



Hidrocoloides extraídos de *Opuntia robusta* y su actividad antioxidante

Ortega Aguilar Rosa Elena ^{1,2*}, Mota Navarrete Jaquelinne², Muro Urista Claudia Rosario²,
Díaz Nava María del Carmen², Illescas Martínez Francisco Javier², Alvarado Pérez Yolanda¹.

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Toluca, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Av. Tecnológico s/n, Metepec, Estado de México. C.P. 52194. México.

²Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Toluca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico s/n, Metepec, Estado de México. C.P. 52194. México.

* Autor para correspondencia: rortegaa@toluca.tecnm.mx

Recibido:

22/agosto/2019

Aceptado:

11/noviembre/2019

Palabras clave:

Hidrocoloides,
antioxidantes, pectinas

Keywords:

Hydrocolloids, antioxidant,
pectins.

RESUMEN

El mercado de los hidrocoloides experimenta una creciente demanda de productos competitivos con características especiales para su aplicación en diferentes áreas, como el sector alimentario y farmacéutico, la utilidad e importancia de los hidrocoloides se fundamentan en sus propiedades funcionales como la estabilización, el espesamiento y la gelificación, además de las nutriceas. En este trabajo se propone el uso de pectina proveniente de una fuente no explotada, la *Opuntia robusta*, que es una fruta de nopal silvestre, conocida comúnmente como tuna taponá; considerado como un residuo agroalimentario, por su tamaño, contenido de semillas y espinas, no es competitiva con la de tipo comercial. Se evaluaron algunas propiedades fisicoquímicas y su actividad antioxidante in vitro y fenoles totales. Los resultados sugieren que la pectina obtenida de *Opuntia robusta* puede emplearse como aditivo para mejorar las propiedades de viscosidad y textura, además con actividad antioxidante.

ABSTRACT

The hydrocolloid market experiences a growing demand for competitive products with special characteristics for application in different areas, such as the food and pharmaceutical sector, the usefulness and importance of hydrocolloids are based on their functional properties such as stabilization, thickening and gelation, in addition to the nutriceas. The use of pectin from an untapped source, *Opuntia robusta*, is proposed, as it is a wild nopal fruit, commonly known as tuna taponá; considered as an agri-food waste, since due to its size, content of seeds and thorns, it is not competitive with that of a commercial type, some physicochemical properties and antioxidant activity in vitro and total phenols were evaluated. The results suggest that the pectin obtained from *Opuntia robusta* can be used as an additive to improve viscosity and texture properties, in addition to antioxidant activity.

Introducción

La razón más común del uso de hidrocoloides en alimentos es su habilidad para modificar la reología del sistema alimentario que incluye dos propiedades básicas: el comportamiento al flujo (viscosidad) y las propiedades mecánicas (textura). Los hidrocoloides presentan una amplia variedad de propiedades funcionales en los alimentos entre las cuales se incluyen espesamiento, agentes gelificantes, estabilización de emulsiones, agentes espumantes, recubrimientos comestibles, control de la formación de cristales de hielo y azúcar, siendo el espesamiento y gelificación la que más extensamente se han aplicado (Valdez, 2012). Además de los atributos funcionales, los hidrocoloides también han recibido una aceptación entusiasta, debido en gran medida a sus características de fibra dietética (Brownlee, 2011; Chawla y Patil, 2010).

Entre los hidrocoloides comerciales se encuentran almidón, pectina, inulina, gelatina, agar, goma xantana, goma guar, carragenina, alginato, goma de algarrobo, goma arábica, goma gelana, metilcelulosa (MC), carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) y la hidroxietil metilcelulosa (HMC), entre otras, de los cuales el almidón, gelatina, pectina y carragenina representan el mayor porcentaje del mercado de hidrocoloides (Nussinovitch y Hirashima, 2014).

La selección de un hidrocoloide en la preparación de un alimento en particular depende de su funcionalidad técnica, su precio y seguridad; sin embargo, los consumidores con mayor conciencia de la salud, demandan cada vez más, productos alimenticios más naturales y saludables con propiedades biológicas específicas, lo que ha constituido una de las fuerzas impulsoras que ha favorecido el desarrollo del mercado de los hidrocoloides (Li y Nie, 2016).

