



FITOQUÍMICA DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA (*Opuntia albicarpa* SCHEINVAR)

PHYTOCHEMISTRY OF PRICKLY PEAR (*Opuntia albicarpa* SCHEINVAR) GLOCHIDS

Victor M. Marín-Campos¹, María E. Álvarez-Sánchez^{1*},
Ranferi Maldonado-Torres¹, Rosa M. López-Romero² y Cecilia García-Osorio²

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (edna_alvarez30@yahoo.com.mx)

RESUMEN

Las glóquidas de la tuna son un subproducto del proceso de limpieza del fruto que se desecha en bolsas plásticas, lo que genera un impacto ambiental con efecto acumulativo debido a que este material lignocelulósico es de biodegradabilidad baja. Para generar valor agregado a este subproducto agrícola se determinaron las propiedades fitoquímicas de los pigmentos y polisacáridos pécticos en hidrolizados de glóquidas de *Opuntia albicarpa* Cristalina y Burróna. Los análisis por espectrofotometría mostraron que estas estructuras contienen 16.2 ± 3.4 y 20.6 ± 1.2 mg·100 g⁻¹ de betalainas totales en Cristalina y Burróna, respectivamente, con predominancia de betacianinas. Los flavonoides totales fueron similares en ambas variedades con 101.3 ± 4.3 mg quercetina 100g⁻¹ en Cristalina y 112.9 ± 6.9 mg·100g⁻¹ en Burróna. La concentración de fenoles totales fue 427.4 ± 18.4 y 385.7 ± 17.0 mg·100g⁻¹ en Burróna y Cristalina, respectivamente. La concentración de pectinas totales, expresada como ácido galacturónico, fue de 128.7 ± 26.7 y 35.6 ± 17.3 mg·100g⁻¹ de muestra en Burróna y Cristalina. La composición de las glóquidas mostró que el subproducto del beneficiado de la tuna tiene potencial de uso nutracéutico y bioestimulante de cultivos agrícolas.

Palabras clave: *Opuntia albicarpa*, ácido galacturónico, betalainas totales, fenoles totales, flavonoides totales.

SUMMARY

Glochids of prickly pear are a byproduct of the fruit cleaning process that is discarded in plastic bags, which generate an environmental impact with cumulative effect because this lignocellulosic material is of low biodegradability. In order to generate added value to this agricultural by-product, the phytochemical properties of the pigments and pectic polysaccharides were determined in glochid hydrolysates of *Opuntia albicarpa* Cristalina and Burróna. Spectrophotometry analyses indicated that these structures contain 16.2 ± 3.4 and 20.6 ± 1.2 mg·100g⁻¹ total betalains in Cristalina and Burróna, respectively, with a predominance of betacyanins. Total flavonoids were similar in both varieties with 101.3 ± 4.3 mg quercetina·100g⁻¹ in Cristalina and 112.9 ± 6.9 mg·100g⁻¹ in Burróna. Total phenols concentration was 427.4 ± 18.4 and 385.7 ± 17.0 mg·100g⁻¹ in Burróna and Cristalina, respectively. The concentration of total pectins, expressed as galacturonic acid, was 128.7 ± 26.7 and 35.6 ± 17.3 mg·100g⁻¹ in Burróna and Cristalina. The composition of the glochids showed that the by-product of the prickly pear conditioning has potential for nutraceutical and biostimulant use in agricultural crops.

Index words: *Opuntia albicarpa*, galacturonic acid, glochids, total

betalains, total flavonoids, total phenols.

INTRODUCCIÓN

El desespinado de la tuna es la operación postcosecha que elimina las glóquidas de los frutos manual o mecánicamente previo a su comercialización. Las glóquidas desprendidas, comúnmente conocidas en México como 'ahuates', son recolectadas en bolsas de polietileno que posteriormente se desechan al ambiente. Dado que estos materiales no son biodegradables en el corto plazo, se acumulan después de cada ciclo de producción (Ulloa-Leitón *et al.*, 2021).

Ulloa-Leitón *et al.* (2021) estimaron que se generan 0.56 kg de glóquidas por tonelada de fruta fresca de *Opuntia albicarpa* Scheinvar. En México, en 2023 se recolectaron 457,390 t de fruta de *O. albicarpa* de los cultivares Criolla, Burróna, Alfajayucan y Cristalina, las que generaron 256 t de desecho, equivalentes a 1630 m³ y, probablemente, contenidas en 35,889 bolsas plásticas (60 × 90 cm).

