

Caracterización fisicoquímica, funcional y antioxidante de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa)

Physicochemical, functional, and antioxidant characterization of *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa) endocarp flours

Pérez-Montes, A.¹, Gómez-De Anda F. R.^{1*}, Ojeda-Ramírez, D.¹, González-Tenorio, R.²,
Piloni-Martini J.¹, Fernández-Martínez E.³, Reyes-Rodríguez N. E.¹,
De La Rosa-Arana J. L.⁴

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Av. Rancho Universitario s/n Km.1 C.P. 43760 Tulancingo, Hgo., México

² Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ingeniería Agroindustrial, Av. Rancho Universitario s/n Km.1 C.P. 43760 Tulancingo, Hgo., México

³ Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Medicina, Dr. Eliseo Ramírez Ulloa 400, C.P. 42090 Pachuca Hgo, México

⁴ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Carr. Cuautitlán-Teoloyucan Km. 2.5, San Sebastian Xhala, C.P. 54753, Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Pérez-Montes, A., Gómez-De Anda F. R., Ojeda-Ramírez, D., González-Tenorio, R., Piloni-Martini J., Fernández-Martínez E., Reyes-Rodríguez N. E., De La Rosa-Arana J. L. (2025). Physicochemical, functional, and antioxidant characterization of *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa) endocarp flour. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1595. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1595>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 18th 2024.

Accepted/Aceptado: March 22th 2024.

Available on line/Publicado: April 11th 2025.

RESUMEN

El endocarpio de *Opuntia oligacantha*, conocido como xoconostle Ulapa, se compone de semillas y mucilago, y se considera un residuo. Este artículo tiene como objetivo describir a partir de su caracterización fisicoquímica y funcional la harina del endocarpio de *Opuntia oligacantha* para su aplicabilidad en la industria alimentaria. La harina se obtuvo a través de un proceso de deshidratación y molienda, posteriormente se determinaron sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales, tecnológicas y de capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que la harina tiene un pH ácido (4.1 ± 0.05), humedad (7.51 ± 0.22) y aw (0.31 ± 0.00) bajas. $L^* = 53.67 \pm 0.71$; rojo, $a^* = 10.00 \pm 0.31$ y amarillo, $b^* = 14.55 \pm 2.27$ que dan un color rojo-marrón. Baja cantidad de grasa (6.61 ± 0.04 %) y alta cantidad de fibra dietética (76.46 ± 1.25 %). Alto valor de índice de solubilidad en agua, actividad y estabilidad de emulsión (21.82 ± 2.99 %, 65.12 ± 1.03 %) y 99.42 ± 0.99 % respectivamente; y una baja absorción de aceite (0.149 ± 0.21 mL/g). Esta harina tiene una actividad antioxidante significativa (40.75-53.32 %) para las pruebas de FRAP, ABTS y DPPH. La harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* podría recomendarse en alimentos que requieran modificar su textura gracias a que es capaz de absorber agua y grasa.

PALABRAS CLAVE: Antioxidantes, endocarpio, harina, *Opuntia oligacantha*.

*Corresponding Author:

Fabián Ricardo Gómez-De Anda. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Av. Rancho Universitario s/n Km.1 C.P. 43760 Tulancingo, Hgo., México. Teléfono (+52) 55 3745 2556. E-mail: fabian_gomez9891@uaeh.edu.mx

ABSTRACT

The endocarp of *Opuntia oligacantha*, known as xoconostle Ulapa, is composed of seeds and mucilage, and is considered a residue. This article aims to describe, based on its physicochemical and functional characterization, the endocarp flour of *Opuntia oligacantha* for its applicability in the food industry. The flour was obtained through a dehydration and grinding process, after which its physicochemical, nutritional, technological, and antioxidant capacity properties were determined. The results showed that the flour has an acidic pH (4.1 ± 0.05), humidity (7.51 ± 0.22), and aw (0.31 ± 0.00). $L^*=53.67 \pm 0.71$; red, $a^*=10.00 \pm 0.31$ and yellow, $b^*=14.55 \pm 2.27$ giving a red-brown color. Low fat amount ($6.61 \pm 0.04\%$) and high amount of dietary fiber ($76.46 \pm 1.25\%$). High value of water solubility index, activity, and emulsion stability ($21.82 \pm 2.99\%$, $65.12 \pm 1.03\%$ and $99.42 \pm 0.99\%$ respectively; and a low oil absorption (0.149 ± 0.21 mL/g). This flour has significant antioxidant activity (40.75-53.32%) for FRAP, ABTS, and DPPH tests. *Opuntia oligacantha* endocarp flour could be recommended in foods that require modifying their texture, thanks to its ability to absorb water and fat.

KEY WORDS: Antioxidants, endocarp, flour, *Opuntia oligacantha*.

Introducción

Las cactáceas ocuparon un lugar económico, social y religioso en Mesoamérica, siendo importantes en la gastronomía de la civilización azteca (Sáenz *et al.*, 2013). Actualmente su producción sigue creciendo y es importante hasta nuestros días, ejemplo de esto es que, en el año 2014, el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) registró una producción de 11,048 toneladas de xoconostle en México (SIAP, 2018). A nivel mundial se han identificado más de 1500 variedades de cactáceas (Arias-Rico *et al.*, 2020) las cuales han destacado por su capacidad de desarrollo en zonas áridas y semiáridas (Kalegowda *et al.*, 2017). Entre estas cactáceas se encuentra el nopal (*Opuntia sp.*), una familia de plantas cactáceas, dentro de las cuales algunos miembros producen frutos ácidos conocidos como “xoconostles” (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015), estos han sido objeto de un número limitado de investigaciones.

El xoconostle está conformado por 3 estructuras (Figura 1). El mesocarpio que se utiliza en la elaboración de dulces, jaleas y bebidas; el epicarpio y endocarpio (formado por semillas y mucílago) los cuales comúnmente se eliminan considerándose residuos (Morales *et al.*, 2012; 2015).

Dentro de los estudios realizados con el xoconostle se encuentra el de Morales *et al.* (2012), donde se determinó que las semillas contenidas en la parte interna del fruto (endocarpio) poseen una mayor cantidad de fibra en comparación con la parte carnosa del fruto (mesocarpio). Siguiendo con sus investigaciones Morales *et al.*, (2014) observó la presencia de ácidos grasos insaturados y propiedades antioxidantes en el endocarpio. Posteriormente, Kalegowda *et al.* (2017) identificaron que el mucílago obtenido de esta fruta exhibe propiedades interesantes, como la capacidad de emulsionar, unir sustancias, así como propiedades antiinflamatorias, antiulcerosas y beneficios en la regulación del colesterol.

En México existen investigaciones sobre especies nativas de xoconostle, como *Opuntia oligacantha*, conocida como xoconostle Ulapa, el cual tiene una significativa relevancia socioeconómica (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015). Dentro de los estudios de esta especie de fruto, los investigadores han descubierto que el endocarpio contiene compuestos fenólicos los cuales tienen el potencial de extender la vida útil de productos como el yogurt (Cenobio-Galindo *et al.*, 2019) y reducir la actividad de enzimas como la α -amilasa y la α -amiloglucosidasa (Medina-Pérez *et al.*, 2019).

En este contexto, el propósito de este estudio consistió en evaluar de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales, tecnológicas y antioxidantes de la harina derivada del endocarpio de *Opuntia oligacantha*, con el fin de considerar su aplicación como un aditivo en la industria alimentaria.

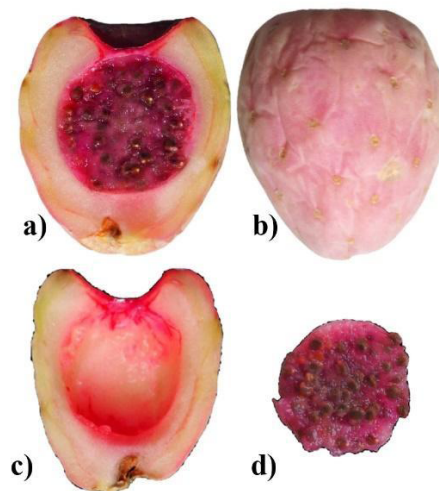


Figura 1. Disección del fruto de *Opuntia oligacantha* (xoconostle Ulapa). Anatomía del fruto completo en corte longitudinal (a) y sus estructuras: epicarpio, cáscara (b), mesocarpio: pulpa (c); y endocarpio: semillas y mucílago (d).