Hoy en día se conoce que una amplia variedad de hidrocoloides poseen efectos nutritivos y fisiológicos entre los que se encuentran β -glucana, pectina, inulina, goma arábica, psyllium, almidones resistentes, levana, goma guar, quitosana, carragenina, entre otros. Los beneficios para la salud están asociados al control del apetito, función intestinal, reducción del riesgo de osteoporosis, prevención de enfermedades coronarias, diabetes mellitus tipo 2 y cáncer de colon (Pentikainen et al., 2014; Bosscher et al., 2006).

Particularmente las propiedades biológicas de algunas pectinas se han estudiado como defensa contra las especies reactivas de oxígeno, en funciones cardiovasculares, antiglicación (Chaouch et al., 2016),

anti úlceras y como cicatrizante (Galati et al., 2003), fisiología y funciones gastrointestinales (Li y Nie, 2016).

Las pectinas son hidrocoloides que constituyen un grupo de polisacáridos estructuralmente heterogéneos distribuidos en las paredes celulares de vegetales superiores, asociados a menudo con otros polisacáridos como la celulosa y hemicelulosa. Las propiedades fisicoquímicas como contenido de ácido galacturónico, grado de metilación, composición de azúcares neutros y peso molecular dependen de la fuente de que son extraídas y establecen las base para su aplicación (Dranca y Oroain, 2018).

Las pectinas forman parte de la dieta humana, los microorganismos presentes en el intestino grueso, las degradan convirtiéndolas en fibra soluble, promoviendo el desarrollo de microbiota intestinal benéfica, además ayudan en el metabolismo de grasas y aceites, así como, en la regulación glucémica (Vanitha y Khan, 2019).

Las pectinas han sido estudiadas ampliamente y utilizadas por su funcionalidad en alimentos como emulsificantes, ligantes de agua, estabilizadores, agentes espesantes y gelificantes, comercialmente se extraen de manzana y cítricos (Joel et al., 2018), sin embargo, también existen otras fuentes de frutas y sus subproductos de las cuales se puede extraer, entre ellas se encuentra la cabeza de girasol, cascara de mango, cascarilla de soya, cascara de maracuyá, pulpa de betabel, cáscara de *Akebia trifoliata*, conocida comúnmente como planta del chocolate por el aroma de sus frutos (planta trepadora original de Asia del este) toronja, cáscara de plátano, cáscara de cacao, guayaba, cascarilla de garbanzo y muchas más (Vanitha y Khan, 2019; Sundarraj y Ranganathan, 2017). Pero extraer altas cantidades de pectina no es suficiente para calificar la fruta como una fuente comercial de obtención ya que la variación estructural y modificación de las cadenas laterales de azúcares de las pectinas provocan diversas propiedades de gelificación y su uso se enfoca a cubrir necesidades específicas (Vanitha y Khan, 2019; Joel et al., 2018).

Una de las fuentes de obtención es la corteza del fruto del nopal (tuna), conocida como *Opuntia s.l.* La presencia de pectinas en tunas provenientes de varias especies de *Opuntia* en México se ha documentado desde la sexta década del siglo pasado, al comparar nueve especies y variedades de *Opuntia*, llamando la atención el contenido de *O. robusta* (conocida como "nopal camueso") comparable al reportado para las cáscaras de cítricos (20 % a 30% en base húmeda) (Goycoolea y Cárdenas, 2003). A su vez, Rodríguez et al., (2014), encontraron en seis

especies silvestres de *Opuntia* que el mucílago obtenido puede ser explotado para producir hidrocoloides de importancia para la industria alimenticia, ya que debido a su viscosidad son capaces de retener grandes cantidades de agua, y poseen buenas propiedades emulsificantes (Sepúlveda et al., 2007; Medina-Torres et al., 2003; Sáenz) et al., 2004). También los mucilagos han sido empleados para la obtención de recubrimientos alimenticios, encapsulantes para *Saccharomyces boulardii* y ácido gálico (Sepúlveda et al., 2007).