Las glóquidas no son biodegradables en el corto plazo debido a que están constituidas por celulosa (41.1 %), hemicelulosa (41.2 %) y lignina (5.3 %) en un estado de alta cristalinidad (20-60 %) y alineación (1-2.5 °), cuasi paralela de las fibras de celulosa dentro de la pared celular (Martínez *et al.*, 2017; Ulloa-Leitón *et al.*, 2021). Gindl-Altmutter y Keckes (2012) evidenciaron que la organización de las espinas de *O. ficus indica* le confiere uno de los mayores niveles de cristalinidad en las cactáceas, con valor de 57 %. La dureza de las glóquidas las hace comparables a la cristalinidad de otros residuos lignocelulósicos como la madera de abeto (34 %), bagazo de caña de azúcar (41 %), cascarilla de arroz (52 %) y aserrín de madera (44 %) (López-Martínez *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2017), quitina del exoesqueleto del camarón

(57.4 %) y otros artrópodos (Rojas *et al.*, 2018).

Las glóquidas en contacto con un medio acuoso polar liberan pigmentos con coloración similar al rojo carmín (Ulloa-Leitón *et al.*, 2021); esos pigmentos pueden indicar la presencia de compuestos tales como carotenoides, flavonoides y betalaínas (Chasquibol *et al.*, 2008),

La acumulación de glóquidas, como subproducto agrícola difícil de manejar y que se desecha, impacta negativamente en la sustentabilidad del sistema de producción tunero (Domínguez-García *et al.*, 2017). El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de betalaínas, flavonoides, fenoles totales y polisacáridos pécticos de glóquidas de tuna para definir su potencial de uso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de glóquidas

Se recolectaron aproximadamente 20 kg de glóquidas derivadas de la producción de 12 ha de tuna blanca de la variedad Burrón en el taller de beneficiado de productores de la comunidad San Felipe Teotitlán, Nopaltepec, Estado de México (19° 47' 51.05" N y 98° 40' 47.95" O); otra cantidad similar de muestra se obtuvo en el centro de acopio de la comunidad San Sebastián Villanueva, Acatzingo de Hidalgo, Puebla, México (19° 3' 28.14" N y 97° 43' 9.79" O), derivada de la producción de 16 ha de la variedad Cristalina.

Pretratamiento de muestras

Las muestras se homogeneizaron manualmente y de cada una se separó una submuestra de aproximadamente 500 g. A las submuestras se les retiró pajas o sólidos ajenos a las estructuras, se lavaron con agua de grifo y se secaron en estufa a 60 °C. Las muestras deshidratadas se trituraron hasta que las partículas pasaron por malla número 40 y se homogeneizaron en un agitador de acción recíproca a 220 rpm durante 30 min.

Cuantificación de betalaínas totales

La extracción y cuantificación de betalaínas se efectuó con el método descrito por García-Cruz *et al.* (2012), a partir de 0.5 g de glóquidas deshidratadas; se adicionaron 10 mL de metanol en agua (80:20 v/v), se cubrieron y mantuvieron en un agitador magnético durante 60 min, luego se centrifugaron en una centrífuga (5804R, Eppendorf, Barkhausenweg, Hamburgo, Alemania) a 5000 rpm por 10 min. La absorbancia del sobrenadante se determinó a 483 y 538 nm para cuantificar betaxantinas

y betacianinas, respectivamente, en un espectrofotómetro UV-visible (Genesys 10UV, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA). La concentración de betalaínas totales se calculó con la siguiente ecuación (Castellanos-Santiago y Yahia, 2008):

$$B = \frac{(A)(FD)(PM)(V)}{(\epsilon)(L)}$$

Donde, *B*: contenido de betacianinas o betaxantinas (mg·100g⁻¹), *A*: absorbancia a 538 nm o a 483 nm, *FD*: factor de dilución, *PM*: peso molecular de betanina (550 g·mol⁻¹) o indicaxantina (308 g·mol⁻¹), *V*: volumen total del extracto, ϵ : coeficiente de extinción molar para betanina (60,000 L mol⁻¹ cm⁻¹) o indicaxantina (48,000 L mol⁻¹ cm⁻¹) y *L*: longitud de la celda (cm).