Material y Métodos

Obtención de los xoconostles

Los xoconostles se recolectaron en el municipio de San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México, durante el período de diciembre de 2021 a enero de 2022. Este lugar está situado a una latitud norte de 20°06'52'', longitud oeste de 98°53'12' y una altitud de 2340 metros sobre el nivel del mar. Los xoconostles recogidos se eligieron en función de su madurez comercial, es decir, se seleccionaron aquellos de color rojo.

Obtención de la harina

Se tomaron 55 kg de xoconostles, los cuales se lavaron y se cortaron por la mitad a lo largo para separar las semillas con su mucílago del epicarpio y mesocarpio. Las muestras de endocarpio (semillas con mucílago) se sometieron a un proceso de deshidratación en dos etapas. La primera etapa fue una deshidratación parcial a temperatura ambiente durante 24 h, y la segunda etapa se llevó a cabo en una estufa de secado (modelo 83 L Felisa FE-292D, México) con aire a 60 °C durante 72 h; posteriormente, se procesó la semilla deshidratada en un molino de cereales (modelo WEG Mod MSL1J, México) y se tamizó utilizando un tamiz de 0.6 mm (norma de tamiz USA Standard Test Sieve, W.S Tyler). La harina resultante se almacenó en bolsas de polietileno a temperatura ambiente y se protegió de la luz hasta su uso.

Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

El rendimiento de harina fue determinado como lo describen Maray *et al.* (2018). Se obtuvo el peso del endocarpio fresco (material crudo) así como el peso después del secado (producto deshidratado) en estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México). El rendimiento en porcentaje fue calculado usando la siguiente ecuación:

Ecuación 1.

$$\text{Rendimiento \%} = (\text{peso producto deshidratado g} / \text{peso material crudo g}) \times 100$$

Sólidos solubles

El total de sólidos solubles (°Brix) fue determinado en el jugo de fruta con un refractómetro (Generic Home 019, Tokio, Japón), este parámetro se encuentra asociado al grado de madurez del fruto como lo describen Guzmán-Maldonado *et al.* (2010).

pH

El valor de pH se determinó en una muestra de 10 g con 100 mL de agua destilada utilizando un potenciómetro digital (Hanna instruments, HI98107, México) previamente calibrado, las determinaciones se realizaron por triplicado (Guimarães *et al.*, 2020).

Actividad de agua (aw)

Este parámetro fue determinado por triplicado a $25 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ usando un medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE, Decagon, Pullman, WA, USA), midiendo la variación de la presión parcial de agua (Dick *et al.*, 2020).

Color

El color fue medido con la escala de colores CIELab, usando un colorímetro (Minolta CM-508d Tokio, Japón) configurando el iluminante D65 y ángulo de observación de 10° , donde L^* indica luminosidad ($L^* = 0$ o 100 indican negro o blanco, respectivamente), a^* es el eje de la cromaticidad entre verde (-) a rojo (+), y b^* el eje entre azul (-) a amarillo (+), como lo describe López-Cervantes *et al.*, (2011).

Composición nutricional

La determinación de humedad se determinó en estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México) con aire caliente a 105°C hasta obtener un peso constante, como lo establece la AOAC (1975).

Determinación de cenizas

El contenido de cenizas fue determinado gravimétricamente por incineración de la muestra a 550°C por 5 h en mufla (Felisa FE-361, México), como lo describe la AOAC (1975).

Determinación de proteína

El contenido de nitrógeno fue determinado por el método de Kjeldahl (Digestor Kjeldahl Buchi K-436, Flawil, Suiza), y a partir de este parámetro se calculó el contenido de proteína con el factor de conversión 6.25, como lo describe la AOAC (1975).

Determinación de grasa

El contenido de grasa fue determinado en la muestra después de la obtención de humedad. La prueba se realizó por el método de Soxhlet (Sistema de extracción de grasa Buchi E816-HE, Flawil, Suiza), usando éter de petróleo, como lo describe la AOAC (1975).

Determinación de fibra cruda

La determinación de la fibra cruda se obtuvo a partir de la muestra desengrasada, digerida con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, como lo describe la AOAC (1975), por el método de Van Soest (equipo de fibra cruda Labconco LAC300001-00. EUA).

Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia. Los resultados de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra cruda fueron sumados y restados al 100 % (Asouzu, *et al.*, 2020). Ecuación 2.

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100\% - (\%H + \%C + \%PC + \%EE + \%FC)$$

Donde: H es humedad; C, cenizas; CP, proteína cruda; EE, extracto etéreo; FC, fibra cruda.

Determinación de fibra dietética

El contenido de fibra dietética total (TDF), fibra dietética insoluble (IDF) y soluble (SDF) fue determinado con un kit enzimático para análisis de fibra dietética total (100A-TDF, Switzerland, Suiza) de acuerdo con la AOAC (1975).

Propiedades tecnológicas

El índice de absorción de agua (WAI) se determinó de acuerdo con el método descrito por Guimarães *et al.* (2020) y Lopera-Cardona *et al.* (2016). Se mezclaron 5 g de muestra con 30 mL de agua destilada en un tubo Falcon de 50 mL previamente pesado. La mezcla se agitó suavemente durante 2 min y se dejó reposar 30 min. Posteriormente la mezcla se centrifugó (Centrifuga Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 3000 g por 30 min, el sobrenadante fue decantado para determinar el índice de sólidos solubles en agua (WSI). El WAI fue expresado como el peso del gel obtenido después de eliminar el sobrenadante por g de muestra de acuerdo con la Ecuación 3.

Ecuación 3.

$$WAI (g/g) = [(peso sedimento g - peso muestra g)/peso muestra g]$$

Índice de sólidos solubles en agua (WSI)

El sobrenadante decantado para la obtención de WAI fue depositado en una charola previamente pesada y fue evaporado a 105°C en una estufa de secado (83 L Felisa FE-292D, México) hasta obtener un peso constante. El WSI fue expresado como un porcentaje original de los sólidos secos del peso de la muestra en g utilizando la ecuación 4 (Lopera-Cardona *et al.*, 2016).

Ecuación 4.

$$WSI (\%) = [(peso muestra g - peso sedimento seco g)/peso muestra g] \times 100$$

Índice de absorción de aceite (OAI)

Este fue determinado de acuerdo con el método de Amaya-Cruz *et al.* (2018) y Guimarães *et al.* (2020) con algunas modificaciones. En tubo Falcon para centrifuga de 50 mL previamente pesado, se mezcló 1 g de muestra con 6 mL de aceite vegetal por 60 s. Los tubos con la mezcla se dejaron reposar 30 min a temperatura ambiente, y después se centrifugaron (Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 3000 g por 20 min y el volumen del sobrenadante fue medido. El índice de absorción de aceite fue expresado como mL de aceite unido por gramo de muestra en base seca (ecuación 5).

Ecuación 5.

$$OAI \text{ (mL/g)} = ([V1 - V2]/m)$$

Donde: V1, es el volumen inicial de aceite (mL) que fue mezclado con la harina de endocarpio de *O. oligacantha*; V2, es el volumen de aceite (mL) que no fue absorbido después de la centrifugación; y m, es el peso de la muestra de harina (g).

Capacidad de hinchamiento (SC)

Se determinó de acuerdo con el método descrito por Dick *et al.* (2020) y Lopera-Cardona *et al.* (2016). Se añadieron 3 g de muestra en una probeta graduada de 50 mL. La probeta fue golpeada suavemente sobre una superficie fija y el volumen fue anotado. Posteriormente, se añadieron 30 mL de agua destilada y la mezcla estuvo en reposo durante 60 min, transcurrido el tiempo, se midió el volumen. La capacidad de hinchamiento fue expresada como el múltiplo del volumen original calculado con la siguiente ecuación.

