frutos. En la segunda etapa se analizaron las propiedades químicas del fruto en su totalidad. En la etapa tres se realizó el análisis proximal y en la cuarta etapa se refirió a la caracterización de los compuestos antioxidantes de los xoconostles.

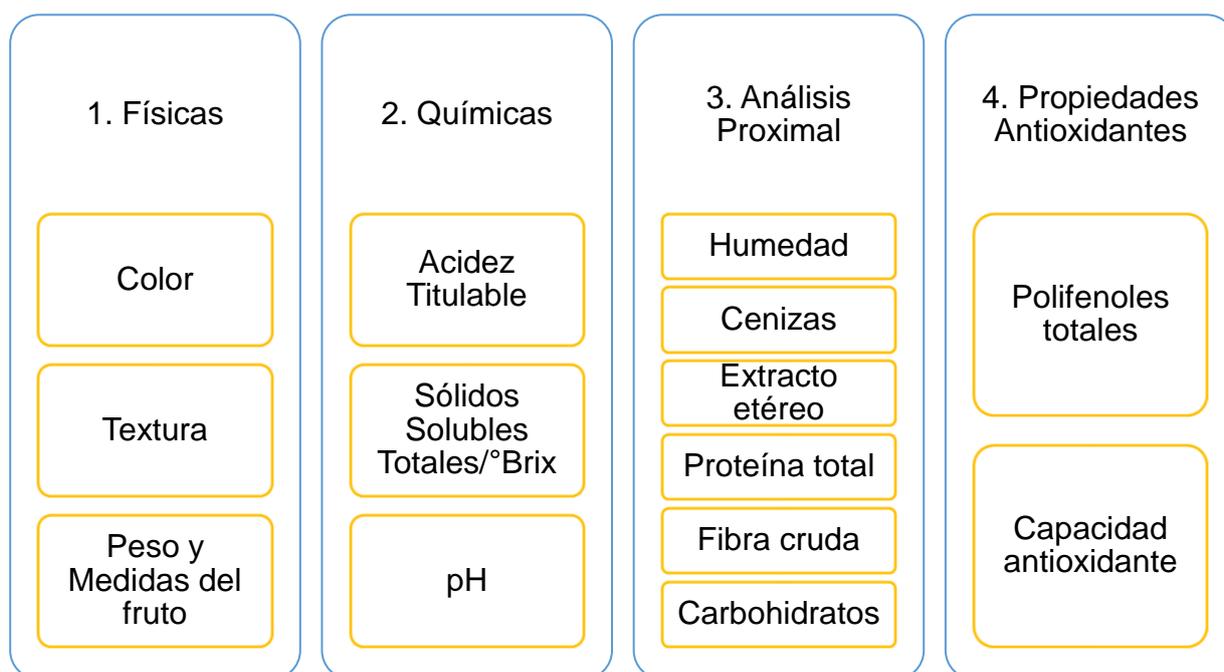


Figura 2. Estrategia general del proceso experimental. Fuente: elaboración propia.

5.2. Material vegetal y ubicación del experimento

Para este experimento fueron utilizados frutos de *Opuntia joconostle* Weber (Figura 3) que fueron recolectados en plantaciones del Valle del Mezquital, específicamente en la zona sureste del municipio de Ixmiquilpan, en la localidad de Julián Villagrán que se ubica a 1943 m s. n. m., en las coordenadas 20° 23' 47.00" N y 99° 06' 15.26" O; una vez realizada la limpieza (eliminación de espinas), clasificación y selección de los frutos, se procedió a la realización de las determinaciones correspondientes; cada uno de los análisis fue realizado por triplicado. Posteriormente se almacenaron en refrigeración en bolsas herméticas a 4°C para posteriores análisis y usos.



Figura 3. Frutos de *O. joconostle* Weber recolectados en el municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

5.3. Análisis Físicoquímicos en xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber)

5.3.1. Determinación de color (L^*a^*b)

La determinación del color se llevó a cabo en 24 frutos maduros sin daños mecánicos o fisiológicos (Figura 4) en su estructura, con un colorímetro (Minolta CR-400/410), tomando como base el sistema CIE L^*a^*b , donde L^* es la luminosidad (que va desde 0 para negro, hasta 100 para blanco), a^* es la tendencia del color verde (-), hasta el

rojo (+) y b^* es la tendencia del color azul (-) al amarillo (+) (CIE, 1978). El colorímetro se calibró con el color blanco, la lectura se tomó a temperatura ambiente (25 ± 1 °C), en tres puntos de la cáscara de cada fruto y se reportan los valores promedio (Figura 5). Las coordenadas polares de color, también conocidas como pureza o saturación (C^* = Chroma) y ángulo de matiz o tono (h° = valor Hue), se calcularon mediante las ecuaciones $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$ para a^* y b^* positivos (Figura 5).



Figura 4. Frutos de *O. joconostle* Weber, seleccionados para realizar la medición de color.



