

## **Xoconostle (*Opuntia spp.*) como fuente de compuestos bioactivos para alimentos funcionales**

### **Xoconostle (*Opuntia spp.*) as a source of bioactive compounds for functional foods**

MENDOZA-MENDOZA, Bethsua\*, MONTER-JUAREZ, Francisco, ROMO-MEDELLÍN, Leiry Desireth y ESTRADA-FERNANDEZ, Ana Guadalupe

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Bethsua, Mnedoza-Mendoza* / **Google Scholar:** Q-iPpdgAAAAJ, **CVU CONACYT ID:** 373017

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Francisco, Monter-Juarez*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Leiry Desireth, Romo-Medellín* / **ORC ID:** 0000-0001-5417-3968, **CVU CONACYT ID:** 721486

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Ana Guadalupe, Estrada-Fernandez* / **Google Scholar:** 1-EiRjlAAAAJ, **CVU CONACYT ID:** 373020

**DOI:** 10.35429/P.2020.4.19.27

B. Mendoza, F. Monter, L. Romo y A. Estrada

*Cuerpo Académico de Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, México*

\*bmendoza@itesa.edu.mx

F. Trejo (Coord.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2020.

## Abstract

Mexico is a megadiverse country, in terms of natural resources specifically in flora and fauna, there are endemic fruits in each region of the country according to its climate. The central area of the country is characteristic of a semi-arid climate, which favors the prevalence of plants of the *Opuntia* genus, such as the nopal. The states of Puebla, Tlaxcala, State of Mexico and Hidalgo, are characterized by the high consumption, production and commercialization of cladodes of nopal, prickly pear and xoconostle. The latter, specifically, is the least impact of the three mentioned, since its use is rather regional. There are various scientific evidences that show this fruit as a potential of bioactive compounds such as antioxidants, fiber, vitamin, minerals and polyunsaturated fatty acids, in high proportions, compared to citrus or red fruits, which, together with its low cost, makes it that in an attractive raw material for the elaboration of functional or nutraceutical foods.

## Xoconostle, Bioactive, Antioxidant

### Introducción

El desarrollo de alimentos funcionales en los últimos años ha ido en aumento debido principalmente, al interés de la población por alimentos que, no solo cumplan con la función nutricional, sino también que tengan un efecto benéfico en la salud, reduciendo así el riesgo a padecer enfermedades tales como, sobrepeso, obesidad, diabetes e hipertensión (Cortés-Sánchez, *et al.*, 2016). La alimentación balanceada en conjunto con la actividad física, regular y adecuada, son la clave para evitar o revertir estos padecimientos, en este sentido la oferta de alimentos debe responder a estas necesidades, ofreciendo alimentos de alta calidad nutritiva, bajos en azúcar, grasas y ser lo más natural posible, sin afectar a las características organolépticas del producto.

Sin duda, existe una necesidad imperante por tener alimentos inocuos, saludables y suficientes para toda la población, lo que representa grandes retos para los profesionales en el área de la ciencia y la tecnología de los alimentos, en este sentido, existe un crecimiento abrumador en las investigaciones enfocadas en el estudio de las propiedades funcionales de los alimentos, de tal forma que estas puedan aprovecharse al máximo. Así, existe una tendencia hacia observar aquellos alimentos, endémicos, que son baratos y están al alcance de la población en todos los estratos sociales, de tal forma que se implementen nuevas tecnologías que permitan conservar las propiedades funcionales por mas tiempo durante la cadena alimentaria o que puedan incorporarse a otros alimentos de mayor consumo.

El xoconostle, un fruto endémico de las zonas semiáridas de México especialmente en los estados de Puebla, Estado de México, Hidalgo y Guanajuato, con aproximadamente 10,000 toneladas por año (Morales, *et al.*, 2015), es una excelente opción de consumo saludable. Existen algunas evidencias científicas que ponen de manifiesto, la gran cantidad de compuestos bioactivos como antioxidantes, inulina, ácidos orgánicos en incluso ácidos grasos mono y poliinsaturados, presentes en las diferentes partes del fruto. Incluso existen autores que proponen su utilización de forma integral (piel, semillas y pulpa), ya sea como ingrediente en platillos de la cocina mexicana o como materia prima para la elaboración de mermeladas, jugos, ates, y licores, además el uso de semillas y la piel para elaborar harina y enriquecer alimentos o la extracción de pigmentos para colorantes alimentarios.