Ecuación 6.

$$SC \text{ (mL/g)} = \text{volumen después del reposo (mL)} / \text{volumen inicial (mL)}$$

Densidad aparente (BD)

Se determinó de acuerdo con el método descrito por Dick *et al.* (2020) y Asouzu *et al.* (2020). Una probeta graduada de 10 mL previamente tarada fue llenada con harina hasta la marca de 10 mL y fue golpeada suavemente sobre una superficie fija hasta que el llenado no disminuyó más de 10 mL. La densidad aparente fue expresada como gramos de muestra por unidad de volumen utilizando la ecuación 7.

Ecuación 7.

$$BD \text{ (g/mL)} = \text{peso muestra g} / \text{volumen después del golpeteo (mL)}$$

Actividad de emulsión (EA) y estabilidad de emulsión (ES)

Estos parámetros fueron determinados modificando el método descrito por Kaur & Singh (2005) y Lopera-Cardona *et al.* (2016). En un tubo para centrifuga de 20 mL, una suspensión acuosa de harina al 20% (p/v) fue homogeneizada (Homogenizador IKA-Ultra Turrax T18-S1 digital, Wilmington, EUA) a 1000 g por 30 s. La velocidad fue incrementando hasta 24000 g por 5 min y simultáneamente fueron agregados gradualmente 20 mL de aceite vegetal para conseguir la emulsión. La emulsión se dejó en reposo por 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente fue centrifugada (centrifuga Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany), a 3500 g por 25 min. La actividad de emulsión fue expresada como porcentaje de la altura de la capa emulsificada respecto a la altura total, utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 8.

$$EA (\%) = ([\text{Altura de la fase emulsificante (cm)} / \text{Altura total (cm)}] \times 100)$$

La emulsión formada fue calentada a $85 \pm 3^\circ\text{C}$ en baño de agua durante 15 min, al final la emulsión se dejó en reposo 30 min a temperatura ambiente, después se midió el volumen de la fase emulsificante y el volumen total. La ES fue expresada como porcentaje de la actividad emulsionante después del calentamiento.

Ecuación 9.

$$ES (\%) = ([A1/A2] \times 100)$$

Donde: A1, es la altura de la fase emulsificada antes del calentamiento (cm); y A2, es la altura de la fase emulsificada después del calentamiento (cm)

Análisis del perfil de textura (TPA) del gel de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

El gel se preparó modificando el método de Quintero-García *et al.* (2021) con suspensiones de harina al 16, 18 y 20 % en agua destilada, estas fueron preparadas usando un agitador térmico (Lab Equipment, modelo 85-2, USA) a 37.1° durante 30 minutos. Posteriormente las muestras fueron enfriadas en baño de agua fría y vertidas en placas de Petri de 60 x 15 mm y almacenadas a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 h. El análisis de perfil de textura (TPA) del gel de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* fue medido en un texturómetro (Brookfield CT3-4500, España) equipado con una sonda cilíndrica TA35 (diámetro 10 mm, altura 50 mm), con una compresión de 2 ciclos al 50% de su altura original. Las cajas de Petri con muestras de gel de 7 mm de grosor fueron colocadas en la placa de soporte, especificando una carga de activación de 0.067 N, y una velocidad constante de la cruceta a 1 mm/s. De las curvas tiempo-fuerza resultantes se analizaron valores de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y firmeza. Se realizaron 3 réplicas por cada muestra.

Obtención del extracto acuoso de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

1 g de harina fue homogenizada con 10 mL de agua destilada, y se llevó a centrifugación (centrifuga Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 5000 g por 10 min a 4°C. El sobrenadante fue recolectado (extracto acuoso), y a partir de esta muestra se cuantificaron por triplicado fenoles totales y la actividad antioxidante (Monteiro *et al.*, 2021).

Determinación de compuestos fenólicos totales

1 g de harina fue homogenizada con 10 mL de agua, y se llevó a centrifugación (centrifuga Hermle Z326K, Labortechnik GmbH, Germany) a 5000 g por 10 min a 4°C. El sobrenadante fue recolectado (extracto acuoso), a partir de esta muestra se cuantificaron por triplicado fenoles totales y la actividad antioxidante (Monteiro *et al.*, 2021).

Los compuestos fenólicos totales se determinaron con el reactivo Folin Ciocalteu de Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA., como lo describen Monteiro *et al.*, (2021) con modificaciones. 1.580 mL de extracto acuoso y 100 µL de Folin Ciocalteu fueron mezclados, después de 8 minutos se adicionó 300 µL de carbonato de sodio al 20 %. Las muestras se colocaron en baño de agua a 50°C por 15 min. La absorbancia determinada fue a 765 nm. Los resultados fueron calculados usando una curva estándar ($y=0.0984x+0.057$) y expresada como mg equivalentes de ácido gálico de Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA., por g de extracto.

Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue determinada por método espectrofotométrico (espectrofotómetro uv-vis UV-1280 Shimadzu, Japón). Se usó una curva estándar de Trolox 1 mM, preparada con 0.00129 g de Trolox en 5 mL de etanol al 50 %, para medir la capacidad antioxidante en los radicales DPPH· y ABTS·⁺. El poder antioxidante reductor del hierro (FRAP) se determinó con una curva estándar de hierro, para ello se preparó una solución madre de sulfato de hierro 2 mM (0.0028 g en 5 mL de agua). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil), ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico), FRAP (Poder Antioxidante de Reducción Férrica) y Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) fueron comprados de Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA.

Capacidad de eliminación del radical DPPH·

El radical DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil) se preparó a una concentración de 60 µM, en 15 mL de metanol y se guardó en oscuridad hasta su uso. Se mezcló 0.1 mL extracto acuoso de harina de endocarpio de *O. oligacantha* con 3.9 mL de la solución DPPH. La capacidad de la harina para estabilizar el radical DPPH fue medida a λ 517 nm. Los resultados fueron calculados

utilizando una curva estándar de Trolox y expresados como mmol equivalentes de Trolox/100 g de extracto (Brand-Williams *et al.*, 1995; Monteiro *et al.*, 2021).

Capacidad de eliminación del radical ABTS^{•+}

980 μ L de ABTS disuelto en agua a una concentración de 7 mM y 20 μ L de extracto acuoso de harina de endocarpio de *O. oligacantha* fueron mezclados y se dejaron en reposo durante 20 min a temperatura ambiente protegidos de la luz. La actividad de eliminación del radical ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio)) fue determinada a λ 734 nm. Los resultados fueron calculados utilizando una curva estándar de Trolox y expresados como mmol equivalentes de Trolox/100 g de extracto (Monteiro *et al.*, 2021).

Determinación del poder antioxidante reductor del hierro (FRAP)

Se tomó una alícuota de 30 μ L de extracto harina de endocarpio de *O. oligacantha* más 970 μ L de la solución TPTZ (ácido 2,4,6-tris(2-piridil)-1,3,5-triazina) preparada con 25 mL de buffer acetato, 2.5 mL de TPTZ, 2.5 mL de solución $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. El análisis de FRAP fue determinado a λ 593 nm. Los resultados fueron calculados utilizando una curva estándar de sulfato ferroso y expresados como mmol de Fe(II)/100 g de extracto (Benzie & Strain, 1996; Monteiro *et al.*, 2021; Thaipong *et al.*, 2006).

Análisis de datos

Los datos se analizaron por medio de estadística descriptiva, donde los parámetros de caracterización de harina de endocarpio de *O. oligacantha* para cada prueba (n=3 o n=10) fueron expresados como la media $\pm$ desviación estándar utilizando el Programa Stargraphics Centurion XVI 16.1.03 (32 bits) (2009).