Figura 5. Medición de color en frutos de *O. joconostle* Weber de acuerdo al sistema CIE $L^*a^*b^*$.

5.3.2. Evaluación de textura

La textura fue evaluada en trece frutos maduros e intactos, con un texturómetro EZ-SX short (Debendorf, Suiza); se utilizó un punzón de 3 mm de diámetro a una distancia de penetración de 5 mm en pulpa y 2.5 mm en cáscara, a una velocidad de 1 mm/s. El análisis se realizó a temperatura ambiente ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$). Los resultados fueron reportados en N (Newton). El punzón se ubicó en un área libre de espinas.

5.3.3. Determinación de peso y tamaño en fruto

De los frutos recolectados, se seleccionó una muestra de 64 de acuerdo a su tamaño y color. Se procedió a determinar su peso con una balanza de precisión de 2000 g SCOUTTM Pro OHAUS (Figura 6); los datos de longitud y diámetro se obtuvieron a través de un vernier digital de 15 cm STAINLESS HARDENED (Figura 7).

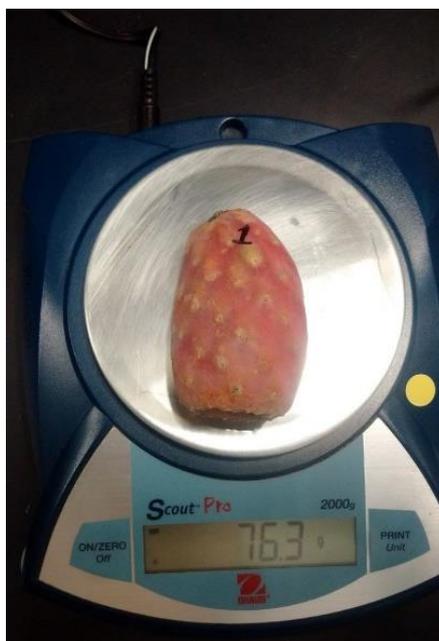


Figura 6. Determinación del peso de frutos de *O. joconostle* Weber.

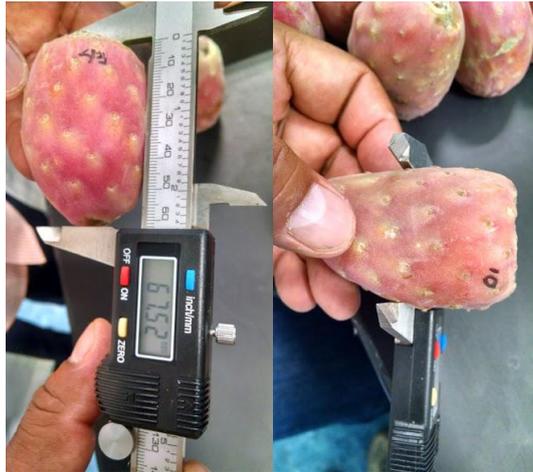


Figura 7. Determinación de longitud y diámetro en frutos de *O. joconostle* Weber.

5.3.4. Determinación de acidez titulable (AT)

La acidez titulable representa los ácidos orgánicos en los frutos de xoconostle. La determinación de acidez se realizó de acuerdo al procedimiento AOAC (2006), donde se utilizó 1 g de pulpa, una solución valorada de NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador. Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico.

5.3.5. Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)

Los sólidos solubles totales (SST o °Brix) se determinaron con un refractómetro manual (ATAGO) y los resultados se reportaron como °Brix con corrección por temperatura (-0.0001 °Brix por cada °C arriba de los 20°C y -0.0001 °Brix por debajo de los 20°C) (AOAC, 1990).

5.3.6. Determinación de pH

Se determinó mediante el método AOAC (2000) que consta de la inmersión directa del electrodo en el jugo de fruto. Se midió con un potenciómetro digital portátil (Eco Testr pH2 OAKTON, E.U.A.).

5.4. Análisis proximal en xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber)

5.4.1. Determinación de humedad

La humedad se determinó por pérdida de peso en horno de secado (TERLAB) a 100°C hasta peso constante, por 4 horas, de acuerdo a la NOM-116-SSA1-1994. Los análisis se realizaron por triplicado. Para el cálculo de la humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

Donde:

M1= Peso del crisol

M2= Peso del crisol con muestra húmeda

M3= Peso del crisol con muestra seca

5.4.2. Determinación de cenizas

Se determinó por el método de calcinación de acuerdo a la NMX-F-607-NORMEX-2013, a 550 °C por 5 horas en mufla (Scorpion Scientific, A-52230). Luego de obtener el peso seco de los crisoles de porcelana, se pesó en cada uno de ellos un gramo de muestra homogénea, se colocó el crisol con la muestra durante una hora en el horno de secado a una temperatura de 100 °C. Se calcinó la muestra al colocar el crisol en la mufla a una temperatura de 550 °C por 5 horas. El análisis se realizó por triplicado. El cálculo del contenido de cenizas se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{[(C - A) - (D)]}{B} * 100$$

