



EL NOPAL, UNA ESPECIE DE ZONAS ÁRIDAS PRODUCTORA DE HIDROCOLOIDES NATURALES

Sáenz, C.^{1*}; García, N.¹; Abraján, M.²; Fabry, A.M. y Robert, P.³

¹Depto. Agroindustria y Enología - Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile. Chile.

²Centro de Ciencias Agropecuarias - Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.

³Depto. de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química - Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas - Universidad de Chile. Chile.

*csaenz@uchile.cl

INTRODUCCIÓN

Las extensas zonas áridas y semiáridas existentes en el mundo, junto a la escasez de agua en regiones de tradición agrícola, hacen deseable la búsqueda y cultivo de especies de bajo requerimiento hídrico, que a la vez puedan controlar la desertificación a la que están expuestas muchas áreas de nuestro planeta y ser fuente de alimentos o ingredientes alimentarios naturales. Una de estas especies es el nopal o tuna (*Opuntia* spp.), ampliamente distribuido en Latinoamérica, África, Sur de Europa y Sur de Estados Unidos.

El nopal es una planta arbustiva, rastrera o erecta, que se ubica en zonas templadas-semiáridas y tropicales secas, que pueden alcanzar de 3 a 5 m de altura. Su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Sus hojas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo por 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor (Zamora, 2011). El cladodio recibe el



nombre de nopalito, cuando los brotes son tiernos entre 3-6 meses y 10 a 15 cm de largo, y de pencas cuando se encuentran parcialmente lignificados (cladodios de 2-3 años) (Sáenz *et al.*, 2006).

Esta planta, originaria de México -donde existe la mayor diversidad de cactáceas- es bien conocida por su eficiente uso del agua y porque se pueden utilizar distintas partes de la planta como alimento, tanto los frutos como los nopalitos (Sáenz *et al.*, 2006). Sin embargo, a diferencia de los frutos -que se consumen ampliamente en muchos países productores- los nopales ya sea tiernos o maduros son menos conocidos, consumidos y utilizados, a excepción de México, donde forman parte de la dieta desde hace siglos. En ambos casos la agroindustria asociada es muy escasa.

Entre los aspectos menos conocidos del aprovechamiento de la planta se encuentra la utilización del mucilago, un biopolímero presente tanto en los cladodios como en los frutos. Este hidrocoloide presenta un interesante potencial como ingrediente para la industria alimentaria y no alimentaria. Sus propiedades tecnofuncionales, principalmente reológicas (viscosidad), nutricionales (prebiótico) y medicinales (protectores gástricos de extracto de mucilago) (Sáenz *et al.*, 2006; León-Martínez *et al.*, 2010), hacen de este biopolímero un compuesto de especial atractivo para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, entre otras.

Debido a su alta actividad de agua (>0,8) y a su composición, el mucilago fresco es susceptible al ataque microbiano, su extracción y transformación en polvo mediante algunos procesos de secado (atomización o liofilización) extendería su vida útil y se estaría más cerca de comenzar a producirlo a mayor escala (Medina-Torres *et al.*, 2013). Por tanto, uno de los desafíos para su utilización, principalmente en la industria alimentaria, es mejorar los procesos de extracción de mucilago desde los cladodios mediante técnicas más amigables con el ambiente que las utilizadas hasta



Dataloggers Wi-Fi

testo Saveris 2

Supervisa y documenta todos los sitios de refrigeración automáticamente - para la más alta calidad de los alimentos.

- Mantenga sus datos siempre actualizados y disponibles desde cualquier sitio (PC - Tablet - Smartphone) gracias al almacenamiento de datos en línea.
- Alarmas por e-mail en valores límite.
- Temperatura - humedad y temperatura - sensores internos y/o externos.

www.testo.com.ar/saveris2

Yerbal 5266 - 4° piso (C1407EBN) - Buenos Aires - Argentina
Tel.: (011) 4683-5050 - Fax: (011) 4683-2020
info@testo.com.ar - www.testo.com.ar

ahora con fines de investigación (que utilizan grandes cantidades de solventes orgánicos) y que a la vez sean menos complejas y costosas.