Por lo anteriormente mencionado, objetivo principal de este trabajo es dar un panorama general informativo a través de la búsqueda y revisión bibliográfica sobre la caracterización química y funcional de xoconostle, así como los hallazgos reportados sobre estudios *in vitro* que revelan la funcionalidad de estos compuestos en el organismo del consumidor, para que de esta forma se puedan encontrar áreas de oportunidad que den pie o inicio hacia más investigaciones.

## Xoconostle. Generalidades

El nopal del género *Opuntia* spp. es un género de los más diversificados y abundantes en la República Mexicana, un importante cultivo hortícola en México, principalmente por sus dos variantes tunas dulces y ácidas (Canuto, 2010; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012; Valadez-Moctezuma, 2014). Los frutos dulces llamados tunas y los ácidos llamados xoconostles, en náhuatl “xococ” que significa agrio y “nochtli” tuna. Los xoconostles son frutos ácidos o agridulces producidos por cactáceas, no exclusivamente nopales, ya que en Mesoamérica se nombraba indistintamente como xoconostle a los frutos ácidos de los géneros *Cylindropuntia* DC, *Opuntia* Mill. y *Stenocereus* (Berger) Riccobono *emend.* Buxbaum. En el caso de las *Opuntia*, los xoconostles no se desprenden de los cladodios cuando maduran, persistiendo en condiciones de cultivo durante uno y hasta tres años, a diferencia de las especies productoras de tunas dulces que solo persisten 3 a 4 meses sobre ellos (Scheinval, 2011).

Desde varios puntos de vista el xoconostle es distinguido por ser un importante factor de sustento económico del campesino mexicano, quien lo utiliza en su alimentación y como medicina alternativa. Y en su importancia ecológica, por su resistencia a la sequía debido a su enorme adaptación a los cambios climáticos y su contribución a la formación del suelo. En México, los principales estados productores de xoconostle son: Estado de México, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Querétaro y en menor proporción Aguascalientes, Zacatecas y Guanajuato. Estados Unidos es el principal mercado para este producto (SADER, 2016).

Los xoconostles (*Opuntia* spp.) son frutas apreciadas por su mesocarpio carnoso y ácido, además que adicionalmente es barato. Es una baya carnosa, ovoide prácticamente, cilíndrica; sus dimensiones y coloraciones varían según la especie, es de forma umbilicada en el extremo superior lo que se debe la cicatriz que deja la flor, tiene los llamados ahuates donde se distribuyen las espinas en las areolas y conserva la humedad, lo que lo hace un fruto jugoso y fresco. Prospera en tierras altas semiáridas del centro de México, y demanda cantidades muy bajas de agua. Requieren para su desarrollo suelo arenoso, calcáreos, poco profundos y pedregosos y de preferencia con un pH alcalino, la altitud óptima está entre 800 y 2500 msnm, la temperatura óptima es de 18 a 26° C (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010; Canuto, 2010).

El mesocarpio o pulpa, que representa del 58 al 64 % del fruto, es considerada como la parte comestible del xoconostle y se utiliza como condimento en la cocina mexicana, así como en la elaboración de dulces, jaleas y bebidas. Durante la preparación de dichos productos se retira la cáscara y se extraen las semillas para ser desechadas.

La taxonomía de las *Opuntia* es complicada, debido a que la mayoría de los sistemas de clasificación contienen errores en conceptos de género y especie, además que su origen reciente las hace estar en estado activo de evolución y por lo tanto de diferenciación. Así mismo, la variación interespecífica puede deberse no sólo a cambios genéticos sino también a las diferencias en las condiciones ambientales la clasificación taxonómica más acertada es la que se muestra en la tabla 1 (Seninvar, *et al.*, 2011).