Cuantificación de flavonoides totales

Para esta determinación se utilizó el método colorimétrico propuesto por Bakar *et al.* (2009). Los flavonoides se obtuvieron de 0.5 g de muestra, a los que se adicionaron 10 mL de etanol 96 % y se agitó durante 60 min a temperatura ambiente del laboratorio. Las muestras se mantuvieron 8 h en reposo a 4 °C, seguido de agitación por 30 min y posterior centrifugación a 5000 rpm por 5 min; 300 µL del sobrenadante se colocaron en viales ámbar. A esta muestra, al blanco (etanol 96 %) y a los estándares se adicionaron 2.25 mL de agua destilada y 150 µL de nitrito de sodio 5 % (en agua, p.v), se dejaron en reposo durante 6 min; posteriormente, se agregaron 300 µL de solución de cloruro de aluminio 10 % y reposaron durante 5 min; se añadió 1 mL de hidróxido de sodio 1 M, se homogeneizaron manualmente y se midió la absorbancia a 510 nm. Las concentraciones se determinaron a partir de una curva estándar con quercetina (Sigma-Aldrich). Esta última se preparó a partir de una solución de 520 µg g⁻¹ de quercetina y concentraciones de 16, 34, 51, 69, 86, 105, 116, 136 y 155 µg g⁻¹.

Cuantificación de fenoles totales

Los fenoles totales en las glóquidas se cuantificaron con el método espectrofotométrico, que incluye reactivo Folin Ciocalteu como agente oxidante (Koch *et al.*, 2015). La extracción de fenoles y polifenoles se realizó conforme a lo descrito en el apartado de betalaínas totales. El complejo colorido para muestras y estándares se desarrolló con 40 µL del extracto y el blanco fue metanol 80 % en agua. A viales ámbar con las muestras se añadieron 1.65 mL de agua destilada, 100 µL de solución Folin-Ciocalteu 1 N y se dejaron reposar durante 3 min; se agregaron 300 µL de carbonato de sodio 20 %, se homogeneizaron, reposaron durante 60 min y se determinó la absorbancia a 765 nm. La concentración se calculó a partir de una curva estándar de

ácido gálico (AEG; Sigma-Aldrich), ésta se obtuvo a partir de una concentración de 498 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y concentraciones de 55, 108, 160, 208, 258, 313, 360 y 405 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) de ácido gálico.

Cuantificación de pectinas totales

La concentración de pectinas se cuantificó como ácido galacturónico (A-GAL), con grados de polimerización diverso, conforme al método espectrofotométrico propuesto por Aviña *et al.* (2016). A 0.5 g de muestra se le adicionaron 15 mL de etanol, se agitó por 30 min, se desechó el sobrenadante y se repitió este lavado. La muestra se secó hasta peso constante. A 5 mg se agregó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y se aplicó reposo durante 1 min, se añadieron 500 μL de agua destilada, se agitó durante 5 min, se agregaron otros 500 μL de agua destilada y se agitó durante 30 min adicionales. Las muestras se centrifugaron a 3800 rpm durante 10 min, se filtraron en papel (filtración lenta) y se mantuvieron en refrigeración hasta su cuantificación. El complejo colorido se obtuvo en alícuotas de 1 mL del extracto (por duplicado) más 6 mL de tetraborato de sodio (0.0125 M) disuelto en ácido sulfúrico. Las muestras se colocaron en baño maría a 100 ± 2 °C durante 5 min y se enfriaron inmediatamente en baño con hielo, se adicionaron 100 μL de m-hidroxibifenilo 0.15 % disuelto en una solución de hidróxido de sodio 0.5 %. Para el duplicado de la alícuota se usaron 100 μL de hidróxido de sodio 0.5 %. Las mezclas se homogeneizaron y después de 15 min se obtuvo la lectura de absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro de arreglo de diodos 8453 (Agilent Technologies, Holding, Alemania). La cuantificación se hizo mediante una curva estándar de ácido galacturónico, obtenida a partir de una solución con concentración de 1171 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ y valores evaluados de 5, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de A-GAL.

Para la determinación de los componentes fitoquímicos, las muestras físicas se trabajaron por triplicado, excepto para pectina totales, donde se emplearon cinco

repeticiones y cada determinación se analizó por duplicado. Se calcularon medias y desviación estándar para cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de betalainas totales

La concentración de betalainas totales (BT) fluctuó entre 16.2 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ en la variedad Cristalina y 20.6 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ en la variedad Burróna. La concentración de betaxantinas (BX) y betacianinas (BC) fueron similares en Cristalina; en contraste, las BC en Burróna fueron casi tres veces más que BX (Cuadro 1).