El mejor y mayor aprovechamiento de esta especie podría incentivar su cultivo, ayudando al control de la erosión y al desarrollo socio-económico de sectores que tradicionalmente se encuentran deprimidos, ampliando a la vez la oferta de ingredientes naturales para la industria alimentaria.

HIDROCOLOIDES DE NOPAL

Como ya se indicó, este biopolímero se encuentra presente tanto en los cladodios (tiernos o maduros) como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en diversas proporciones. Estudios efectuados a este respecto por Sáenz y Sepúlveda (1993) indican que el rendimiento es bajo en todos los casos: 1,2% producto fresco (p.f.) en los cladodios maduros y 0,5% p.f. en la cáscara de los frutos. Desde el punto de vista de su estructura química, el hidrocoloide es un hetero-polisacárido con un peso molecular entre $2,3 \times 10^4$ - 3×10^6 g mol⁻¹ y presenta una

mezcla de monosacáridos ácidos y neutros, principalmente arabinosa (42-42,6%); galactosa (21-40,1%); ácido galacturónico (8-12,7%); ramnosa (7-13,1%) y xilosa (22-22,2%) (Medina Torres *et al.*, 2000; Sáenz *et al.*, 2004). La proporción de estos monómeros en la molécula depende de diversos factores, como variedad, edad, condiciones ambientales y metodología empleada para la extracción, considerando que sea desde el fruto, cáscara o cladodio, entre otros. En la Tabla 1 se observa la composición química del mucílago de *Opuntia ficus-indica* y en la Tabla 2 algunas propiedades tecno-funcionales de interés para su aplicación en alimentos.

Entre las características que sobresalen de este biopolímero se encuentran aquellas relacionadas con su rol fisiológico en la planta, como la capacidad de absorber agua, que también presenta relación con sus funciones fisiológicas en humanos, al ser parte de la fibra dietética soluble. Sáenz *et al.* (2003) estudiaron algunas propiedades tecno-funcionales del mucílago de nopal mediante extracción acuosa y precipitación con etanol o sometido a liofilización.

TABLA 1 - Composición química del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (g100 g⁻¹ muestra) extraído con etanol y con isopropanol

Solvente	Humedad	Proteína	Cenizas	Nitrógeno	Ca	K
Etanol	4,9±0,6	7,9±1,5	36,2±2,3	1,3±0,2	10,9±0,7	1,6±0,2
Isopropanol	5,5±1,1	6,1±0,7	39,1±2,4	1,0±0,1	12,7±1,6	2,0±0,3

Sepúlveda et al. (2007)

TABLA 2 - pH, viscosidad, solubilidad y propiedades funcionales de dispersiones de hidrocoloides de nopal y gomas comerciales (0,1 %)

Producto	pH	Viscosidad (mPa s, 20°C)	Solubilidad (agua, 20°C)	WRC ¹ (mL fosfatog ⁻¹)	WAC ² (%)	SW ³ (mLg ⁻¹)	FAC ⁴ (g aceiteg ⁻¹)
Mucílago nopal liofilizado	5,3	12,1	Si	1,3	57,5	6,5	1,3
Mucílago nopal (precipitado con etanol)	6,5	14,4	No	3,4	62,5	14,4	1,3
Goma guar	6,1	21,0	Si	19,5	100	10,6	1,0
Goma arábica	4,9	11,4	Si	5,9	0	16,0	1,1
Goma xantano	7,0	42,7	Si	10,9	100	16,4	1,3

Sáenz et al. (2003) ¹Capacidad de retención de agua (WRC); ²Capacidad de absorción de agua (WAC).
³Hinchamiento (SW); ⁴Capacidad de adsorción de grasa (FAC).