**Tabla 1** Clasificación taxonómica del nopal

Clasificación Taxonómica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnolophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Cactáceae</i>

Fuente: Seninvar, *et al.*, 2011

Existe una gran cantidad de variedades de xoconostle reconocidas en México, las cuales están registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV):

- *O. chavena griffiths*
- *O. changiana* Scheinvar & Manzanero
- *O. durangensis* Briton & Rose
- *O. elizondoana* E. Sánchez & Villaseñor
- *O. guilanchi* Griffiths
- *O. heliabravoana* Svheinvar
- *O. joconostle* F. A. C. E Weber
- *O. leucotricha* SAlm – Dyck
- *O. matudae* Scheinvar
- *O. Oligocantha* Pfeiff
- *O. olmeca* Pérez, Reyes y Brachet
- *O. scheeri* F. A. C. E Weber
- *O. Spinulifera* Salm- Dyck
- *O. thuacana* Arias y Guzman
- *O. zamudioi* Scheinvar

Los xoconostles se recolectan en los agostaderos ejidales, en el estado de México, además de aprovechamiento en solares, se cultivan en huertos comerciales, en el estado de Hidalgo en los municipios de Pachuca, Zempoala y en el Valle del Mezquital y en la zona árida Querétaro - Hidalgo, se produce *Opuntia joconostle* conocido como Burro, es el xoconostle más utilizado por los pobladores, mientras que *O. matudae* conocido como Rosa y Blanco son poco aprovechados. En México, las principales regiones de xoconostle Cuaresmeño son Puebla, Estado de México, Hidalgo y Guanajuato con una producción aproximadamente de 10000 toneladas anuales. Las especies de *Opuntia*, productoras de xoconostles, son muy útiles en la gastronomía mexicana, de este se aprovechan sus frutos, pencas y la planta completa, asimismo, como planta medicinal o vinos, constituyen un recurso vegetal utilizado principalmente en zonas áridas y semiáridas de México (Canuto, 2010; Guzmán *et al.*, 2009).

Los xoconostles silvestres son característicos del paisaje mexicano en las regiones semiáridas. Se pueden encontrar en áreas abiertas del centro de México que crecen junto a xerófitas como mezquites, huizaches y tunas. Es de fácil reproducción, se adapta a la acidez del suelo y a la gran diversidad de especies de la región no requiere de químicos para su producción (Gallegos - Vázquez *et al.*, 2014; García *et al.*, 2005; Aparicio- Fernández *et al.*, 2017).

## Composición química del fruto

Entre las características del xoconostle se puede mencionar que es uno de los frutos con mayor contenido de vitamina C, su contenido en azúcares varía desde 4.03 al 8%, su contenido en pectina es bastante aceptable frente a otras frutas y por su bajo costo y alto rendimientos, podría ser buen producto para la extracción industrial de este polisacárido, además destaca por su acidez, el pH está en los rangos de 3.7 al 4.5 a diferencia de la tuna dulce, que presenta valores entre 5.2 y 6.0, este valor tan bajo de pH, permite que el fruto de xoconostle pueda almacenarse por periodos más largos sin presentar descomposición o perder sus propiedades de sabor, color y humedad (Canuto,2010).

Aparicio, (2017) determinó las características fisicoquímicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México, caracterizó a quince variedades diferentes que pertenecen a ocho de las 29 especies reconocidas de *Opuntia* en Jalisco, México, los frutos presentaron una amplia variación entre variedades, tanto en los caracteres morfológicos como en los químicos; el contenido de húmedas vario de 82 a 90%, el contenido de cenizas entre 0.2 a 0.9 %, los °brix se encontraron en 7.5 hasta 15.5, así mismo la acidez vario entre 0.02 y 0.17% y finalmente el pH estuvo entre 4.1 y 7.2.

Alonso-Guerrero (2019), menciona que el consumo en fresco del xoconostle cuaresmeño, junto con la cáscara, aportan una importante cantidad de antioxidantes y Vitamina C, superando al plátano, naranja, fresa, chabacano, y durazno, reportando también que, por cada 100 g de producto, aporta 22 kcal de energía, 126 g de calcio, 0.10 g de proteínas, 2.3 g de fibra, 0.3 mg de hierro, 0.04 mg de vitamina B1, 4 mg de vitamina A, 0.20 mg de vitamina B3 y 22 mg de vitamina C.

El color que se observa en el fruto del xoconostle se debe a la presencia de pigmentos hidrosolubles característicos de las tunas de cactáceas conocidas como betalainas, antocianinas. El color de la cáscara está influenciado por el estado de madurez del fruto, las betalainas no pertenecen a los alcaloides porque son de naturaleza ácida debido a la presencia de varios grupos carboxilo, son pigmentos hidrosolubles y existen como sales en las vacuolas de las células vegetales (Sánchez-González, 2016).