Además de sus propiedades hidrocoloides, la pectina proveniente de las tunas ha llamado la atención, debido a que estos frutos están caracterizadas por fitoquímicos como las betalainas, indicaxanthinas y betaninas, los cuales son colorantes alimentarios inocuos que recientemente se investigan como compuestos antioxidantes, ya que las propiedades redox de estas moléculas pueden estabilizar efectivamente los radicales libres generados tanto en sistemas químicos como biológicos; dichos fitoquímicos han mostrado que inhiben la oxidación de la membrana microsomal y la oxidación de la lipoproteína de baja densidad (LDL) in vitro (Kamble et al., 2017). Aunque a la fecha existen algunas investigaciones sobre la pectina proveniente de *Opuntia* y sus propiedades hidrocoloides y biológicas, poco se ha documentado su estudio como un hidrocoloide con actividad antioxidante.

Por lo que en este trabajo, se presenta un estudio de los hidrocoloides provenientes de la tuna de *Opuntia robusta* (fruta silvestre considerada como residuo agrícola), resaltando los resultados de su propiedad antioxidante.

Metodología

Hidrocoloides utilizados

Los hidrocoloides utilizados en este estudio (pectina) fueron extraídos de tunas en estado inmaduro, recolectadas de una planta de nopal de *Opuntia robusta* en una parcela del Estado de México.

Caracterización de la pectina

A la pectina obtenida se determinaron azúcares totales, cenizas (datos no presentados en este trabajo), espectro FTIR y porcentaje de ácido galacturónico, además de actividad antioxidante y fenoles totales.

Azúcares Totales

Se utilizó el Método Fenol-Sulfúrico, se mezclaron 2 mL de solución patrón o muestra con 2 mL de fenol al 5% se agregaron 5 mL de H₂SO₄ y dejaron reposar por 15 min, determinando su absorbancia en un espectrofotómetro

UV-Vis Lambda 35 Perkin Elmer a una longitud de onda de 492 nm.

Porcentaje de ácido galacturónico (AGU)

El contenido de ácido galacturónico en la pectina, se determinó por un método espectrofotométrico con el reactivo m-hidroxidifenilo que desarrolla un compuesto coloreado con máximo de absorbancia a 476 nm, se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis Lambda Perkin Elmer, esta determinación se aplicó en fracciones de diferente solubilidad (en agua, solución de oxalato y en medio ácido). Para la determinación en la fracción de pectinas solubles en agua, se adicionarán 20 mL de agua destilada a 80 mg de muestra, agitando por un minuto, centrifugando posteriormente a 4,000 rpm durante 10 minutos, se recolectó el sobrenadante, llevándolo a un volumen de 100 mL en un matraz aforado. Para medir las pectinas solubles en oxalato, se utilizó el residuo anterior, en solución acuosa que contiene 0.25% de oxalato de amonio y 0.25% de ácido oxálico. Se mantuvo a reflujo durante una hora. Se enfrió y centrifugó, empleando el sobrenadante. Para la solubilidad en ácido, se añadieron (con sumo cuidado) 2 mL de ácido sulfúrico concentrado a 5 mg de muestra seca con agitación suave, agua destilada, aforando posteriormente a 25 mL. Se dejó reposar 24 h y se filtró (Yu et al., 1996).

Espectroscopia FTIR

Se utilizó el espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier FT-IR Varian 640-IR equipado con un ATR. Las regiones espectrales utilizadas fueron 4000 a 500 cm⁻¹, con 20 exploraciones y una resolución de 4 cm⁻¹. Se usó el software "Resolutions Pro". Los datos fueron procesados en Origin Pro 8.

Actividad antioxidante

Se determinó mediante el método ABTS (2,2 azinobis-(3-etilbenzotiazolin 6-ácido sulfónico), con esta técnica se evaluó la relación que presenta este parámetro con la concentración y se comparó con la observada en otros hidrocoloides.

La solución de ABTS se preparó el día anterior a su uso, se almacenó a temperatura ambiente al abrigo de la luz, se preparó una curva de calibración empleando ácido ascórbico como referencia (0-50 mg/100 mL). Se prepararon las mezclas de las muestras y la solución de ABTS, se incubaron a 37 °C durante 5 minutos, transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia 750 nm.