Donde:

C= Peso del crisol con cenizas (g)

A= Peso del crisol vacío (g)

B= Peso de la muestra (g)

D= Peso del blanco de reactivos

5.4.3. Determinación del contenido de extracto etéreo

Se determinó de acuerdo a la AOAC (2000). Se pesaron 2 g de muestra en papel filtro, destarando el peso del papel. Se colocó la muestra en un cartucho para extractor y se agregaron 60 mL de hexano. Después de 2 horas el cartucho se colocó en el horno a 130 °C por una hora más. Una vez secada la muestra, se colocó el cartucho dentro del desecador por 2 horas y posteriormente se pesó cada cartucho. El análisis se realizó por triplicado. El contenido de extracto etéreo se calculó de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ extracto etéreo} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i= Peso inicial de la muestra seca (g)

P_f= Peso final de la muestra desengrasada (g)

5.4.4. Determinación del contenido de proteína total

Se realizó por el método Kjeldahl (NOM-051-SCFI/SSA1-2010). Este método se basa en la combustión en húmedo de la muestra por calentamiento de ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores de diferentes tipos para llevar a reducción

el nitrógeno orgánico de la muestra hasta amoniaco, se presenta como sulfato de amonio. El digerido una vez que ha sido alcalinizado, se destiñó en forma directa o por arrastre de vapor para desprender el amoniaco retenido. Al concluir, se tituló con un álcali estándar para dar el contenido de nitrógeno orgánico.

5.4.5. Determinación del contenido de fibra cruda

Se determinó por digestión secuencial de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio de acuerdo al método descrito por la AOAC, 1997.

5.4.6. Determinación del contenido de azúcares totales y reductores

Los carbohidratos (azúcares totales y reductores) se cuantificaron mediante el método de Dubois *et al.* (1956), a una longitud de onda de 490 nm en un espectrómetro (Genesys 10S UV-visible Thermo Scientific); la curva estándar se realizó con glucosa. Se pesó 0.5 g de muestra y se mezcló con 10 mL de H₂SO₄ 1.5 N, se calentó la muestra a 100 °C durante 15 minutos, posteriormente se adicionaron 10 mL de etanol al 70%, 0.5 mL de sulfato de zinc y 0.5 mL de K₄ [Fe(CN)₆]. Los análisis se realizaron por triplicado.

5.5. Evaluación de la actividad antioxidante en xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber)

La preparación del extracto de xoconostle se realizó con base al método descrito por Pérez-Jiménez y Saura-Calixto (2007) y Rojas *et al.* (2008). Se pesaron 0.5 g de muestra, se adicionaron 10 mL de metanol/agua acidificado con HCl 2N (50:50 v/v, pH 2) aislado de la luz. Se mantuvo en agitación a una temperatura de 50 °C por 30 minutos, posteriormente se centrifugó a 6000 rpm por 15 minutos a 4 °C, el sobrenadante se almacenó en obscuridad a 4°C. El residuo se sometió a una segunda

extracción con 10 mL de acetona/agua (70:30 v/v), se centrifugó y recuperó sobrenadante. Se realizaron cuatro extracciones acetona/agua (70:30 v/v). Se reúnen los cinco sobrenadantes y se llevan a un volumen de 50 mL con agua destilada, posteriormente los extractos se almacenaron a -20 °C en obscuridad hasta su uso.

5.5.1. Determinación de compuestos fenólicos totales

Se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Rojas *et al.* (2008). Se preparó una curva de calibración con ácido gálico. 20 µL del extracto se mezclaron con 1.58 mL de agua destilada y 100 µL de una solución al 10 % del reactivo Folin-Ciocalteu. Se agitó vigorosamente en vortex, se dejó reposar en la obscuridad por 5 minutos. Se adicionaron 300 µL de una solución al 20 % de bicarbonato de sodio, se agitó y se dejó 2 horas en reacción a temperatura ambiente. La absorbancia se mide a 765 nm en el espectrómetro (Genesys 10S Uv-visible Thermo Scientific). Los resultados se expresan en mg AG/100g de muestra. Los análisis se realizaron por triplicado.

5.5.2. Evaluación de la actividad antioxidante por el método DPPH

La actividad antioxidante se determinó por inhibición del radical libre (DPPH), mediante el método descrito por Brand-Williams *et al.* (1995) y Molyneux (2004). Se preparó una solución DPPH de 0.1 mM en metanol. Se ajustó la absorbancia con metanol a 0.7 ± 0.1 . A 3.9 mL de esta solución se añadió 0.1 mL de extracto del fruto o disolución Trolox y se agitó por 30 segundos. La absorbancia se midió a 515 nm después de 30 minutos de iniciada la reacción en espectrómetro (Genesys 10S UV-visible Thermo Scientific). Para la curva de calibración se utilizó trolox. Los resultados se expresan como mmol ET/100 g. Los análisis se realizaron por triplicado.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Características de color

Las coordenadas cromáticas, saturación y tonalidad de xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber) se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Coordenadas cromáticas en frutos de xoconostle.

| Parámetro | <i>Opuntia joconostle</i> | <i>Opuntia matudae</i> (Morales, 2009) |
|---------------------|---------------------------|---|
| <i>Color</i> | | |
| L* | 48.26±2.28 | 53.33±3.71 |
| a* | 16.02±3.18 | 11.86±7.00 |
| b* | 9.52±2.21 | 11.56±4.60 |
| Croma | 18.77±1.42 | NR |
| Ángulo de tono (h°) | 1.03±0.12 | NR |

Los datos están expresados como medias de n=24 muestras ± desviación estándar. NR= no reportado.