Gallegos-Vázquez *et al.* (2014), mencionan que la variedad “Invierno” endémica de la zona integrada por los territorios de Villa de Tezontepec y Tolcayuca, Hidalgo, tiene una porción de la cáscara que es aprovechable y gruesa, con gran contenido de compuestos benéficos desde el punto de vista nutricional (tabla 2 y 3).

**Tabla 2** Compuestos antioxidantes presentes en el xoconostle variedad Invierno

Análisis	Valor
Proteína	3.84%
Vitamina C, ácido ascórbico	42.49 mg/100g
Fenoles totales	166.0 mg GAE/100g peso fresco
Betalainas	3.26 mg/100g
Vulgaxantinas	2.80 mg/100g
Actividad antioxidante	41 mmol TE/100g peso fresco

Fuente: Gallegos-Vázquez *et al.*, 2014

**Tabla 3** Análisis proximal del xoconostle de la variedad invierno

Análisis	Valor
Azúcares totales	0.60 mg/g
Azúcares reductores	1.016 mg/g
Humedad	92.32%
Cenizas	0.26%
Grasas	0.15g/100 g
Carbohidratos	5.23 g/100g

Fuente: Gallegos-Vázquez *et al.*, 2014

Gallegos-Vázquez *et al.* (2012), menciona que la cáscara de xoconostle es una excelente fuente de fibra, minerales, fenoles solubles simples y betalaínas, así pues, una porción de 100 g de piel podría contribuir hasta el 58% y el 13% de los requerimientos diarios de hierro y zinc, respectivamente, por otro lado, la piel muestra una capacidad antioxidante de 13 a 16 mmol equivalente de Trolox/ 100 g, mayor que la fresa, la frambuesa, la ciruela roja, la toronja, la naranja, la pera y la manzana (2.59, 1.85, 1.83, 0.86, 0.85, 0.28 y 0.34 mmol TE/100 g, respectivamente).

Hernández-Fuentes *et al.* (2015), analizó la cáscara de tres variedades de xoconostle y observó grandes cantidades de fenoles (1.6 a 2 mg equivalentes de Ácido Gálico (GAE)/g), betalaínas (1 a 4.9 mg/100g) y Vulgaxantinas (1 a 1.3 mg/100g), las cuales confieren capacidad antioxidante. Así mismo, Monroy-Gutiérrez *et al.*, (2017), determinó el contenido de algunos compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de xocotuna (*Opuntia chiangiana*) en comparación con tuna (*Opuntia ficus-indica*) y xoconostle (*Opuntia spp.*). En general, los frutos poseen altos contenidos de Ca, K, azúcares, fibra dietética, ácido ascórbico, polifenoles, carotenoides y pigmentos como betacianinas, los cuales han sido relacionados con algunos beneficios para la salud, entre estos, el de ser compuestos con una potente capacidad antioxidante. Por otro lado, en el trabajo realizado por García-Hernández (2017), se menciona que el xoconostle tiene ácidos orgánicos como el málico, cítrico, fumárico y oxálico y adicionalmente puede contener dos formas activas de la vitamina C como el ácido ascórbico y el ácido dehidroascórbico. Morales, *et al.* (2015), menciona que el xoconostle (*Opuntia matudae Scheinvar cv. Rosa*) es rico en ácidos grasos poliinsaturados (PUFAS) y Ácidos grasos saturados, (SFA), en una proporción adecuada para favorecer o proporcionar beneficios cardiovasculares al consumidor. Entre los SFA representativos se encuentran el ácido palmítico y mirístico; entre los ácidos grasos monoinsaturados, se menciona al ácido oleico y finalmente el ácido linoleico como mayoritario entre los PUFAS.

### Propiedades nutricionales y funcionales

El xoconostle se ha utilizado en medicina popular como un tratamiento para la diabetes, la hipertensión, el colesterol, la obesidad y las enfermedades respiratorias. La cáscara es una excelente fuente de fibra, minerales, fenoles simples y solubles, así como de betalaínas (Romero-Domínguez, 2014). Por sus propiedades nutricionales, el xoconostle podría ser atractivo para la industria alimentaria y/o debería considerarse de gran interés como fuente de compuestos bioactivos para su incorporación en otros productos alimenticios, de manera que todos los compuestos presentes se utilicen en lugar de ser desaprovechados (García-Hernández, 2017).