Resultados y Discusión

Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

Las propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *O. oligacantha* son presentadas en la tabla 1. El rendimiento obtenido en este trabajo para la harina de endocarpio de *O. oligacantha* fue de 24.24 ± 0.20 %, más alto que el rango de 12-18 % reportado para la harina de endocarpio de *Opuntia matudae* (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). Las diferencias en el rendimiento de harina pueden ser porque *O. oligacantha* se deshidrató con aire caliente y *O. matudae* con liofilización. Morales-Tapia *et al.* (2022) han demostrado que el secado de harina por liofilizado tiene menor rendimiento que el secado por aire caliente; ya que en liofilización ocurre la sublimación del agua (sólido-gas) causando mayor pérdida de agua que en el secado por aire caliente (Bashir *et al.*, 2020) y finalmente la cantidad de agua en la harina después del secado influye en el rendimiento (Guimarães *et al.*, 2020). Además, al perderse más agua en el secado

por liofilizado también pueden perderse sólidos hidrosolubles que favorecen un bajo rendimiento (Maray *et al.*, 2018).

El pH de la harina de endocarpio de *O. oligacantha* (4.13 ± 0.05) fue más bajo que el obtenido para la harina de tuna de *Opuntia ficus indica* (5.58) reportado por Batu *et al.* (2018). El pH ácido de la harina previene el crecimiento de microorganismos; esto favorece la inocuidad de los productos, al ser utilizado como condimento. Las diferencias de pH se deben a que normalmente los xoconostles son más ácidos que las tunas, por la presencia de ácidos orgánicos como málico, cítrico y oxálico; pero también influye el lugar de cosecha y el grado de madurez del fruto (Ayadi *et al.*, 2009; Fernández-Luqueño *et al.*, 2021).

Los valores de grados Brix son un indicativo del grado de madurez de los frutos. En este sentido, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* mostró un valor de 6.0 ± 0.00 °Brix, lo cual indica que se obtuvo de un fruto maduro. Este resultado es semejante con los valores de sólidos solubles totales que presentan las especies de *Opuntia spp.* (xoconostles), los cuales oscilan entre 1.10 -1.35 °Brix y 4.28-6.12 °Brix para frutos inmaduros y maduros, respectivamente (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

	<i>Opuntia oligacantha</i>	Otras cactáceas
Rendimiento (%)	24.20 ± 0.20	$12-18 \pm 1-3^1$
°Brix	6.00 ± 0.00	5.36 ± 0.11^2
pH	4.13 ± 0.05	5.58 ³
Aw	0.31 ± 0.00	0.37 ± 0.00^4

¹*Opuntia matudae* (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010), ²*Opuntia oligacantha* (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015), ³*Opuntia ficus indica* (Batu *et al.*, 2018), ⁴*Opuntia monacantha* (Dick *et al.*, 2020). Los resultados son expresados como promedio $\pm$ desviación estándar, excepto el valor de pH para *Opuntia ficus indica*.

La harina de endocarpio de *O. oligacantha* mostró una aw de 0.31 ± 0.00 , más baja que la reportada para *Opuntia monacantha* (0.37 ± 0.00) (Dick *et al.*, 2020). Independientemente de la especie, las diferencias entre los valores de nuestro estudio y lo reportado para *O. monacantha* puede fundamentarse en que ambas fuentes botánicas se deshidrataron a diferentes condiciones temperatura/tiempo (60°C/36 h y 45°C/16 h, respectivamente) para la obtención de la harina. La aw es un parámetro clave para la conservación de las harinas. Pese a las diferencias, se ha reportado que un valor de aw inferior a 0.5 disminuye el desarrollo de microorganismos patógenos

y daño fisicoquímico en harinas, aumentando su vida útil y ser usadas como aditivos funcionales (Morales-Tapia *et al.*, 2022).

En la tabla 2 se observan los resultados de color obtenidos para *Harina de endocarpio de O. oligacantha* la cual mostró una luminosidad ($L^* = 53.67 \pm 0.71$) mayor que la reportada para las harinas de *Opuntia joconostle* y *O. matudae* ($L^* = 33.5 \pm 0.1$ y 22.4 ± 0.0 , respectivamente). La intensidad del rojo (a^*) en la harina de endocarpio de *O. oligacantha* (10.00 ± 0.31) fue similar a la reportada para una para harina de *O. matudae* ($a^* = 10.4 \pm 0.0$), pero mayor que la de la harina de *O. joconostle* ($a^* = 5.3 \pm 0.0$). La intensidad del amarillo (b^*) para harina de endocarpio de *O. oligacantha* fue de 14.55 ± 1.27 ; dicho valor fue similar al obtenido para la harina de *O. joconostle* (14.0 ± 0.0) pero mayor que el de la harina de *O. matudae* (9.6 ± 0.0) (Arias-Rico *et al.*, 2020). En lo referente al valor de $b^* = 14.55 \pm 2.27$, este fue mayor que $a^* = 10.00 \pm 0.31$ y aunque ambos valores son positivos indican que predomina más el color amarillo sobre el rojo de acuerdo con los parámetros del CIELab. Se ha reportado que el color en las harinas de *Opuntia* se debe al contenido de betalaínas en los frutos; específicamente, las betacianinas confieren colores rojo-morado y las betaxantinas colores amarillo-naranja (Cota-Sánchez *et al.*, 2016; Medina-Pérez *et al.* 2020); esto indica que hay mayor contenido de betaxantinas que betacianinas en la harina de endocarpio de *O. oligacantha*.

Tabla 2. Parámetros de color L, a y b en la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

Color	HEOo
Luminosidad (L^*)	53.67 ± 0.71
Intensidad del rojo (a^*)	10.00 ± 0.31
Intensidad de amarillo (b^*)	14.55 ± 2.27

HEOo: harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*. Los resultados son expresados como promedio $\pm$ desviación estándar.

OoEF: *Opuntia oligacantha* endocarp flour. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation.

Composición nutricional de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

La tabla 3 muestra los valores de la composición nutricional obtenidos para la harina de endocarpio de *O. oligacantha*. La composición nutricional de las harinas es muy variada, depende de la especie (De Andrade *et al.*, 2021), variedad genética (Keyata *et al.*, 2020), lugar de cultivo, condiciones del suelo, temporada de recolección del fruto (Zepeda *et al.*, 2009), tamaño de partícula, tiempo y temperatura de secado de la harina (Deli *et al.*, 2019).

La harina de endocarpio de *O. oligacantha* tuvo un contenido de humedad de 7.51 ± 0.22 %. Arias-Rico *et al.* (2020), reportaron valores de humedad del 7.2 y 8.2 % para las harinas de *O. joconostle* y *O. matudae*, respectivamente; mientras que Dick *et al.* (2020) encontraron que el contenido de humedad para la harina de *O. monacantha* fue de 5.13%. Los porcentajes de humedad anteriores están por debajo del 10%, esto asegura la estabilidad de la harina durante su almacenamiento (Deli *et al.*, 2019), ya que la reducción del porcentaje de humedad reduce el crecimiento bacteriano (Du Toit *et al.*, 2019); por lo que si se usa como ingrediente en los alimentos puede favorecer la vida de anaquel (Guimarães *et al.*, 2020).

Por otra parte, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* tuvo un contenido de cenizas de 2.85 ± 0.12 %, proteína de 6.29 ± 0.01 % y grasa de 6.61 ± 0.04 %; los cuales fueron cercanos a los contenidos de ceniza (1.95 ± 0.08 %), proteína (6.84 ± 0.22 %) y grasa (7.15 ± 0.23 %) obtenidos para una harina de endocarpio de *O. matudae*. Estas diferencias pueden atribuirse a que son especies diferentes colectadas en ubicaciones geográficas diferentes; ya que los frutos de *O. matudae* se obtuvieron de los estados de México, Puebla y Guanajuato; mientras que los de *O. oligacantha* fueron colectados en el estado de Hidalgo (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010).

El contenido de carbohidratos en la harina de endocarpio de *O. oligacantha* fue de 39.00 ± 1.59 %, valor 57 % más bajo que el reportado para una harina de endocarpio de *O. matudae* (81.77 %) (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). Se ha reportado que el 75 % del endocarpio está conformado por mucílago (Morales *et al.*, 2014) y que el contenido de carbohidratos depende del grado de madurez de los frutos, así frutos inmaduros poseen mayor contenido de mucílago y por ende mayor contenido de carbohidratos necesarios para su desarrollo (López-Cervantes *et al.*, 2011; Sutton *et al.*, 1981).