La coordenada L* (luminosidad) fue de 48.26, menor a lo reportado por Morales (2009); así también el valor de b*. El valor de L* se encuentra dentro de un rango intermedio, lo que indica un color opaco. El valor de b es positivo, lo que indica la tendencia del color hacia el amarillo. En la coordenada a* el fruto presentó valores superiores a lo reportado por Morales (2009) y; Ochoa y Guerrero (2012), de 11.86 y 9.68, dado el valor positivo, indica que el color es cercano al rojo; los frutos tienen una coloración de rosada a roja. Los valores de cromaticidad fueron; C= 18.77 y de tono h°=1.03. Estos autores indicaron que las coordenadas cromáticas de los frutos de xoconostle presentan diferencias de acuerdo a la especie, zona de cultivo y temperaturas de almacenamiento.

6.2. Textura

Para esta prueba se utilizaron frutos maduros, sin daños mecánicos visibles; el valor promedio fue de 8.82 ± 1.74 N en la medición instrumental. De acuerdo a Mercado-Flores *et al.* (2010), las propiedades mecánicas de cualquier fruto son un importante indicador de su vida de anaquel. La percepción de la textura es una experiencia humana que surge de la interacción con el alimento, al momento de manipularlo o comerlo; es además un parámetro de control de calidad en la selección o rechazo del mismo (INIAP, 2004).

Los valores alcanzados en cuanto a textura, permiten establecer que los xoconostles son un fruto resistente al manejo postcosecha, aún en condiciones mínimas de refrigeración y empaque, sin que se afecte sustancialmente su vida de anaquel y su presentación.

6.3. Peso y tamaño

En el cuadro 3 se observan los resultados de peso y tamaño del fruto de xoconostle. El peso del fruto es similar a lo reportado por Sánchez (2006) y Morales (2009). Los frutos colectados de xoconostle burro presentan forma elíptica y periforme, de acuerdo al Manual gráfico para la descripción varietal del nopal tunero y xoconostle de Gallegos-Vázquez *et al.* (2005). De acuerdo a Morales (2009) el peso del fruto, pulpa, cáscara y semilla son diversos y dependen en gran medida de la variedad de xoconostle.

Cuadro 3. Peso y tamaño de xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>Opuntia joconostle</i> Weber | Referencia | | |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | | Sánchez (2006) | Morales (2009) | Pinedo-E. (2014) |
| <i>Dimensión y peso</i> | | | | |
| Largo (mm) | 68.82±6.64 | NR | 49.1±5.4 | 58.4 |
| Diámetro (mm) | | | | |
| corona | 40.82±5.03 | 51.0±9.5 | NR | NR |
| ecuatorial | 44.10±5.20 | 44.0±4.5 | 42.5±3.4 | 43.8 |
| base | 30.38±5.03 | NR | NR | NR |
| Peso (g) | 56.06±12.44 | 58.7±13.9 | 56.96±9.37 | NR |

Los datos están expresados como medias de n=64 muestras ± desviación estándar. NR= No Reportado.

6.4. Acidez Titulable

Los resultados de acidez se muestran en el cuadro 4. Se puede observar similitud en los resultados reportados por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) para cuatro genotipos de xoconostles cultivados en los estados de Hidalgo y Zacatecas. En los frutos de xoconostle, generalmente se aprecia una tendencia a aumentar la concentración de acidez a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento.

Cuadro 4. Acidez titulable de Xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | xoconostle | Pinedo-Espinoza <i>et al.</i> (2014) | | | |
|---|------------|--------------------------------------|-------|---------|-----------|
| | | Variedad | | | |
| | | Invierno | Chivo | Borrego | Querétaro |
| Acidez titulable (% de ácido cítrico) | 0.12±0.3 | 0.15 | 0.11 | 0.14 | 0.087 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

6.5. Sólidos Solubles Totales (°Brix)

El contenido de sólidos solubles totales se determinó en frutos completos de xoconostle, el promedio fue de 11.5±0.58 ° Brix, resultado superior a lo reportado por

Mayorga *et al.* (1988), Morales (2009) y Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) para frutos cosechados en el estado de Hidalgo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Sólidos Solubles Totales en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>Opuntia joconostle</i> | Mayorga (1988) | Referencias | |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| | | | Morales (2009) | Pinedo-Espinoza (2014) |
| Sólidos Solubles Totales (° Brix) | 11.5±0.58 | 5.32 | 5.83-6.32 | 5.3-8.6 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar

6.6. pH

En el cuadro 6 se muestran los resultados de pH en el fruto. Una de las principales características de este fruto es su acidez. Se obtuvo un valor de 3.8±0.05, similar a lo reportado por Scheinvar (2004), García-Pedraza *et al.* (2005) y Sánchez (2006). La acidez del xoconostle varía según su grado de madurez; su pH bajo resulta ser un factor de protección que impide el crecimiento de microorganismos patógenos, lo que representa una ventaja en relación a la inocuidad de los productos elaborados con este fruto (Scheinvar, 2004).