Capacidad de atrapar radicales libres DPPH

La capacidad de atrapar los radicales libres se determinó mediante el método del DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo) (Sumaya-Martínez et al., 2011). Se preparó una solución de DPPH a una concentración de 100 µM en etanol al 80% v/v, se agitó perfectamente, dejando después en reposo a temperatura ambiente durante 1 h, se prepararon mezclas para las soluciones problema y patrones de concentración conocida, empleando una relación 1:2 v/v, una vez homogeneizadas las mezclas se mantuvieron 30 minutos a temperatura ambiente protegidas de la luz. Después de transcurrido el tiempo de incubación se realizaron lecturas de absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro Lambda Perkin-Elmer. Se utilizó ácido ascórbico como estándar. El porcentaje de inhibición del DPPH se calculó empleando la ecuación 1, donde $A_{\text{estándar}}$ = absorbancia para el estándar, A_{muestra} = absorbancia para la muestra

$$\text{Actividad antioxidante DPPH \%} = \left(1 - \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{estándar}}}\right) \times 100 \quad (1)$$

Contenido de fenoles

La valoración correspondió al contenido de fenoles totales. Se mezclaron 0.6 mL de solución con 0.3 mL de una dilución 1:10 del reactivo de Folin-Ciocalteu y 2.4 mL de solución de carbonato de sodio (7.5%), las soluciones se leyeron empleando un espectrofotómetro UV-Vis Lambda Perkin-Elmer a 765 nm, después de incubar a temperatura ambiente durante 30 minutos. Se preparó una curva de calibración utilizando ácido gálico como referencia, los resultados se expresan como miligramos de ácido gálico equivalente (Thaipong et al., 2006).

Resultados y discusión

Las características fisicoquímicas de las pectinas extraídas dependen principalmente de la fuente y las condiciones seleccionadas para la extracción y purificación, la tabla 1 muestra los resultados de la cantidad de ácido galacturónico, registrados de acuerdo a la solubilidad de la pectina soluble en agua (PSA) y pectina soluble en oxalato (PSO); también se presentan las pectinas totales (PT) y las pectinas no solubles (PNS), según lo establecido en el método.

Tabla 1. Cantidad de ácido galacturónico en la pectina extraída de *Opuntia robusta*.

PT (g/g)	PSA (g/g)	PSO (g/g)	PNS (g/g)
0.489	0.319	0.133	0.035

Se considera un contenido alto de Ácido Galacturónico, dado a través de las PT (aproximadamente 50%), revelando su grado de pureza, los valores encontrados por Abraján-Villaseñor (2008), son semejantes (PT= 0.458, PSA= 0.377, PSO=0.067 y PNS=0.066 todos en g/g), aun cuando la fuente de pectina es diferente. Sin embargo, Los valores reportados para el ácido galacturónico en los frutos de *Opuntia* varían entre 64.3 % y 74 % (Kalegowda et al., 2017; Lira-Ortiz et al., 2014). Esta variabilidad se explica ya que se sabe que la composición y propiedades funcionales de las pectinas obtenidas son fuertemente afectadas por la calidad del material y las condiciones de extracción (pH, tipo de ácido, temperatura-tiempo, tipo y velocidad de mezcla, tamaño de partícula y relación sólido-disolvente entre otros). En condiciones muy drásticas de extracción el rendimiento y el contenido de ácido galacturónico han sido altos (ácido galacturónico mayor a 65%) debido a la hidrólisis de las cadenas de azúcares neutros (Morales-Martínez et al., 2018).

Espectroscopia FTIR

El espectro infrarrojo y transformada de Fourier mostró picos típicos para algunos grupos específicos como los que corresponden a las oscilaciones de valencia de los grupos OH en la molécula de pectina, las oscilaciones de diferentes grupos con enlaces C–H, las oscilaciones del grupo C=O y los picos característicos de las vibraciones de los ésteres y carboxilos C=O. Se ha demostrado que la intensidad relativa entre estos dos picos se relaciona con el grado de metilación. La región entre 1,200 y 800 cm⁻¹ se considera como la huella digital y la intensidad de las bandas individuales son características de cada polisacárido (Torkova et al., 2018; Rodríguez-González et al., 2014; Kura'kova' 2000; Cárdenas et al., 1998). Las bandas correspondientes a la huella digital de las pectinas se presentaron en este caso y de acuerdo a la intensidad obtenida predominan los carboxilo sobre los grupos éster correspondiendo entonces a una pectina de bajo grado de metoxilo, el que los grupos carboxilo se encuentren libres le confieren a la pectina obtenida alta capacidad de absorber agua, además de que se pueden unir a iones calcio y otras moléculas del mucílago para formar redes estructurales viscosas en presencia de agua, lo que es muy útil en la industria de alimentos al emplear estos hidrocoloides como aditivos para mejorar las propiedades de viscosidad y textura de los productos.