Tabla 3. Composición nutricional de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

Parámetro	Resultado
Humedad (%)	7.51 ± 0.22
Ceniza (%)	2.85 ± 0.12
Proteína (%)	6.29 ± 0.01
Grasa (%)	6.61 ± 0.04
Carbohidratos (%) ^a	39.00 ± 1.59
Fibra cruda (%) ^b	37.72 ± 1.69

Los resultados son expresados como promedio $\pm$ desviación estándar de 3 réplicas. ^aCarbohidratos = 100% - (%H + %C + %PC + %EE + %FC).

La fibra dietética total es la suma de las fracciones solubles (gomas, pectina y mucílago) e insolubles (celulosa, hemicelulosa y lignina). Estas fracciones de la fibra dietética pueden variar de acuerdo con la estación del año en que se cosechó el fruto. En invierno (temporada seca) las cactáceas tienden a formar más fibra insoluble en su pared celular que sirve como barrera para evitar la pérdida de agua (Ventura-Aguilar *et al.*, 2017). En este contexto nosotros cosechamos nuestro fruto en diciembre, razón por la cual la harina de endocarpio de *O. oligacantha* es alta en fibra dietética total, insoluble y soluble con valores de 76.46 ± 1.25 ; 73.82 ± 1.19 y 2.64 ± 0.06 %, respectivamente; comparado con la harina de endocarpio de *O. matudae* (1.02 ± 0.04 , 0.72 ± 0.10 y 0.30 ± 0.04 % respectivamente) (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). En general la fibra dietética es importante porque promueve efectos fisiológicos benéficos como laxante, anticolesterolémico, antihiper glucemiante y tiene efecto prebiótico al mejorar el crecimiento de la flora bacteriana en el intestino grueso (Bodner & Sieg, 2009); además mejora la textura y la calidad de los alimentos (Das *et al.*, 2020). Asimismo, la fibra dietética insoluble puede evitar la pérdida de grasa de los alimentos gracias a su afinidad lipofílica, lo cual es importante en la palatabilidad (Bodner & Sieg, 2009), ya que mejora la elasticidad y suavidad en productos alimenticios como los de panadería (Zhu *et al.*, 2020); además, tiene efecto en la regulación intestinal y reduce el riesgo de padecer cáncer de próstata (Merenkova *et al.*, 2020).

Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

Las propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de *O. oligacantha* se muestran en la tabla 4. La harina de endocarpio de *O. oligacantha* tuvo un índice de absorción de agua (WAI) de 1.648 ± 0.05 gH₂O/g materia seca; este valor fue más bajo que el obtenido para la harina de nopales de *O. ficus indica*, *O. inermis* y *O. monacantha* (6.85 ± 0.03 , 3.15 ± 0.01 y 7.03 gH₂O/g materia seca, respectivamente) (Ayadi *et al.*, 2009; Dick *et al.*, 2020). Estas diferencias de WAI entre cactáceas puede deberse a las especies (Dick *et al.*, 2020) y al contenido de fibra soluble en la harina, ya que este tipo de fibra se ha descrito como la encargada de la absorción de agua (Asouzu *et al.*, 2020); por lo que el valor bajo de WAI obtenido en este estudio para la harina de endocarpio de *O. oligacantha*, puede ser debido al bajo contenido de fibra soluble (2.64 ± 0.06 %), cuando las demás especies reportadas mostraron valores superiores a 5.8 ± 0.4 % de fibra soluble.

Tabla 4. Propiedades tecnológicas de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

Propiedades	HEOo
Índice de absorción de agua (WAI) g H ₂ O/g	1.648 ± 0.06
Índice de solubilidad en agua (WSI) %	21.827 ± 2.99
Índice de absorción de aceite (OAI) mL/g	0.149 ± 0.21
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	1.866 ± 0.11
Densidad aparente (g/mL)	0.688 ± 0.00
Capacidad de emulsión (%)	65.12 ± 1.03
Estabilidad de emulsión (%)	99.42 ± 0.99

Los resultados son expresados como promedios $\pm$ desviación estándar de 3 réplicas. HEOo: harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

El índice de solubilidad en agua (WSI) obtenido en este trabajo para la harina de endocarpio de *O. oligacantha* fue de 21.827 ± 2.99 %; más alto que el 5.23 ± 0.02 % descrito para harina de *O. ficus indica* (Ayadi et al., 2009). El alto valor de WSI en la harina de endocarpio de *O. oligacantha* se debe a que posee más sólidos solubles (compuestos hidrofílicos) como glucosa, fructosa y sacarosa que la harina de *O. ficus indica* (Ayadi et al., 2009; Morales et al., 2015).

Por otra parte, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* presentó un valor de índice de absorción de aceite (OAI) de 0.149 ± 0.21 mL de aceite/g materia seca, este valor fue menor que los reportados para harinas de *O. ficus indica*, *O. inermis* y *O. monacantha* (1.29 ± 0.01 , 1.31 ± 0.01 y 1.26 g de aceite/g materia seca, respectivamente) (Arias-Rico et al., 2020; Ayadi et al., 2009; Dick et al., 2020). El bajo contenido de OAI en la harina de endocarpio de *O. oligacantha* se debe probablemente a que el endocarpio tiene un contenido bajo de compuestos lipofílicos (ácidos grasos y tocoferoles), comparado con la cáscara o fruto completo (Arias-Rico et al., 2020). Un valor alto de OAI en los alimentos es recomendable para prevenir la pérdida de grasa durante el procesamiento y favorecer la palatabilidad, además de aumentar la excreción de grasa en el intestino (Yang et al., 2021). En este caso la harina de endocarpio de *O. oligacantha*, con un valor bajo de OAI, puede ser recomendada para el desarrollo de productos saludables bajos en grasa y destinados a la población con baja tolerancia a la palatabilidad grasa en los alimentos (Amaya-Cruz et al., 2018).

Otros aspectos tecnológicos importantes para considerar en una harina son su capacidad de hinchamiento (SC) y la densidad aparente (BD). Con respecto a la SC, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* mostró un valor de 1.866 ± 0.01 mL/g, el cual fue más bajo que el de la harina de *O. monacantha* (17.49 mL/g) (Dick et al., 2020). El bajo valor de SC en esta investigación es probablemente por el bajo valor de WAI mostrado por la harina de endocarpio de *O. oligacantha*, ya que la SC es un indicador del WAI, ambos relacionados con la absorción de agua (Abirami et al., 2014). Por otro lado, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* tuvo una densidad aparente (BD) alta de 0.688 g/mL, similar a la obtenida para la harina de *Opuntia ficus indica* (0.647- 0.703 g/mL) (Ayadi et al., 2009).

La capacidad de emulsión (EC) y estabilidad de emulsión (ES) obtenidas para la harina de endocarpio de *O. oligacantha* fueron de 65.12 ± 1.03 y 99.42 ± 0.99 %, respectivamente. Dichos valores son más altos que los observados para la harina de *Opuntia dillenii* (EC= 55-65 %, ES= 40-50 %) (Kalegowda et al., 2017).

Por otro lado, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* tiene 10 veces más proteína que *O. dillenii* reportada por Medina et al. (2007). La proteína es indispensable en la actividad de emulsión, porque actúa como surfactante, es decir puede unir dos líquidos inmiscibles (Abirami et al., 2014; Du Toit et al., 2019).

Tabla 5. Propiedades de textura de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* (HEOo)

Suspensión (%)	Dureza (g)	Adhesividad (J)	Cohesividad	Índice de elasticidad	Firmeza
16	132.00 ± 37.42 ^a	0.0015 ± 0.00 ^a	1.0550 ± 0.04 ^c	1.5100 ± 0.16 ^b	1.0943 ± 0.05 ^b
18	240.17 ± 18.00 ^a	0.0045 ± 0.00 ^c	0.9767 ± 0.01 ^b	1.5067 ± 0.05 ^b	2.2987 ± 0.14 ^c
20	1134.48 ± 101.16 ^b	0.0025 ± 0.00 ^b	0.0400 ± 0.00 ^a	0.1750 ± 0.02 ^a	0.3775 ± 0.07 ^a

Los resultados son expresados como promedio ± desviación estándar de 3 réplicas. Diferentes letras en superíndice indican diferencia estadística significativa entre las suspensiones.