Cuadro 6. pH en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>O. joconostle</i> | Scheinvar (2004) | Referencias | |
|-----------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| | | | García-Pedraza (2005) | Sánchez (2006) |
| pH | 3.8±0.05 | 3.7 | 3.2 | 3.5 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

6.7. Humedad

El porcentaje de humedad del fruto se muestra en el cuadro 7. Los frutos de xoconostle están conformados en su mayoría por agua, los resultados son similares a los reportado por Sánchez (2006) y Martínez Soto *et al.* (2012).

Cuadro 7. Humedad en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>Opuntia joconostle</i> | Referencias | |
|-------------|---------------------------|----------------|------------------------------------|
| | | Sánchez (2006) | Martínez-Soto <i>et al.</i> (2012) |
| Humedad (%) | 88.60±3.39 | 82.56±0.55 | 89.09-90.6 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

La evaluación del contenido de agua en un alimento es una necesidad industrial que limita principalmente la vida de anaquel, proporciona información acerca de las condiciones necesarias de procesamiento y almacenamiento, así como parámetros de calidad del producto en cuestión (Filardo *et al.*, 2010).

6.8. Cenizas

El porcentaje de cenizas fue de 0.88±0.03%, superior al encontrado en la misma variedad por Sánchez (2006) y menor a los valores de Morales (2009) y Canuto (2010) como se aprecia en el cuadro 8.

Cuadro 8. Cenizas en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>Opuntia joconostle</i> | Referencias | | |
|-------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Sánchez (2006) | Morales (2009) | Canuto (2010) |
| Cenizas (%) | 0.88±0.03 | 0.783±0.0056 | 0.92-1.03 | 13.35±0.4867 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

6.9. Extracto Etéreo

El contenido de lípidos del xoconostle fue 2.74 ± 0.42 %, similar al reportado por Pérez Sánchez *et al.* (2015) de 2.97 ± 1.04 en frutos de *O. ficus-índica*.

La grasa formada por lípidos y otros elementos que no lo son (clorofila, pigmentos, compuestos orgánicos volátiles, vitaminas, entre otros) tienen como carácter común el ser solubles en disolventes específicos. Se denomina extracto etéreo debido a la utilización de hexano como disolvente.

6.10. Proteína total

El contenido proteico fue de 0.46 ± 0.002 %, comparable al resultado de 0.42 % reportado por Cerezal y Duarte (2005) en frutos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Lo anterior coincide con lo expuesto por Bensandón *et al.* (2010) quienes señalan que el contenido de proteínas es relativamente bajo en los frutos de xoconostle y otros *Opuntia*.

6.11. Fibra cruda

El contenido de fibra cruda fue de 17.5 %, comparable con García-Pedraza *et al.* (2005) y superior al reportado por Morales (2009) y Canuto (2010) (Cuadro 9). La fibra de un alimento es aquella porción que no resulta afectada como resultado del proceso digestivo del cuerpo, incluye a todos los compuestos que no son digeribles por las enzimas del intestino humano, pueden ser fibrosos o no. Solamente una pequeña cantidad de la fibra presente en los alimentos es metabolizada en el estómago y el intestino, el resto pasa directamente del tracto gastrointestinal a formar parte de las heces. El consumo de fibra se relaciona con una dieta saludable, pues entre otras cosas ayuda a controlar y mantener el peso.

Cuadro 9. Fibra cruda en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>O. joconostle</i> | Referencias | | |
|-----------------|----------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| | | García-Pedraza <i>et al.</i> (2005) | Morales (2009) | Canuto (2010) |
| Fibra Cruda (%) | 17.5±1.33 | 16.7 | 12.0 | 8.99±0.2057 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

6.12. Azúcares totales y reductores

Los resultados se muestran en el cuadro 10. Se observa un menor contenido de azúcares totales con respecto a lo reportado por Pinedo *et al.* (2014) para 3 variedades diferentes de xoconostle cosechados en el estado de Hidalgo. En relación a los azúcares reductores el valor más alto se encontró en los frutos de *Opuntia joconostle* Weber 0.9655 mg/g, representando un contenido mayor frente a lo determinado por citados autores.