FIGURA 1 - Planta de nopal, nopales maduros y mucílago en polvo



El mucílago de nopal liofilizado es soluble en agua a 20°C, lo que concuerda con la forma nativa, soluble, en que se encuentra este polisacárido en la planta. Se observa además que la precipitación con etanol utilizada para obtener este hidocoloide modifica esta propiedad, siendo insoluble en agua, similar a las gomas de algarrobo, lo que es una desventaja en su aplicación. Los hidocoloides de nopal confieren una viscosidad similar a la de la goma arábica, a la misma concentración. Sin embargo, cabe señalar que algunas de las gomas comerciales tienen un poder viscosante superior. La Capacidad de Retención de Agua (WRC) del mucílago de nopal (3,4), es menor a la encontrada por Zambrano *et al.* (1998) para harinas de nopal (4,66). La Capacidad de Absorción de Agua (WAC) fue superior a

57%, sin embargo, este es un parámetro altamente variable en los distintos hidocoloides y existen notables diferencias con los datos de la literatura; en dicha propiedad pueden influir los diversos métodos con que se determina, así como la procedencia de las gomas. Algunos autores indican que está directamente relacionada con el origen de la planta, lo que delimitaría el comportamiento de esta propiedad.

El hinchamiento (SW) de los hidocoloides de nopal fue superior a 14 mLg⁻¹, semejante al de las gomas arábica y xantano (16,0 y 16,4 mLg⁻¹, respectivamente). Por otro lado, los valores de Capacidad de Adsorción de Grasa (FAC) fueron similares a los de las gomas comerciales. Zambrano *et al.* (1998) en harina de nopal, encontraron un FAC de 0,69, valor menor al



www.plantafacil.com.ar

Una herramienta ideada para mejorar los procesos productivos de la industria. Introduce un cambio de paradigma en el relevamiento de las variables involucradas en la manufactura, a partir de una adquisición automatizada y en tiempo real.







- DISPONIBILIDAD
- MANTENIMIENTO
- ALARMAS (SMS-EMAIL)

- OEE
- CALIDAD
- PERFORMANCE

www.qualix.com.ar
 info@qualix.com.ar
 (+5411) 5031.7636
 Av. Córdoba 1432
 C.A.B.A. - Argentina



referido en la Tabla 2, para mucílago de nopal precipitado con etanol. En la Figura 1 se observa una planta de nopal y los cladodios y mucílago en polvo extraído.

Hasta hace poco tiempo, se consideraba que las gomas o hidrocoloides no contribuían al valor nutritivo de los alimentos, por consiguiente sus calorías no aumentaban y no impartían ningún sabor ni aroma a los productos a los que se adicionaban. Actualmente, se sigue considerando que la fibra insoluble de los alimentos contribuye con cero calorías, sin embargo la fibra soluble contribuye al valor calórico de los alimentos en forma variable y su contribución al sabor y aroma de los alimentos depende de la fuente de la que se extrae, así como de los métodos de obtención aplicados. De hecho, la adición de fibra insoluble a los alimentos es un modo de reducir el aporte energético de los mismos (Nelson, 2001).

APLICACIONES EN ALIMENTOS

Algunos ensayos se han enfocado al estudio del mucílago como agente viscosante (Sepúlveda *et al.*, 2004), como estabilizador de espumas (Espinosa, 2002), como emulsionante, gelificante y como recubrimiento comestible para extender la vida útil de algunos frutos frescos como fresas y jícama (del-Valle *et al.*, 2005; Abraján, 2008; Cárdenas *et al.*, 2008; León-Martínez *et al.*, 2010). Últimamente, se le ha dado cierta importancia en algunas investigaciones relacionadas con procesos de encapsulación, sin embargo su función no está del todo clara. En este contexto, se han realizado algunas investigaciones utilizándolo como agente encapsu-