Las betalainas son pigmentos nitrogenados altamente solubles en agua, y usualmente se alojan en las vacuolas de las plantas (Esquivel y Araya, 2012). Las BC se asocian con coloraciones rojo-violeta mientras que las BX con coloraciones amarillas (García-Cruz *et al.*, 2012). Estos pigmentos en las glóquidas se liberaron al medio acuoso y generaron coloraciones rojizas. Los extractos de las glóquidas desprendieron BC en proporción mayor en la variedad Burróna (Cuadro 1).

Los contenidos de BT en las glóquidas de ambas variedades son comparables con los referidos en otros tejidos, de los que se extraen como antioxidante, como el fruto de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) con 10.3 ± 0.2 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (Wu *et al.*, 2006), las tunas de los cultivares Ruby Reyna y Moradilla 2 (*O. albicarpa*) con 13.6 ± 0.5 y 14.5 ± 0.2 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (Aquino *et al.*, 2012), semillas de quinua roja (*Chenopodium quinoa* Willd.) y *Amaranthus caudatus* con 1.9 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (Abderrahim *et al.*, 2015; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2010). Estos resultados indican que las glóquidas podrían comercializarse para la industria de pigmentos naturales y sustancias antioxidantes.

Contenido de flavonoides totales

Cuadro 1. Concentración (media \pm d.e.) de betalainas, flavonoides, fenoles y pectinas totales en glóquidas de dos cultivares de tuna *Opuntia albicarpa* Scheinvar.

Variedad	Betalainas			Flavonoides [†] ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	Fenoles ^{††} ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	Pectinas [‡] ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)
	Betaxantinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	Betacianinas ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	Total ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)			
Cristalina	8.2 ± 1.8	8.0 ± 1.6	16.2 ± 3.4	101.3 ± 4.3	385.7 ± 17.0	35.6 ± 17.3
Burróna	5.7 ± 0.1	14.9 ± 1.1	20.6 ± 1.2	112.9 ± 6.9	427.4 ± 18.4	128.7 ± 26.7
Media	6.9 ± 1.7	11.4 ± 4.0	18.4 ± 3.3	107.1 ± 8.2	419.1 ± 47.6	82.2 ± 65.8

[†]Flavonoides totales expresados como quercetina, ^{††}Fenoles totales expresados como ácido gálico (AEG, n = 3). [‡]Pectinas totales expresadas como ácido galacturónico (n = 5).

La concentración de flavonoides totales fue similar en las variedades (Cuadro 1). Esos valores son superiores a los reportados en brócoli (*Brassica oleracea*) con 3.5 mg·100 g⁻¹, té verde (*Camellia sinensis*) y té negro (*Camellia sinensis*) con 1.4 y 1.7 mg·100 g⁻¹, vino tinto (0.8 mg·100 g⁻¹), manzana (*Malus domestica*) con 3.6 mg·100 g⁻¹, fresas (*Fragaria x ananassa*) con 0.6 mg·100 g⁻¹, cebolla (*Allium cepa*) con 34 mg·100 g⁻¹ (Jaisankar, 2014), cereza (*Prunus cerasus*) 1.5 mg·100 g⁻¹ y moringa (*Moringa oleifera*) con 6.8 mg·100 g⁻¹ (Jaganath y Crozier, 2010), esta última es reconocida como un antioxidante potente. Con base en esta información, las glóquidas resultantes del beneficiado de la tuna pueden ser materia prima para la industria farmacéutica y nutricional.

La quercetina es el flavonoide antioxidante más importante, pues su potencial es cinco veces mayor que el de las vitaminas E y C, y su hidrosolubilidad es similar a la de la vitamina E (Martínez-Flórez *et al.*, 2002). Así, investigar el aprovechamiento de estos extractos de las glóquidas es relevante, ya que los flavonoides en las plantas pueden intervenir en la respuesta a la luz, en los niveles de auxinas, e incluso como sustancias antifúngicas (Escamilla *et al.*, 2009).