Cuadro 10. Azúcares totales y reductores en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | <i>O. joconostle</i> (burro) | Referencia: Pinedo <i>et al.</i> (2014) | | |
|----------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|
| | | <i>O. joconostle</i> (Manso) | <i>O. joconostle</i> (Manzano) | <i>O. joconostle</i> (Ulapa) |
| Azúcares Totales (mg/g) | 5.4873±0.953 | 16.7 | 12.0 | 8.99±0.2057 |
| Azúcares Reductores (mg/g) | 0.9655±0.362 | 0.17 | 0.16 | 0.84 |

Los datos están expresados como medias de n=3 ± desviación estándar.

6.13. Polifenoles Totales

En el cuadro 11 se muestran los valores del contenido total de fenoles. Se observa un alto contenido de fenoles 332.50 mgAG/100g respecto a la reportado por Morales (2009), Osorio-Esquivel *et al.* (2011) y Hernández-Fuentes *et al.* (2014) debido a la variedad utilizada en cada estudio.

La concentración obtenida de polifenoles totales en xoconostle es similar a la reportada para el capulín (*Prunus Serotina*) de 348.94±1.88 mgAG/100g, fruto también representativo del Valle del Mezquital, por Castañeda-Ovando *et al.* (2012).

Cuadro 11. Polifenoles totales en xoconostle (*Opuntia joconostle*).

| Parámetro | | Referencias | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------|--------------------------------------|--|
| | | Morales (2009) | Osorio-Esquivel <i>et al.</i> (2011) | Hernández-Fuentes <i>et al.</i> (2015) |
| Polifenoles Totales (mgAG/100g) | 332.50±28.75 | 859.65-918.52 | 150.1±11 | 275-308 |

Los datos están expresados como medias de n=3± desviación estándar

La actividad antioxidante es derivada primordialmente por compuestos polifenólicos, los cuales son altamente efectivos como captadores de radicales libres y antioxidantes, es por eso que existe una elevada correlación entre los fenoles totales y la actividad antioxidante (Pan *et al.*, 2008).

6.14. Actividad Antioxidante por el método DPPH

La actividad antioxidante obtenida para xoconostle fue de 50±0.05 mmol ET/100 g, resultado muy superior a lo reportado en el trabajo de Hernández-Fuentes *et al.* (2014) de 8.70 a 10.26 mmol ET/100g en pulpa de diferentes variedades de *Opuntia joconostle*.

VII. CONCLUSIONES

Los frutos de *Opuntia joconostle* Weber presentan mayor tamaño y peso que otras variedades, a diferencia de otros frutos, su piel no debe ser desechada, lo que aumenta el rendimiento económico, dado que sus propiedades y características son deseables en la mayoría de los productos elaborados con xoconostle.

El contenido de sólidos solubles totales del xoconostle burro fue superior, aproximadamente en 100 % de lo reportado por otros autores. Así también, su alto contenido de humedad y de fibra cruda, sugieren que este fruto puede resultar de fácil absorción y digestión por el organismo. La concentración de azúcares reductores fue mayor a lo indicado en otros frutos de *Opuntia*.

El contenido de fenoles totales fue alto para este xoconostle, y comparable a lo reportado para algunos frutos rojos, lo que representa también una actividad antioxidante importante, de interés para la industria de alimentos y farmacéutica.

A pesar de su versatilidad de usos y bondades como alimento y remedio medicinal, el xoconostle presenta un consumo bajo en México, probablemente por la poca difusión de sus características y limitado comercio a nivel regional.

Para poder aprovechar de manera óptima su potencial como fuente de compuestos antioxidantes es necesario continuar las investigaciones y estudios sobre su industrialización y empleo en el tratamiento de enfermedades crónico degenerativas.

El Valle del Mezquital tiene el potencial para convertirse en productor de xoconostle para consumo nacional, esto podría significar una alternativa productiva y económica para la región.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acevedo, B., Montiel, M. y Avanza, J., 2004. Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico. FACENA. 20:91-95.
- Alanís, G.E., et al., 2012. Tecnofuncionalidad y nutrición molecular de compuestos bioactivos. En Biotecnología y alimentos en Hidalgo: líneas de investigación. p. 9-17.
- Alvarado y Sosa, L., 1978. Fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto del tunero (*Opuntia amyoclea tenore*). Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 87p.
- Aranceta, J. y Serra, L., s.f.. Guía de alimentos funcionales. Sociedad Española Nutrición Comunitaria. Instituto omega 3. Confederación de consumidores y usuarios. p. 6-13.
- Bensandón, S., H. Hernández, D., S. Ayerdi, S. G. y Goñi, I., 2010. Products of *Opuntia ficus indica* as a source of antioxidant dietary fiber. Plant. Food Hum. Nutr. 65:210-2016.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. y Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel Wissenschaft and Technology. 28: 25-30.
- Bravo, H. H., 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. I:743.
- Canuto, C. P., 2010. Evaluación de las características físico-químicas de dos especies de xoconostle (*Opuntia oligacantha* y joconostle) para evidenciar sus cualidades nutritivas. Tesis. UAAAN, Ciencia y tecnología de alimentos.
- Cantwell, M., 1999. Manejo postcosecha de tunas y nopalitos, pp.126-143.
- Caragay, A. B., 1992. Cancer preventive foods and ingredients. Food Technol. 46(4): 65-66.
- Castañeda-Ovando, A., et al., 2012. Análisis fisicoquímico y determinación de actividad antioxidante del capulín (*Prunus Serotina*) en Biotecnología y alimentos en Hidalgo: líneas de investigación. pp. 150-158.
- Cenobio-Galindo, A. J., Pimentel-González, D. J., Vargas-Torres, A., Güemes, V. N. y Campos-Montiel, R. G., 2015. Efecto de la adición de xoconostle microencapsulado en la actividad antioxidante de películas comestibles de almidón de chayotextle. Boletín de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 1(1):1-7.
- C.I.E., 1986. Colorimetrie. 15(2). Viena: Central Bureau of the comision internacionale of L'Eclairé.'