Los resultados de TPA de la HEOo se reportan en la tabla 5. De forma general se observan que los valores de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y dureza aumentan del 16 al 18 %, pero disminuyen al 20 % debido a que posiblemente a esta concentración de harina ya no hay interacción de fuerzas de Van der Waals. Quintero-García *et al.* (2021) midieron la textura de la harina de mucílago de *O. ficus indica* y reportaron valores de dureza, cohesividad y elasticidad menores a los encontrados en este trabajo (11.29 ± 0.04 g, 0.72 ± 0.01 y 0.63 ± 0.01 , respectivamente); mientras que la adhesividad (3.21 J) fue mayor que la obtenida para la harina de *O. oligacantha*. Normalmente a mayor dureza y firmeza, el gel es menos pegajoso disminuyendo la adhesividad porque es menor la fuerza de atracción entre la superficie de la muestra y la superficie de la sonda del texturómetro (Talens Oliag, 2017). Además, Acevedo *et al.* (2013) mencionan que los parámetros de textura dependen de la composición de la harina, y que la proteína y fibra soluble aumentan la viscosidad (Zarate-Diego *et al.* 2021; Du Toit *et al.*, 2019).

El metabolismo de los organismos vivos genera especies reactivas de oxígeno y nitrógeno que son muy inestables y reaccionan con el resto de las macromoléculas celulares. Cuando la generación de estas especies rebasa las defensas antioxidantes del organismo, se genera un estado patológico conocido como estrés oxidativo que conlleva a la oxidación de lípidos, proteínas e incluso los ácidos nucleicos, desencadenando así trastornos de salud como diabetes mellitus, hipertensión, cáncer, esclerosis múltiple, Alzheimer y otros trastornos neurodegenerativos (Apak *et al.*, 2016; Dibacto *et al.*, 2021; Lu *et al.*, 2021; Vázquez-Ovando *et al.*, 2022). Los antioxidantes son moléculas capaces de estabilizar o eliminar las especies reactivas, ya sea a través de la donación de un electrón, de un átomo de H, o ambos (Apak *et al.*, 2016). En la actualidad, el consumo de productos alimenticios ricos en antioxidantes se ha relacionado positivamente con una reducción del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles. Además, la industria alimentaria prefiere los ingredientes antioxidantes naturales procedentes de alimentos vegetales sobre los de origen sintético debido a que se ha demostrado que éstos

últimos, a concentraciones elevadas, generan toxicidad (Dibacto *et al.*, 2021). Los antioxidantes presentes en frutas y verduras se pueden categorizar principalmente en tres grupos: vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos, siendo estos últimos los más potentes en términos de actividad antioxidante, como lo indicaron Thaipong *et al.* (2006). Por otra parte, para promover el uso de residuos vegetales, la producción de harinas constituye una opción viable ya que pueden preservar la bioactividad y propiedades nutricionales del vegetal in natura (Coimbra *et al.*, 2023).

En la tabla 6 se observan los parámetros relacionados a la capacidad antioxidante de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*, así como su contenido de compuestos fenólicos.

Existen diferentes técnicas para determinar la capacidad antioxidante de moléculas, algunas se basan en la capacidad que poseen estas para estabilizar radicales como DPPH. y ABTS.+; otras, como FRAP, en medir el poder de reducir el ion férrico a ferroso (Griffin & Bhagooli, 2004; Vázquez-Ovando *et al.*, 2022). La prueba de ABTS es aplicada a sistemas antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos, mientras que DPPH es aplicable a sistemas hidrófobos o lipofílicos (Floegel *et al.*, 2011; Thaipong *et al.*, 2006; Vázquez-Ovando *et al.*, 2022). En el caso de FRAP, este método es aplicable a matrices alimentarias relativamente insolubles (Vázquez-Ovando *et al.*, 2022), y se ha observado que no reacciona con el grupo sulfhídrido o tiol de los aminoácidos cisteína y metionina encargados de la eliminación de radicales libres, por lo que FRAP no debe aplicarse a sistemas antioxidantes ricos en proteínas porque puede existir una alteración en el porcentaje de inhibición de FRAP (Benzie & Devaki, 2018; Çekiç *et al.*, 2009). Por otro lado, Amadi *et al.* (2017) reportaron la existencia de estos aminoácidos azufrados en cactáceas como *O. dillenii* recomendándose como suplemento en problemas de desnutrición.

Tabla 6. Determinación de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*

Propiedades	HEOo
Compuestos fenólicos totales	4.93 ± 0.08
DPPH (2,2 Diphenyl picrylhydrazyl)	51.97 ± 0.30
ABTS (2,2'-azinobis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio)	53.32 ± 2.68
FRAP (Poder de reducción antioxidante del hierro)	40.75 ± 0.63

Los valores son expresados como promedio ± desviación estándar de 3 réplicas. Los resultados de los compuestos fenólicos totales son expresados en mg equivalentes de ácido gálico (GAE/100 g base seca). Los resultados de DPPH, ABTS son expresados en mmol equivalentes de Trolox (TE/100 g de extracto). Los resultados de FRAP son expresados como mmol de Fe(II)/100 g de extracto. HEOo: harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha*.

Los compuestos fenólicos son antioxidantes naturales que contribuyen a extender la vida útil de los alimentos, tienen propiedades antibacterianas debido a su capacidad para afectar la

permeabilidad de las membranas de las bacterias, y también pueden ayudar en la prevención de enfermedades crónicas en quienes consumen estos alimentos (Cenobio-Galindo *et al.* 2019; Yang *et al.* 2018). Estos compuestos se desarrollan en el fruto en defensa contra los insectos (Ventura-Aguilar *et al.*, 2017), por otro lado, están asociados con la actividad antioxidante, por lo que es importante medirlos. En este sentido, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* posee un mayor contenido de compuestos fenólicos comparado con lo reportado para la harina de endocarpio de *O. joconostle* y *O. matudae* (0.11 ± 0.01 y 0.05 ± 0.01 mg de ácido gálico equivalentes (GAE)/g de extracto, respectivamente) (Morales *et al.*, 2015). Con respecto a la capacidad antioxidante, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* presentó valores de inhibición de los radicales DPPH y ABTS, de 4 a 8 veces mayores que los obtenidos para extractos de endocarpio de *O. joconostle* (DPPH= 6.20 ± 0.32 mmol TE/100 g de extracto, ABTS = 8.51 ± 0.82 mmol TE/100 g) (Dávila-Hernández *et al.*, 2019); es decir, el endocarpio de *O. oligacantha* tiene de 4-8 veces más poder antioxidante que el endocarpio de *O. joconostle*, y este efecto podría estar asociado a un mayor contenido de compuestos fenólicos.

Las diferencias en la cantidad de tanto de fenoles totales y de capacidad antioxidante, puede ser atribuidas al genotipo, especie, cultivo e incluso a las condiciones de crecimiento del xoconostle (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015). Además, la presencia de estos compuestos también puede variar dependiendo de la parte del fruto que se examine (Fernández-Luqueño *et al.*, 2021).