Contenido de fenoles totales

La variedad Burrón exhibió concentración 11 % mayor de AEG comparada con Cristalina (Cuadro 1). La concentración de AEG en ambas variedades fue mayor a la de frutos con importancia económica como pitahaya roja (*S. griseus*) con 42.4 o 166.5 mg AEG·100 g⁻¹ (García-Cruz *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2006), quinoa negra (142.3 mg AEG·100 g⁻¹) y quinoa pasankalla (108.9 mg AEG·100 g⁻¹) (Vidaurre-Ruiz *et al.*, 2017), quinoa real rosado (250 mg AEG·100 g⁻¹) y quinoa panela (327 mg AEG·100 g⁻¹) (Abderrahim *et al.*, 2015). La concentración de fenoles totales en las glóquidas es comparable con la de arándano rojo (*Vaccinium macrocarpon*) deshidratado con 391.7 mg AEG·100 g⁻¹ (Anticono *et al.*, 2016), por lo que las propiedades reductoras de las glóquidas pueden ser equivalentes a las de ciertos frutos identificados como ricos en antioxidantes y coadyuvantes en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Ovaskainen *et al.*, 2008), lo que confirma la posibilidad de agregar valor a las glóquidas, subproducto que hasta este momento se desecha. Futuras investigaciones podrían ser dirigidas al aprovechamiento de este material y su extracción óptima para uso comercial.

Contenido de pectinas totales

La concentración de pectinas en la variedad Burrón fue más del triple que en Cristalina (Cuadro 1). La diferencia

podría deberse a que la laminilla media rica en pectatos tiene menor grosor en Cristalina. Al respecto, la presencia y abundancia de los componentes de la matriz extracelular depende del cultivar, disponibilidad de nutrientes, humedad, luz solar y de la temperatura (Marín-Campos, 2022; Com. Pers.)¹. La concentración de pectinas en ambas variedades fue menor que la de pulpa de pepino holandés (*Cucumis sativus*) con 168.9 mg A-GAL·100 g⁻¹ (Aviña *et al.*, 2016) y cáscara de cítricos (800-1400 mg A-GAL·100 g⁻¹), esta última considerada como la más rica en ácido galacturónico (Gómez *et al.*, 2016) e importante en la industria farmacéutica y agroindustrial; las pectinas de cáscara de cítricos son empleadas como comprimidos matriciales, geles, agentes anti cancerígenos, cubiertas encapsulantes, aglutinantes, probióticos y otros (Mamani *et al.*, 2012). Las glóquidas de la tuna podrían aportar 15 % de pectina con respecto a la pectina cítrica. El estado de cristalinidad de su celulosa y hemicelulosa dificultan la exposición de la laminilla media de la pared celular rica en pectatos de calcio (Ulloa-Leitón *et al.*, 2021).

El ácido galacturónico polimerizado en poligalacturónidos ha sido descrito como moléculas promotoras de mecanismos reguladores de procesos metabólicos relacionados con el crecimiento, desarrollo y la maduración de las plantas, así como en procesos genotípicos durante su organogénesis (Gómez *et al.*, 2013), por lo que es posible que los extractos de las glóquidas tengan uso potencial agronómico por su efecto bioestimulador en cultivos hortícolas.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de los pigmentos y polisacáridos pécicos en glóquidas, producto del beneficiado de la tuna y que actualmente se desecha, de *O. albicarpa* variedades Cristalina y Burrón indican que es un subproducto con potencial nutraceutico y agronomico. La diferencia en la concentración de pectinas fue significativa entre las variedades y debe ser tomada en cuenta para su aprovechamiento. El valor agregado potencial en el desecho mencionado puede contribuir a la sostenibilidad del sistema de producción tunero.

AGRADECIMIENTOS

El posgrado del Departamento de Suelos y los autores agradecen su colaboración a los posgrados de Edafología y Fruticultura del Colegio de Postgraduados (CP).

¹Marín-Campos V. (2022) Oligosacarinas extraídas de las glóquidas de tuna y su efecto en el desarrollo de cultivos hortícolas. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 47 p.