- Chasquibol, N. *et al.*, 2003. Alimentos funcionales o fitoquímicos, clasificación e importancia. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.* 5(2): 9-20.
- Díaz, L. F., Díaz, S. F. y Filardo, K. S., 2005. Conocimiento local y tecnología apropiada:lecciones del Alto Mezquital mexicano. *Alteridades.* 15(29): 9-21.
- Domínguez, -L. A., 1995. Review: use of fruits and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia ssp.*) in to human food. *Food. Sci. Technol. Int.* 1:65-74.
- Drago, S. M. E., López, L. M. y Sainz, E. T. R., 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas.* 37(4): 58-68.
- Dobois, M., Galles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. F., 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry Journal.* 28(3): 350-356.
- European Food Information Council, 2006. EUFIC. UE. <http://www.eufic.org/article/es/page/FTARCHIVE/artid/alimentos-funcionales/>
- Filardo, K. S., 2001. Una contribución al estudio etnobotánico de la zona del Alto Mezquital y propuesta biotecnológica para el aprovechamiento de la tuna (género *Opuntia*, subgénero *opuntia*) en tres comunidades hña hñus del estado de Hidalgo. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 45-62.
- Filardo, K. S., García, E. G., Sánchez, A. V. J., Scheinvar, L. y García, P. A., 2010. Mermelada horneable de xoconostle aplicación y uso en tartas. *La alimentación latinoamericana.* 289:48.55.
- Folin-Cicoalteu, 1927. Tyrosine and tryptophan determinations in proteins. *J. Biol. Chem.* (73):627-650.
- Ford, A. y Dahl, W. J., 2016. Alimentos funcionales. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Frati, A., Jiménez, E. & Ariza, C.R., 1990. Hypoglycemic effect of *Opuntia ficus indica* in non insulin dependient diabetes mellitus patients. *Phytother Res.* 4:195-197.
- Gallegos-Vázquez, C., Cervantes, H. J. y Medina, G. G., 2003. La cadena productiva del nopal en Zacatecas: bases para un desarrollo sostenido. Fundación Produce Zacatecas. 201p.
- Gallegos, V. C., J. Cervantes H. y A. F. Barrientos P., 2005. Manual gráfico para la descripción varietal del nopal tunero y xoconostle (*Opuntia ssp.*). pp. 70-109.
- García, M., De Pascual, S., Santos, C. y Rivas, J., 2004. Evaluation of the antioxidant properties of fruit. *J. Agric. Food Chem.* 84:13-18.
- Granados, S. A. y Castañeda, P., 1991. El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. México: Trillas. p. 227.

- Guzmán, M., 2010. Physicochemical, nutritional and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from central-Mexico region. Journal of Food Science. 75:C485-C492.
- Herwood, D. A., 1990. Human healthy discoveries with *Opuntia ssp.* (prickly pear). Hort. Sci. Vol. 25. pp. 1515-1516.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (2004). Textura de alimentos: medida instrumental y aplicaciones. pp. 1-6.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (1 de marzo, 2010). Descubre INIFAP importantes aportes nutritivos del xoconostle. La Jornada, p. S3.
- Japanese Ministry of Health and Welfare (2000). Food for specified health uses (FOSHU). Tokio.
- Jonas, A., Rosenblat, G., Krapft, D., Bitterman, W. y Neeman, I., 1998. Cactus flower extracts may prove beneficial in benign prostatic hyperplasia due to inhibition of 5 α reductase activity, aromatase activity and lipid peroxidation. Urol. Res. 26:265-270.
- Kalmbacher, G. (1976). Mi introducción personal a la flora Mexicana. Cactáceas y suculentas mexicanas. XXI(3):67-70.
- Martínez-Soto, G. *et al.*, 2012. Modelación matemática del secado solar del xoconostle. Trabajo presentado en el XIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Monterrey, Nuevo León, México. pp. 339-347.
- Mayorga, V. M., Urbiola, M., Suárez, R. y Escamilla, S., 1988. Estudio agronómico de xoconostle (*Opuntia ssp.*) en la zona semiárida del estado de Querétaro. Trabajo presentado en la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional: El Nopal. Saltillo, Coahuila, México. pp. 239-245.
- Mercado F., 2010. Evaluación de la vida de anaquel de diferentes variedades de xoconostle en fresco (*Opuntia ssp.*) del suroeste del estado de Guanajuato. Trabajo presentado en el XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, México. pp. FH1161-FH1171.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylcricyl-hydrazyl (DPPH) for stimating antioxidant activity. Songklanakarin J. Sci. Technol. 26(2):211-219.
- Morales, A., 2009. Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (*Opuntia matudae*) y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas. Tesis de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Recuperado de: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/2741/1/RI002583.pdf>