Actividad antioxidante

Se probó en principio la dependencia de la actividad antioxidante con la concentración, comparando con la

que presentan otros hidrocoloides, mediante el método ABTS.

Los resultados obtenidos se presentan en la figura 1, donde se observa para todos los casos incremento de la actividad antioxidante al aumentar la concentración hasta un límite donde se estabiliza, en cuanto a sus valores, los presentados por la pectina son ligeramente inferiores a las proteínas de haba y soya, además del agar para las concentraciones 5 y 20 mg/L, siendo superior a la gretetina y el alginato. Salehi y col., (2018) describieron un comportamiento semejante donde la actividad antioxidante aumenta con la concentración para las gomas extraídas de tuna de *Opuntia ficus indica*, y con lo reportado por Chaouch (2016) para pectina obtenida de cladodios y tunas de *O. robusta*, aun cuando, la determinación se realizó por el método DPPH y en concentraciones distintas.

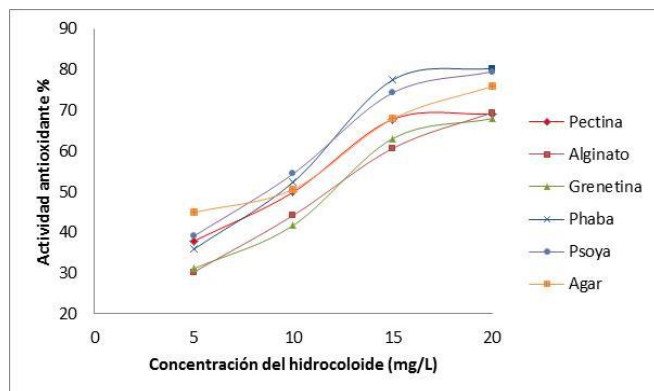


Figura 1. Variación de la actividad antioxidante con la concentración para soluciones de pectina, alginato, grenetina, agar, proteínas de haba y soya.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para la capacidad antioxidante de la pectina, mediante ABTS, DPPH y fenoles totales, otros autores han reportado ya la actividad antioxidante asociada a hidrocoloides como la pectina obtenida de diferentes fuentes vegetales. El valor alcanzado para fenoles totales (9.89 ± 0.42 mg AG/g) es considerablemente más elevado a los reportados para harina de cladodios de nueve variedades de *Opuntia spp* que fluctúan entre 318.1 ± 34.2 $\mu\text{g/g}$ y 905.08 ± 64.51 $\mu\text{g/g}$ (Santos-Zea et al., 2011) pero están en el orden de magnitud para los correspondientes a la cáscara de tuna de *Opuntia* en estado inmaduro de los cultivares pelón liso 0.44mg/g y Esmeralda 3.76 mg/g (Cardador-Martínez, 2011), 4.140 mg/g para muestras de cladodios de *O. ficus indica var Saboten* (Lee et al., 2002) y de los cladodios de *O. ficus-indica var. Milpa Alta* cuyo análisis dio 3.81mg/g (Corral-Aguayo et al., 2008), lo que se explica al considerar que los polifenoles en los vegetales

tienen una composición altamente variable y su contenido y perfil de variación puede ocurrir aun dentro de la misma especie. Las causas que contribuyen a esta variabilidad en el género *Opuntia* incluyen factores genéticos y ambientales, condiciones de estrés y edad (Stintzing, 2005).

Tabla 2. Capacidad antioxidante de hidrocoloides mediante ABTS, DPPH y fenoles totales

Hidrocoloide	ABTS %	DPPH %	Fenoles totales (mg ácido gálico)
Pectina	43.06 ± 2.52	85.11 ± 2.52	9.89 ± 0.42
Alginato de sodio	40.64 ± 0.55	46.61 ± 0.06	6.77 ± 0.33
Proteína de haba	85.34 ± 0.86	94.48 ± 0.54	19.13 ± 0.06
Proteína de suero	99.43 ± 0.66	64.77 ± 0.19	92.71 ± 0.50

Al comparar la capacidad antioxidante se observa que los valores más altos corresponden a las proteínas, seguidos por la pectina, siendo el comportamiento para el contenido de fenol semejante, no obstante, la proporción entre el contenido fenólico y actividad antioxidante no guarda una proporción directa ya que al comparar como ejemplo la proteína de suero con la pectina, la capacidad antioxidante con ABTS, la proteína es mayor por un factor de 2.31, siendo el correspondiente a fenoles totales de 9.37, mientras que con la determinación mediante DPPH la relación se invierte siendo el valor de actividad antioxidante para pectina 1.34 veces el correspondiente a la proteína.