BIBLIOGRAFÍA

- Abderrahim F., E. Huanatico, R. Segura, S. Arribas, M. C. Gonzalez and L. Condezo-Hoyos (2015) Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry* 183:83-90, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>
- Anticona M. L., A. Frigola y M. J. Esteve (2016) Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *UCV - Scientia* 8:13-21, <https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v8n1a1>
- Aquino B. E. N., Y. Chavarría M., J. L. Chávez S., R. I. Guzmán G., E. R. Silva H. e I. Verdalet G. (2012) Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y Ciencia* 20:3-10.
- Aviña G. I., C. S. Contreras M., E. Corona J. y J. Carranza C. (2016) Determinación de pectina total (ácido galacturónico) en pepino de tipo holandés. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1:348-352.
- Bakar M. F. A., M. Mohamed, A. Rahmat and J. Fry (2009) Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*). *Food Chemistry* 113:479-483, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.081>
- Castellanos-Santiago E. and E. M. Yahia (2008) Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:5758-5764, <https://doi.org/10.1021/jf800362t>
- Chasquiubol S. N., E. Arroyo B. y J. C. Morales G. (2008) Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial* 26:175-199, <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>
- Domínguez-García I. A., M. R. Granados-Sánchez, L. M. Sagarnaga-Villegas, J. M. Salas-González y J. Aguilar-Ávila (2017) Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1371-1382, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.304>
- Escamilla J. C. I., E. Y. Cuevas M. y J. Guevara F. (2009) Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM* 52:73-75.
- Esquivel P. y Y. Araya Q. (2012) Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3:113-129.
- García-Cruz L., Y. Salinas-Moreno y S. Valle-Guadarrama (2012) Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(Esp. 5):1-5, https://doi.org/10.35196/rfm.2012.Especial_5.1
- Gindl-Altmutter W. and J. Keckes (2012) The structure and mechanical properties of spines from the cactus *Opuntia ficus-indica*. *BioResources* 7:1232-1237, <https://doi.org/10.15376/biores.7.1.1232-1237>
- Gómez B., B. Bullón, R. Yáñez, J. C. Parajo and J. L. Alonso (2013) Pectic oligosaccharides from lemon peel wastes: Production, purification, and chemical characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:10043-10053, <https://doi.org/10.1021/jf402559p>
- Gómez B., R. Yáñez, J. C. Parajo and J. L. Alonso (2016) Production of pectin-derived oligosaccharides from lemon peels by extraction, enzymatic hydrolysis and membrane filtration. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91:234-247, <https://doi.org/10.1002/jctb.4569>
- Jaganath I. B. and A. Crozier (2010) Dietary flavonoids and phenolic compounds: In: Plant Phenolics and Human Health: Biochemistry, Nutrition and Pharmacology. C. G. Fraga (ed.). John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. pp:1-50, <https://doi.org/10.1002/9780470531792.ch1>
- Jaisankar P., R. L. Gajbhiye, S. K. Mahato and D. Nandi (2014) Flavonoid natural products: chemistry and biological benefits on human health: a review. *Asian Journal of Advanced Basic Sciences* 3:164-178.
- Koch W., T. Baj, W. Kukula-Koch and Z. Marzec (2015) Dietary intake of specific phenolic compounds and their effect on the antioxidant activity of daily food rations. *Open Chemistry* 13:869-876, <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0100>
- López-Martínez A., G. I. Bolio-López, L. Veleza, M. Solórzano-Valencia, G. Acosta-Tejada, M. M. Hernández-Villegas, ... y S. Córdova-Sánchez (2016) Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *AgroProductividad* 9:41-46.
- Mamani C. P. L., R. Ruiz C. y M. D. Veiga (2012) Pectina: usos farmacéuticos y aplicaciones terapéuticas. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 78:82-97.
- Martínez J., T. Stewart and P. Szeto (2017) The relationship between structural parameters and mechanical properties of cactus spines. A Senior Project. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA. 112 p.
- Martínez-Flórez S., J. González-Gallego, J. M. Culebras y M. Tuñón (2002) Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria* 17:271-278.
- Ovaskainen M. L., R. Torrönen, J. M. Koponen, H. Sinkko, J. Hellström, H. Reinivuo and P. Mattila (2008) Dietary intake and major food sources of polyphenols in Finnish adults. *The Journal of Nutrition* 138:562-566, <https://doi.org/10.1093/jn/138.3.562>
- Repo-Carrasco-Valencia R., J. K. Hellström, J. M. Pihlava and P. H. Mattila (2010) Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry* 120:128-133, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Rojas J., Y. Ciro y C. Salamanca (2018) Efecto del grado de acetilación en las propiedades farmacotécnicas de quitina extraída de exoesqueletos de camarones. *Vitae* 25:87-89.
- Torres J. D., S. P. Morales V. y J. C. Quintero D. (2017) Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 25:733-743, <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400733>
- Ulloa-Leitón A., M. E. Álvarez-Sánchez, C. García-Osorio, F. Gavi-Reyes y R. Maldonado-Torres (2021) Glóquidas del fruto de *Opuntia albicarpa* Scheinvar y su hidrólisis para uso potencial agronómico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44:201-209, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.201>
- Vidaurre-Ruiz J. M., G. Días-Rojas, E. Mendoza-Llamo y M. A. Solano-Cornejo (2017) Variación del contenido de betalainas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista de la Sociedad Química del Perú* 83:319-330.
- Wu L. C., H. W. Hsu, Y. C. Chen, C. C. Chiu, Y. I. Lin and J. A. A. Ho (2006) Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry* 95:319-327, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>