Pimienta-Barrios *et al.*, (2007) describe su utilidad en el tratamiento alternativo de la Diabetes mellitus (DM) tipo II, y reducción de triglicéridos y colesterol, al comprobar el efecto hipoglucemiante de la cáscara del fruto de xoconostle, así como evaluar el efecto que tiene sobre los niveles de insulina y lípidos séricos en personas sanas y con DM tipo II. Determinó que en los pacientes que consumieron la cáscara del fruto de Xoconostle, disminuyeron gradualmente los niveles séricos de glucosa, y aumentaron los niveles séricos de insulina con un máximo de 50% respecto al basal, aunado a esto determinó que la mayoría de las especies de *Opuntia* tienen contenidos relativamente altos de calcio quien probablemente puede ser responsable de la función hipoglucemiante.

La presencia de compuestos fenólicos en cantidades elevadas, específicamente en la pulpa del fruto, es responsable del efecto protector contra el daño provocado por la luz ultravioleta, así como del ataque de microorganismos patógenos (Cayupán, 2011). Se ha señalado que las diferentes especies de frutos de *Opuntia* tienen capacidad antioxidante moderada, lo cual, podría estar directamente relacionado con el contenido de pigmentos de la fruta, los valores encontrados son semejantes a los de cítricos (Monroy-Gutiérrez, 2017). El trabajo reportado por Saeed y Salam, (2012), muestra que los extractos acuosos de xoconostle muestran un claro efecto inhibitorio contra *E. coli* O157:H7 durante 8 horas de incubación a una concentración del 10%.

## Productos alimenticios a base de xoconostle

Las especies del género *Opuntia* son de gran importancia en México, su uso se remonta a épocas prehispánicas hasta nuestros días (Aparicio- Fernández *et al.*, 2017). Diversos platillos, postres o golosinas pueden elaborarse a base del xoconostle. Las frutas enteras se caramelizan o se deshidratan, asimismo, el jugo puede convertirse en licores, además de que es reconocido como una medicina alternativa debido a sus efectos hipoglucémicos, control de colesterol alto y reducción de peso corporal (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012).

Dadas las características de estos frutos, podrían ser considerados una fuente potencial de ingredientes funcionales y ser utilizado como aditivo en otros productos alimenticios (Monroy-Gutiérrez, 2017). El xoconostle de entre todas las cactáceas destaca por su alto contenido en inulina que puede ser agregada como aditivo en alimentos, ya que está contribuye a la pérdida de peso corporal (Samano, 2009).

Alonso- Guerrero (2019) da informes sobre algunos usos del xoconostle, su utilidad en la elaboración de mermeladas, mieles, licores, salsas, jugos, dulces salados y enchilados, o simplemente deshidratado de forma natural, en la cocina como condimento o aperitivo, también se ocupa como medicina para la tos, migraña y dolor de cabeza. Con el consumo habitual es capaz de reducir la fatiga y peso por su alto contenido en fibra, ayuda a problemas metabólicos, reduce la acidez, desintoxica el organismo purificando la sangre, reduce la glucosa y colesterol en la sangre. Debido a todas sus bondades como alimento funcional, algunas investigaciones se han reportado, donde se propone la incorporación del xoconostle en alimentos de consumo habitual, tal es el caso de Romero-Domínguez (2014) quien elaboró galletas con harina de xoconostle, logrando un aporte nutrimental por cada 100 g de 6.5 g de proteína, 7.5 g de fibra dietética, 23.8 g de extracto etéreo, 3.1 % de humedad, 1.02 g de cenizas y con una buena aceptación por parte de los consumidores.

Sánchez-Pardo (2014) elaboró una barra energética con harina y mermelada de xoconostle, resultando en producto con menor cantidad de lípidos y de mayor digestibilidad. Trejo- Trejo *et al.* (2019) propone un aprovechamiento integral del fruto, la transformación de la piel y semillas en harina, la cáscara en cristalizado, néctar, mermelada, ate, helado, almíbar y salsa; mientras que la pulpa en gomitas y licor. García-Pedraza, *et al.* (2005), propone el uso del polvo de xoconostle mezclado con sal y chile para ser incorporado a los alimentos en forma de sazónador, además de esto también existen propuestas donde se ha trabajado en la optimización del proceso para la elaboración de jugo y favorecer o potencializar su comercialización (Castro-Muñoz, *et al.*, 2017).