- Morales, P., Ramirez-Moreno, E., Sanchez-Mata, M., Carvalho, A. & Ferreira, I. (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food. Research International*. 46:279-285.
- Muñoz, A., Ramos, D., Alvarado, C. y Castañeda, B., 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 73(3):142-149.
- Muñoz de Chávez, M., Chavez, A., Valles, V. & Roldan, J. A. (1995). A plant of manifold qualities. In world review of nutrition and dietetics. Switzerland: Karger. pp. 77, 109-134.
- Palevitch, D., Earon, G. Levin, I., 1993. Treatment of benign prostatic hypertrophy with *Opuntia ficus-indica*. *J. Herbs spices Med. Plants*. 2:45-49.
- Pérez, J. J. y C. Saura, F., 2007. Metodología para la evaluación de la capacidad antioxidante en frutas y hortalizas. Trabajo presentado en el V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. pp. 1050-1160.
- Pérez, S. R. E., L. A. Delgado S., P. A. García S., J. Pulido, R. Ortiz R., 2015. Caracterización, modelación morfométrica y análisis proximales de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia atropes* durante las épocas de estiaje y lluvias. *Nova Scientia*. 7(15):145.
- Pinedo-Espinoza, J. M., Gallegos-Vázquez, C., Trápala-Islas, A., Franco-Bañuelos, A. y Hernández-Fuentes, A. D. (2014). Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de xoconostles (*Opuntia ssp.*) de Hidalgo y Zacatecas, México. *Revista científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* vol. 2(2):71-79.
- Pinedo, E. J. M., C. Gallegos V. C. L. González de la R., R. G. Campos M. y A. D. Hernández F., 2014. Azúcares reductores y azúcares totales en 10 genotipos de nopales productores de xoconostles (*Opuntia ssp.*) de Hidalgo y Zacatecas, México. *Revista científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 2(3):211-215.
- Rojas, B.D.R., Narváez, C.E.C., Restrepo, S.L.P., 2008. Evaluación del contenido de vitamina C, fenoles totales y actividad antioxidante en pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) de las variedades pera, regional roja y regional blanca. *Red-Alfa Lagrotech*. pp. 49-60.
- Sánchez, G. N., 2006. Extracción y caracterización de los principales compuestos pigmentos de *Opuntia joconostle* c.v. (xoconostle). Tesis de Maestría en Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. Recuperado de: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/1775?show=full>
- Sánchez, V. G. y Figueroa, S. B., 1988. Estudio preliminar sobre la distribución y variabilidad de *Opuntia joconostle* Weber, en el estado de Zacatecas. Trabajo

- presentado en la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional: El nopal. Saltillo, Coahuila, México. pp. 67-72.
- Sánchez, V. G. y Ortega, D. M. L., 1996. Componentes químicos durante la maduración del fruto de *Opuntia joconostle* Weber forma cuaresmeño. *agrocienca*. 30:541.
- Scheinvar, L. (2004). Flora cactológica del estado de Querétaro. Diversidad y Riqueza. México: Fondo de Cultura Económica. p. 390.
- Scheinvar, L., Sule, D. y Gaytán, A., 2010. Estado del conocimiento de las especies silvestres y cultivadas de nopal productoras de xoconostles (*Opuntia* spp.). Probable centro de origen y diversificación de los xoconostles en Sain Alto, Municipio de Sain Alto, Zacatecas. Reunión de Bioseguridad. CONABIO.
- Scheinvar, L., *et al.*, 2011. Informe final proyecto: Estado del conocimiento de las especies del nopal (*Opuntia* spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas. Recuperado de: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Opuntia/Informe_Final/Informe%20final%20Opuntia.pdf
- Stintzing, F. C. *et al.*, 2005. Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *J. Agric. Food. Chem.* 53:442-451.
- Tesorerie, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari, M. y Livrea, M. A., 2005. Distributions of betalains pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *J. Agric. Food chem.* 53:1266-1270.
- Trejo, S. G., Aguirre, A. G., Campos, M. R. y R. Jiménez A., 2016. Formulación de nanoemulsiones con compuestos antioxidantes del xoconostle (*Opuntia oligacantha* C. F. Först). *Boletín de Ciencias*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México. 2(3)1-6.