Se ha descrito que la actividad antioxidante en los hidrocoloides depende no sólo del contenido, sino también de la composición de los compuestos fenólicos y puede afectar la presencia de otros componentes.

Entre las pectinas pueden encontrarse componentes distintos de los carbohidratos y/o diferencias en las propiedades estructurales de los polisacáridos no existiendo correlación significativa entre la capacidad antioxidante *in vitro* y la viscosidad dinámica o el grado de esterificación (Kořtálová et al., 2010; Torkova et al., 2018). Se ha demostrado que los fenoles incorporados en las pectinas son esenciales para los efectos protectores de las sustancias pécticas contra los radicales libres, sin embargo, un contenido elevado de compuestos fenólicos no necesariamente resulta en la mayor capacidad antioxidante para la pectina (Torkova et al., 2018).

Conclusiones

Al emplear la cascara de tuna como fuente de hidrocoloides se obtuvo un hidrocoloide con naturaleza péctica con un contenido de ácido galacturónico

alrededor del 50%, considerado alto, de acuerdo a las características mostradas en el espectro FTIR con un grado de metoxilo bajo y actividad antioxidante importante, estos resultados sugieren que la pectina obtenida de las cáscaras de tuna *Opuntia robusta* pueden ser adecuadas para su aplicación como aditivo alimenticio donde el mejorar las propiedades de viscosidad y textura de los productos, además de una capacidad antioxidante sean importantes, siendo necesario evaluar para cada aplicación la proporción adecuada para obtener el efecto óptimo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido por el TECNM a través del proyecto 6354.17-P y el Periodo Sabático de la M. en C. Rosa Elena Ortega Aguilar.

Referencias

Abraján-Villaseñor M.A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos.

Bosscher, D., Van Loo, J., Franck, A. (2006). Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve bone mineralization. *International Dairy Journal*, 16:1091-1097.

Brownlee I. A. (2011). The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25:238-250.

Cardador-Martínez, A., Jiménez-Martínez, C., Sandoval G. (2011). Revalorization of cactus pear (*Opuntia spp.*) wastes as a source of antioxidants. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, 31:782-788.

Cárdenas, A., Higuera-Cuiapara, I., Goycoolea, F. M. (1998). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.*, 2:152-159.

Chaouch, M.A., Hafsa, J., Rihouey, C., Le Cerf, D. Majdoub, H. (2016 ó 2015) Effect of extraction conditions on the antioxidant and antiglycation capacity of carbohydrates from *Opuntia robusta cladodes*. *International Journal of Food Science and Technology*, 51:929-937.

Chaouch, M.A., Hafsa, J., Rihouey, C., Le Cerf, D., Majdoub, H. (2015). Depolymerization of polysaccharides from *Opuntia ficus indica*: antioxidant and antiglycated activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79:779-786.

Chawla, R., Patil, G. R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9:178-196.

Corral-Aguayo, R. D., Carrillo-López, A., Yahia, E. M., González-Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric. Food Chem.*, 56:10498-10504.

Dranca F., Oroian M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113: 327-350

Galati, E.M., Mondello, M.R., Monforte, M.T., Galluzzo, M., Miceli, N., Tripodo, M.M. (2003). Effect of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. cladodes in the wound-healing process. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5:1-16.

Goycoolea, M.F., Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia spp*: a short review. *J. Pacd.*, 5:17-29.

Joel J. M., Barminas J. T., Riki E. Y., Yelwa J. M., Edeh F. (2018). Extraction and characterization of hydrocolloid pectin from Goron Tula (*Azanza garckeana*) fruit. *World Scientific News*, 101:157-171.

Kalegowda, P., Chauhan, A. S., Nanjaraj, U. S. M. (2017). *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw cladode mucilage: Physico-chemical, rheological and functional behavior. *Carbohydrate Polymers*, 157:1057-1064.