Por otro lado existen trabajos enfocados en la preservación o protección de los compuestos antioxidantes del fruto, a través de diversas tecnologías de micro y nano encapsulación, ejemplo de esto es la investigación realizada por Díaz-Monroy *et al.* (2017) quienes protegieron mediante emulsiones dobles los compuestos bioactivos observando su efecto en la capacidad antioxidante, los resultados que se reportaron fueron utilizando Goma arábiga y maltodextrina se logran conservar los valores mas altos de capacidad antioxidante así como una mayor estabilidad de la emulsión a través del tiempo.

## Agradecimiento

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto Aprovechamiento de las propiedades antioxidantes del xoconostle y la miel de aguamiel en la elaboración de una mermelada funcional, dentro de la convocatoria Apoyo a la investigación científica y tecnológica en los tecnológicos descentralizados para estudiantes 2020.

## Conclusiones

Es claro que el fruto xoconostle puede ser considerado una alimento funcional con un gran potencial de ser incluido en la dieta de los consumidores, ya sea como ingrediente principal o como aditivo en diversos alimentos, los trabajos de investigación reportados demuestran su alto contenido en compuestos bioactivos, sin embargo se deja claro que existe una área de oportunidad en investigaciones que se enfoquen en comprobar el efecto funcional del fruto en el organismo del consumidor mediante la realización de pruebas in vivo, y de esta forma potencializar su consumo como alimento funcional o incluso nutraceutico.

## Referencias

- Alonso-Guerrero, D., Hernández-Ruiz, J., Ruiz-Nieto, J., Rucoba-García, A., & Mireles Arriaga, A. (2019) Propiedades antioxidantes de xoconostle del estado de Guanajuato. Memorias del XXXII Congreso Internacional y II Congreso Iberoamericano en Administración de Empresas Agropecuarias.
- Aparicio-Fernández, X., Loza-Cornejo, S., Torres Bernal, M. G., Velázquez Placencia, N. J., & Arreola-Nava, H. J. (2017). Características fisicoquímicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México. *Polibotánica*, 43, 219-244. <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.43.10>
- Canuto-Chávez, P. (2010). Evaluación de las características físico-químicas de dos especies de xoconostle (*Opuntia oligacantha* y *joconostle*) para evidenciar sus cualidades nutritivas [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Institucional UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/427/61232s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro-Muñoz, R., Fila, V., Barragán-Huerta, B.E., Yáñez-Fernández, J., Piña-Rosas, J.A. & Arboleda-Mejía, J. (2017). Processing of Xoconostle fruit (*Opuntia joconostle*) juice for improving its commercialization using membrane filtration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13394>
- Cayupán, Y. S. C., Ochoa, M. J., & Nazareno, M. A. (2011). Health-promoting substances and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits. Changes in bioactive-compound contents during ripening process. *Food Chemistry*, 126(2), 514-519. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.033>
- Cortés-Sánchez A.D.J, León-Sánchez J.R, Jiménez-González F.J, Díaz-Ramírez M. & Villanueva-Carvajal A. (2016). Alimentos funcionales, alfalfa y fitoestrógenos. *Rev Mutis*, 6(1):28. <http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1110>
- Diaz-Monroy, I.A., Campos-Montiel, R.G. & Ludeña-Urquizo, F. (2017). Formulación de una emulsión doble para proteger compuestos bioactivos de xoconostle *Opuntia Oligacantha* D. F. *Först* Var. Ulapa. Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Fresnillo, 9(1): 490- 495. <https://drive.google.com/drive/folders/0B4GS5FQQQLif9ZkVJc1BfMXVoT00>
- Gallegos-Vázquez, C., Scheinvar, L., Núñez-Colín, C. A., & Mondragón-Jacobo, C. (2012). Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia* spp.) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits*, 67(2), 109-120. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012001>
- Gallegos-Vázquez, C., Scheinvar, L., Silos-Espino, H., Fuentes-Hernández, A. D., Núñez-Colín, C. A., & Olalde-Parra, G. (2014). 'Invierno', cultivar de xoconostle para la región central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agropecuarias*, 7, 1349-1354. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263130477010.pdf>
- García-Hernández, M. (2017). Evaluación del contenido nutrimental, fibra dietética y propiedades antioxidantes de dos variedades de xoconostle (*Opuntia spp*) [tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo] repositorio de la UAEH. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/2594/Evaluaci%C3%B3n%20del%20contenido%20nutrimental.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Guzmán, M., Candelario, M., Herrera, H., Guevara, L., & Reynoso, C. (2009). El Xoconostle: un fruto con alto valor nutrimental y nutraceutico. Centro de Investigación Regional Centro Campo Experimental Bajío. México, Gto.: INIFAP.
- García-Pedraza, L.G., Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R. & Pinos-Rodríguez, J.M. (2005). Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*Opuntia spp.*) as a condiment or appetizer. *Ital. J. Food Sci.*, 3(17), 333-340