Conclusiones

La harina de endocarpio de *Opuntia oligacantha* tiene importantes propiedades fisicoquímicas, nutricionales, tecnológicas y antioxidantes para el área de los alimentos. El endocarpio es considerado principalmente un residuo del fruto, por lo que casi no ha sido estudiado. Los resultados de esta investigación muestran que la harina tiene bajos valores de aw y humedad que pueden aumentar su periodo de conservación, además tiene un pH ácido que puede prevenir el crecimiento de microorganismos. Debido a la baja cantidad de grasa y alta cantidad de fibra dietética, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* puede ser usada en la preparación de los alimentos dietéticos. Por otro lado, la harina de endocarpio de *O. oligacantha* presenta valores altos de solubilidad en agua, actividad y estabilidad de emulsión; estas propiedades son un potencial para modificar la textura de los alimentos por sus propiedades de hidratación, además un porcentaje bajo de absorción de aceite recomendable en alimentos bajos en grasa. Finalmente, esta harina tiene importante actividad antioxidante lo que puede mejorar la vida de anaquel de los productos y favorecer la salud del consumidor.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo PMA, ORD, GDFR,; desarrollo de la metodología GDFR, GTR, PMJ,; manejo de software, DLRAJL, RRNE, GDFR, PMA,; validación experimental, FME, PMA, ORD, GDFR, análisis de resultados, PMA, GDFR, PMJ, DLRAJL,; Manejo de datos, PMA, ORD, GDFR, FME,; escritura y preparación del manuscrito, PMA, ORD, GDFR, RRNE, DLRAJL,;

redacción, revisión y edición, PMA, DLRAJL, ORD, GDFR, GTR,; administrador de proyectos GDFR.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Agradecimientos

Pérez-Montes Antonio agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada número 782560 para sus estudios de postgrado.

Deyanira Ojeda Ramírez, Javier Piloni Martini, Eduardo Fernández Martínez, Nydia-Edith Reyes-Rodríguez, Jorge-Luis de-la-Rosa-Arana y Fabián-Ricardo Gómez-de-Anda, agradecemos al Sistema Nacional de Investigación de Conahcyt, México.

Referencias

- Abirami, A., Nagarani, G., & Siddhuraju, P. (2014). Measurement of functional properties and health promoting aspects-glucose retardation index of peel, pulp and peel fiber from *Citrus hystrix* and *Citrus maxima*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(1), 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.06.001>
- Acevedo, B. A., Avanza, M. V., Cháves, M. G., & Ronda, F. (2013). Gelation, thermal and pasting properties of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.), dolichos bean (*Dolichos lablab* L.) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) flours. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.014>
- Amadi, B. A., Njoku, U. C., Amadi, P. U., Agomuo, E. N., Ezendiokwere, O. E., & Nwauche, K. T. (2017). Assessment of vitamins, protein quality and mineral bioavailability of matured stems of *Opuntia dillenii* grown in Nigeria. *Bioengineering and Bioscience*, 5(3), 47-54. <https://doi.org/10.13189/bb.2017.050302>
- Amaya-Cruz, D. M., Perez-Ramirez, I. F., Ortega-Diaz, D., Rodriguez-Garcia, M. E., & Reynoso-Camacho, R. (2018). Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) by-product as functional ingredient: effect of thermal processing and particle size reduction on bioactive constituents and functional, morphological, and structural properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 135-144. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9624-0>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K. & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 1. Classification, Physicochemical Principles, Mechanisms, and Electron Transfer (ET)-Based Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997-1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Association of Official Agricultural Chemists [AOAC]. (1975). Official methods of analysis (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Arias-Rico, J., Cruz-Cansino, N. D. S., Cámara-Hurtado, M., López-Froilán, R., Pérez-Rodríguez, M. L., Sánchez-Mata, M. D. C., Jaramillo-Morales, O., Barrera-Gálvez, R., & Ramírez-Moreno, E. (2020). Study of xoconostle (*Opuntia* spp.) powder as source of dietary fiber and

- antioxidants. *Foods*, 9(4), 403. <https://doi.org/10.3390/foods9040403>
- Asouzu, A. I., Oly-Alawuba, N. M., & Umerah, N. N. (2020). Functional Properties and Chemical Composition of Composite Flour Made from Cooking Banana (*Musa Paradisiaca*) and Yellow Maize (*Zea Mays*). *Research Journal of Food and Nutrition*, 4(2), 6-12. https://www.researchgate.net/profile/Nkemjika-Umerah/publication/341769201_Functional_Properties_and_Chemical_Composition_of_Composite_Flour_Made_from_Cooking_Banana_Musa_Paradisiaca_and_Yellow_Maize_Zea_Mays/links/5ed30d98299bf1c67d2cafa9/Functional-Properties-and-Chemical-Composition-of-Composite-Flour-Made-from-Cooking-Banana-Musa-Paradisiaca-and-Yellow-Maize-Zea-Mays.pdf
- Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.01.003>
- Bashir, N., Sood, M., & Bandral, J. D. (2020). Impact of different drying methods on proximate and mineral composition of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *Indian Journal of Traditional Knowledge (IJTK)*, 19(3), 656-661. <http://op.niscpr.res.in/index.php/IJTK/article/view/41440>
- Batu, W., Getahun, D., & Abreha, G. (2018). Physicochemical and Functional Properties of Cactus '*Opuntia ficus-indica* L.'Muller Flour: The Case of Cactus Fruit and Vegetable Flour. *Journal of Science and Sustainable Development*, 6(1), 51-70. <https://doi.org/10.20372/au.jssd.6.1.2018.082>
- Benzie, I. F., & Devaki, M. (2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity: Recent Trends and Applications*, 77-106. <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bodner, J. M., & Sieg, J. (2009). Fiber. In *Ingredients in meat products* (pp. 83-109). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4_4
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Çekiç, S. D., Başkan, K. S., Tütem, E., & Apak, R. (2009). Modified cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assay for measuring the antioxidant capacities of thiol-containing proteins in admixture with polyphenols. *Talanta*, 79(2), 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.03.061>
- Cenobio-Galindo, A. D. J., Díaz-Monroy, G., Medina-Pérez, G., Franco-Fernández, M. J., Ludeña-Urquiza, F. E., Vieyra-Alberto, R., & Campos-Montiel, R. G. (2019). Multiple emulsions with extracts of cactus pear added in a yogurt: Antioxidant activity, in vitro simulated digestion and shelf life. *Foods*, 8(10), 429. <https://doi.org/10.3390/foods8100429>
- Coimbra, P.P.S., Silva-E-Silva, A.C.A.G.D., Antonio, A.D.S., Pereira, H.M.G., Veiga-Junior, V.F.D., Felzenszwalb, I., Araujo-Lima, C.F., & Teodoro, A.J. (2023). Antioxidant Capacity, Antitumor Activity and Metabolomic Profile of a Beetroot Peel Flour. *Metabolites*, 13(2), 277. <https://doi.org/10.3390/metabo13020277>
- Cota-Sánchez, J. H. (2016). Nutritional composition of the prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)

- fruit. In Nutritional composition of fruit cultivars (pp. 691-712). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>
- Dávila-Hernández, G., Sánchez-Pardo, M. E., Gutiérrez-López, G. F., Necoechea-Mondragon, H., & Ortiz-Moreno, A. (2019). Effect of microwave pretreatment on bioactive compounds extraction from Xoconostle (*Opuntia joconostle*) by-products, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(1), 191-204. <https://pdfs.semanticscholar.org/2e04/a7ef696d042255bf6d651bade3f911659df5.pdf>
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 323-336. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.010>
- De Andrade Vieira, É., Alcântara, M. A., Dos Santos, N. A., Gondim, A. D., Iacomini, M., Mellinger, C., & de Magalhães Cordeiro, A. M. T. (2021). Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: extraction, physicochemical and technological properties. *Food Chemistry*, 346, 128892. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128892>
- Deli, M., Petit, J., Nguimbou, R. M., Beaudelaire Djantou, E., Njintang Yanou, N., & Scher, J. (2019). Effect of sieved fractionation on the physical, flow and hydration properties of *Boscia senegalensis* Lam., *Dichostachys glomerata* Forssk. and *Hibiscus sabdariffa* L. powders. *Food science and biotechnology*, 28(5), 1375-1389. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00597-6>
- Dibacto, R.E.K., Tchuenté, B.R.T., Nguedjo, M.W., Tientcheu, Y.M.T., Nyobe, E.C., Edoun, F.L.E., Kamini, M.F.G., Dibanda, R.F., & Medoua, G.N. (2021). Total Polyphenol and Flavonoid Content and Antioxidant Capacity of Some Varieties of *Persea americana* Peels Consumed in Cameroon. *ScientificWorldJournal*, 2021, 8882594. <https://doi.org/10.1155/2021/8882594>
- Dick, M., Limberger, C., Thys, R. C. S., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314, 126178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126178>
- Du Toit, A., De Wit, M., Fouché, H. J., Taljaard, M., Venter, S. L., & Hugo, A. (2019). Mucilage powder from cactus pears as functional ingredient: influence of cultivar and harvest month on the physicochemical and technological properties. *Journal of food science and technology*, 56(5), 2404-2416. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03706-9>
- Fernández-Luqueño, F., Medina-Pérez, G., Pérez-Soto, E., Espino-Manzano, S., Peralta-Adauto, L., Pérez-Ríos, S., & Campos-Montiel, R. (2021). Bioactive Compounds of *Opuntia* spp. Acid Fruits: Micro and Nano-Emulsified Extracts and Applications in Nutraceutical Foods. *Molecules*, 26(21), 6429. <https://doi.org/10.3390/molecules26216429>
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of food composition and analysis*, 24(7), 1043-1048. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>
- Griffin, S. P., & Bhagooli, R. (2004). Measuring antioxidant potential in corals using the FRAP assay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 302(2), 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.10.008>
- Guimarães, R. M., Ida, E. I., Falcao, H. G., de Rezende, T. A. M., de Santana Silva, J., Alves, C. C. F., Pereira, M. A., & Egea, M. B. (2020). Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. *LWT*, 123, 109062. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109062>

- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01679.x>
- Hernández-Fuentes, A. D., Trapala-Islas, A., Gallegos-Vásquez, C., Campos-Montiel, R. G., Pinedo-Espinoza, J. M., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2015). Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from Mexico. *Fruits*, 70(2), 109-116. <https://doi.org/10.1051/fruits/2015002>
- Kalegowda, P., Chauhan, A. S., & Urs, S. M. N. (2017). *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1057-1064. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.070>
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 91(3), 403-411. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.002>
- Keyata, E. O., Tola, Y. B., Bultosa, G., & Forsido, S. F. (2020). Proximate, mineral, and anti-nutrient compositions of underutilized plants of Ethiopia: Figl (*Raphanus sativus* L.), Girgir (*Eruca sativa* L) and Karkade (*Hibiscus sabdariffa*): Implications for in-vitro mineral bioavailability. *Food Research International*, 137, 109724. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109724>
- Lopera-Cardona, S., Gallardo, C., Umaña-Gallego, J., & Gil, L. M. (2016). Comparative study of the physicochemical, compositional and functional properties of eight flours obtained from different plant materials found in Colombia. *Food Science and Technology International*, 22(8), 699-707. <https://doi.org/10.1177/1082013216642611>
- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Campas-Baypoli, O. N., & Bueno-Solano, C. (2011). Functional properties and proximate composition of cactus pear cladodes flours. *Food Science and Technology*, 31, 654-659. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300016>
- Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant Activity and Healthy Benefits of Natural Pigments in Fruits: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4945. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Maray, A. R., Mostafa, M. K., & El-Fakhrany, A. E. D. M. (2018). Effect of pretreatments and drying methods on physico-chemical, sensory characteristics and nutritional value of oyster mushroom. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13352. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13352>
- Medina, E. D., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food chemistry*, 103(1), 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.064>
- Medina-Pérez, G., Estefes-Duarte, J. A., Afanador-Barajas, L. N., Fernández-Luqueño, F., Zepeda-Velázquez, A. P., Franco-Fernández, M. J., & Campos-Montiel, R. G. (2020). Encapsulation preserves antioxidant and antidiabetic activities of cactus acid fruit bioactive compounds under simulated digestion conditions. *Molecules*, 25(23), 5736. <https://doi.org/10.3390/molecules25235736>
- Medina-Pérez, G., Zaldívar-Ortega, A. K., Cenobio-Galindo, A. D. J., Afanador-Barajas, L. N., Vieyra-Alberto, R., Estefes-Duarte, J. A., & Campos-Montiel, R. G. (2019). Antidiabetic

- activity of cactus acid fruit extracts: simulated intestinal conditions of the inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase. *Applied Sciences*, 9(19), 4066. <https://doi.org/10.3390/app9194066>
- Merenkova, S. P., Zinina, O. V., Stuart, M., Okuskhanova, E. K., & Androsova, N. V. (2020). Effects of dietary fiber on human health: A review. *Человек. Спорт. Медицина*, 20(1), 106-113. <https://cyberleninka.ru/article/n/effects-of-dietary-fiber-on-human-health-a-review>
- Monteiro, G. C., Minatel, I. O., Junior, A. P., Gómez-Gómez, H. A., de Camargo, J. P. C., Diamante, M. S., ... & Lima, G. P. P. (2021). Bioactive compounds and antioxidant capacity of grape pomace flours. *LWT*, 135, 110053. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110053>
- Morales, P., Ramírez-Moreno, E., de Cortes Sanchez-Mata, M., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* FAC Weber ex Diquet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46(1), 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.031>
- Morales, P., Barros, L., Ramírez-Moreno, E., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2014). Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 65, 437-444. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.067>
- Morales, P.; Barros, L.; Ramírez-Moreno, E.; Santos-Buelga, C.; Ferreira, I.C. (2015) Xoconostle fruit (*Opuntia matudae* Scheinvar cv.Rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food Chem.* 185, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.012>
- Morales-Tapia, A. A., González-Jiménez, F. E., Vivar-Vera, G., Del Ángel-Zumaya, J. A., Reyes-Reyes, M., Alamilla-Beltrán, L., ... & Jiménez-Guzmán, J. (2022). Use of freeze-drying and convection as drying methods of the xoconostle by-product and the effect on its antioxidant properties. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 21(2), Alim2692-Alim2692. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2692>
- Programa Stargraphics Centurion XVI 16.1.03 (32 bits) (2009). <https://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>
- Quintero-García, M., Gutiérrez-Cortez, E., Bah, M., Rojas-Molina, A., Cornejo-Villegas, M. D. L. A., Del Real, A., & Rojas-Molina, I. (2021). Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated *Opuntia ficus indica* cladodes. *Foods*, 10(9), 2137. <https://doi.org/10.3390/foods10092137>
- Sáenz Hernández, C. L., Berger, H., Rodríguez-Félix, A., Galletti, L., Corrales García, J., Sepúlveda, E., ... & Rosell, C. (2013). *Agro-industrial utilization of cactus pear*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186304>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018, June 23). Boletín de exportaciones. México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334107/Junio_tuna_y_xoconostle_2018.pdf
- Sutton, B. G., Ting, I. P., & Sutton, R. (1981). Carbohydrate metabolism of cactus in a desert environment. *Plant Physiology*, 68(3), 784-787. <https://doi.org/10.1104/pp.68.3.784>
- Talens Oliag, P. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura. <https://riunet.upv.es/handle/10251/83513>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of food composition and analysis*, 19(6-7), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.04.001>

doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003

- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J.D., García-Cabrera, K.E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9-33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Ventura-Aguilar, R. I., Bosquez-Molina, E., Bautista-Baños, S., & Rivera-Cabrera, F. (2017). Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): Anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5065-5073. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8493>
- Yang, X., Dai, J., Zhong, Y., Wei, X., Wu, M., Zhang, Y., ... & Xiao, H. (2021). Characterization of insoluble dietary fiber from three food sources and their potential hypoglycemic and hypolipidemic effects. *Food & Function*, 12(14), 6576-6587. <https://doi.org/10.1039/D1FO00521A>
- Yang, C. S., Ho, C. T., Zhang, J., Wan, X., Zhang, K., & Lim, J. (2018). Antioxidants: Differing meanings in food science and health science. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(12), 3063-3068. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05830>
- Zarate-Diego, L. M., Méndez-Zamora, G., Alba, R. D., Abigail, J., & Flores-Girón, E. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biotechnia*, 23(2), 89-95. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1377>
- Zepeda, L. C., Méndez, G. C., de la Caza, L. G., Vela, J. D., & Chabela, M. D. L. P. (2009). Utilización de subproductos agroindustriales como fuente de fibra para productos cárnicos. *Nacameh*, 3(2), 71-82. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3649017.pdf>
- Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116819. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116819>