Kamble S. M., Debaje P.P., Ranveer R. C., Sahoo A. K. (2017). Nutritional Importance of Cactus: A Review. *Trends in Biosciences*, 10(37): 7668-7677

Kura'kova' M, Capek P, Sasinkova' V, Wellner N, Ebringerova'. (2000). A FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydr Polym.*, 43:195-203.

Kořtálová Z., Hromádková Z., Ebringerová A. (2010). Isolation and characterization of pectic polysaccharides from the seeded fruit of oil pumpkin (*Cucurbita pepo L. var. Styriaca*). *Industrial Crops and Products*, 31:370-377.

Lee, J.-C. Kim, H.-R. Jang, Y.S. (2002). Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus-indica var. Saboten*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:6490-6496.

- Li J. M., Nie S. P., (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 53: 46-61.
- Lira-Ortiz, A.L., Reséndiz-Vega, F., Ríos-Leal, E., Contreras-Esquivel, J.C., Chavarría-Hernández, N. (2014). Pectins from waste of prickly pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna'): Chemical and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 37: 93-99.
- Medina-Torres, L., Brito-de-la-Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Alonso, S. (2003). Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*) and carrageenans. *Carbohydr. Polym.*, 52:143-150.
- Morales-Martínez, Y., López-Cuellar, M.R., Chavarría-Hernández N., Rodríguez-Hernández, A.I. (2018). Rheological behaviour of acetylated pectins from cactus pear fruits (*Opuntia albicarpa* and *O. matudae*). *Food Hydrocolloids*, 85:110-119.
- Nussinovitch, A., Hirashima, M. (2014). Cooking innovations: Using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification. Boca Raton: Taylor & Francis/CRC Press. 276- 294.
- Pentikäinen S, Karhunen L., Flander, L., Katina, K., Meynier, A., Aymard, P. (2014). Enrichment of biscuits and juice with oat β -glucan enhances postprandial satiety. *Appetite*, 75:150-156.
- Rodríguez-González S, Martínez-Flores H.E., Chávez-Moreno C. K., Macías-Rodríguez L.I., Zavala-Mendoza E., Garnica-Romo M. G., Chacón-García L. (2014). Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering*, 37:285-292.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives., *J. Arid Environ.*, 57:275- 290.
- Salehi E, Emam-Djomeh Z, Askari G, Fathi M. (2018). *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 206: 565-572.
- Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J.A. y Serna-Saldivar, S.O. (2011). Comparative analyses of total phenols, antioxidant activity, and flavonol glycoside profile of cladode flours from different varieties of *Opuntia* spp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59:7054-7061.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.* 68, 534-545.
- Stintzing F.C., Reinhold C. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology and uses. *Mol. Nutr. Food Res.*, 49:175- 194.
- Sumaya-Martínez, M.T., Cruz-Jaime, S., Madrigal-Santillán, E., García-Paredes, J.D., Cariño Cortés, R., Cruz-Cansino, N., (2011). Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *International Journal of Molecular Sciences*, 12:6452-6468.
- Sundarraj A.A., Ranganathan T. V. (2017). A Review - Pectin from Agro and Industrial Waste. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10:1777-1801.
- 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: 669-675
- Torkova AA, Lisitskaya KV, Filimonov IS, Glazunova OA, Kachalova GS, Golubev VN. (2018). Physicochemical and functional properties of *Cucurbita maxima* pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation. *PLoS ONE* 13(9): e0204261:1-24
- Valdez B. (2012). Food industrial processes-methods and equipment. Croatia: *In Tech*. Recuperado el 12 de mayo de 2019 de <https://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-food-industry>
- Vanitha T., Khan M. (2019). Role of pectin in Food Processing and Food Packaging. Pectins - Extraction, Purification, Characterization and Applications. Recuperado el 24 de mayo de 2019 de <https://www.intechopen.com/online-first/role-of-pectin-in-food-processing-and-food-packaging>
- Wang J, Hu S, Nie S, Yu Q, Xie M, Wang J. (2016). Reviews on Mechanisms of In Vitro Antioxidant Activity of Polysaccharides. *Oxid Med Cell Longev*. 2016: 1-13.
- Yu L., Reitmeier C.A., Love M.H. 1996. Strawberry texture and pectin content as affected by electron beam irradiation. *Journal of Food Science*. Vol. 61, pp. 844-84.