- Guzmán-Maldonado, S. H., Morales-Montelongo, A. L., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, G., Guevara-Lara, F., & Reynoso-Camacho, R. (2010). Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *Journal of Food Science*, 75(6), C485-C492. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01679.x
- Hernández-Fuentes, A. D., Bañuelos, A. F., Gallegos-Vázquez, C., Montiel, R. G. C., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2015). Actividad antioxidante de genotipos de xoconostle (*Opuntia joconostle*) del estado de Zacatecas, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 81-85. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864012>
- Monroy-Gutiérrez, T., Martínez-Damián, M., Barrientos-Priego, A., Gallegos-Vázquez, C., Cruz-Alvarez, O., & Vargas-Madríz, H. (2017). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*Opuntia* spp.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal sciences*, 33(3), 263-272. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000704>
- Morales, O., Barros, L., Ramírez-Moreno, E., Santos-Buelga, C. & Ferreira, I.C.F.R. (2015). Xoconostle fruit (*Opuntia matudae* Scheinvar cv. Rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food Chemistry*, 185: 289-297. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.04.012
- Pimienta-Barrios, E., Méndez-Morán, L., Rmire'z-Hernandez, B.C. García de Alba-García, J.E. & Dominguez-Arias, R.M. (2007). Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia*, 42,645-653. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n6/v42n6a5.pdf>
- Romero-Domínguez, M. R. (2014). Elaboración de galletas, empleando harina integral de xoconostle (*Opuntia joconostle*) [tesis de especialidad, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla] repositorio institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/7007>
- Saeed, A.H. & Salam, A.I. (2012). Antimicrobial activity of xoconostle pears (*Opuntia matudae*) against *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium. *International Journal of Microbiology*, 1: 1-6. doi:10.1155/2012/368472
- Samano, R. G. (2009). Características del xoconostle: alimento con gran potencial. *Revista Vinculando*. [http://vinculando.org/mercado/xoconostle\\_un\\_alimento\\_con\\_gran\\_potencial.html](http://vinculando.org/mercado/xoconostle_un_alimento_con_gran_potencial.html)
- Sánchez-González, N. (2016). Extracción y caracterización de los principales pigmentos del *Opuntia joconostle* cv (Xoconostle) [tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional] repositorio institucional IPN. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/1775>
- Sánchez-Pardo, E., & Osorio-Díaz, P. (2014). Análisis proximal y digestibilidad del almidón de barras energéticas con harina y mermelada de xoconostle. *Revista Tecnológica Agroalimentaria*, 1(1), 2. <http://agroalimentaria.uttehuacan.edu.mx/media/files/Vol1num1/ANALISISPROXIMALYDIGESTIBILIDADDELALMIDONDEBARRASERGETICAS.pdf>
- Scheinvar, L., Gallegos, V. C., Olalde, P. G., Sánchez, C. V., & Linaje, M. (2011). Estado del conocimiento de las especies del nopal (*Opuntia* spp) productoras de Xoconostles silvestres y cultivados [informe final Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016 21 de agosto). <https://www.gob.mx/agricultura>
- Trejo-Trejo, E., Trejo-Trejo, N., Zúñiga-Morales, J., Ocampo-Hernández, A., Ramírez -González, M.C. (2019). Propiedades Físicas y Químicas del Fruto de Xoconostle (*Opuntia*, joconostle) C.V. blanco y rosa. *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable*. 5:19-26. [http://reingtec.itsoeh.edu.mx/docs/vol1\\_2019reingtec/Trejo\\_Trejo\\_2019\\_b\\_p18\\_26.pdf](http://reingtec.itsoeh.edu.mx/docs/vol1_2019reingtec/Trejo_Trejo_2019_b_p18_26.pdf)
- Valadez-Moctezuma, E., Ortiz-Vásquez, Q., & Samah, S. (2014). Molecular based assessment of genetic diversity of xoconostle accessions (*Opuntia* spp.). *African Journal of Biotechnology*, 13(2). doi: 10.5897/AJB2013.13350