lante de pigmentos naturales, tales como las betalainas, o analizando su función cuando se encuentra naturalmente presente acompañando compuestos bioactivos, como los pigmentos en pulpas de frutos de tuna (Sáenz *et al.*, 2009; Vergara *et al.*, 2014; Medina Torres *et al.*, 2013; Otarola *et al.*, 2015; Abraján *et al.*, 2015). También se atribuye a los mucílagos propiedades como reemplazantes de grasas en diversos alimentos y también como ligantes del sabor [(McCarthy, citado por Cárdenas *et al.*, 1997)]. Por su parte, en Israel, Rwashda [citado por Garti (1999)] ha estudiado la capacidad como agente emulsionante de la goma o mucílago de *Opuntia ficus-indica*. El autor encontró que esta goma: (1) reduce la tensión superficial e interfacial; (2) estabiliza emulsiones del tipo aceite-agua; (3) forma gotas pequeñas de aceite; (4) los sistemas a los que se agrega no floculan. Espinosa (2002) estudió la adición de dispersiones de mucílago de nopal en distintas concentraciones (0,5 y 0,8%) a espumas elaboradas con clara de huevo, demostrando que la adición de mucílago de nopal se manifestaba en una menor sinéresis y un mayor volumen después de 48 horas.

En relación a la existencia de productos comerciales, existen en el mercado mexicano algunos intentos para introducir bebidas refrescantes en base a jugos de nopal ricos en mucílagos. En la Figura 2, se observan productos a base de una combinación de jugos de naranja, apio o piña y nopal, como un ejemplo de lo señalado.

FIGURA 2 - Bebidas a base de nopal (con mucílago) comercializadas en México.



MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

A fin de disponer de este biopolímero y utilizarlo (sobre todo con fines alimentarios), uno de los aspectos más importantes es mejorar los rendimientos de extracción, puesto que además de ser bajos (0,5-1,5%), el producto fresco es susceptible al ataque microbiano debido a su alta actividad de agua ($>0,8$) y a su composición en hidratos de carbono, lo que hace que su vida útil a 25°C no sea superior a los 2-3 días (León-Martínez *et al.*, 2010 y León-Martínez *et al.*, 2011).

Uno de los métodos más utilizados es la combinación de agua fría con etanol y/o isopropanol y/o acetona (Medina-Torres, *et al.*, 2000; Sepúlveda *et al.*, 2007). Según los estudios publicados hasta la fecha, los rendimientos dependen de factores tales como la edad del cladodio, el tipo de molienda (corte/molido), la relación nopal/agua, la temperatura de tratamiento, el tiempo, la relación paletas/solvente y el pH. Algunos autores señalan rendimientos variables entre 0,5%-0,7%, lo que significa una variabilidad debida probablemente a las condiciones de extracción (Medina Torres *et al.*, 2000, Abraján, 2008, Cai *et al.*, 2008; Sepúlveda *et al.*, 2007; Yahia *et al.*, 2009; León-Martínez *et al.*, 2010; Medina Torres *et al.*, 2013; García-Cruz *et al.*, 2013 y Otárola *et al.*, 2015). Sepúlveda *et al.* (2007) sugieren aumentar la cantidad de agua en la proporción de nopal/agua para lograr mayor rendimiento de mucílago. Los mismos autores señalan que el contenido de mucílago en los cladodios podría variar dependiendo de las condiciones climáticas, como la temperatura y precipitaciones, debido a la capacidad de estos polisacáridos para absorber el agua, ya que cuando hay sequía se sintetizarían más que cuando no la hay.

León-Martínez *et al.* (2010) en extracciones acuosas sin el uso de solventes, a temperaturas entre 86 y 80°C obtuvieron un rendimiento de 0,70 y 0,85%, respectivamente, con una concentración en sólidos solubles de 1-3 °Brix. Cai *et al.* (2008) señalan que el factor de mayor influencia en la extracción acuosa del mucílago es la temperatura de extracción, siendo 80°C la óptima, al estudiar un rango entre 70 y 90°C. Rendimientos menores de mucílago reportó Yahia *et al.* (2009) utilizando acetona (0,7%) como solvente de extracción.

TÉCNICAS DE SECADO DE MUCILAGO DE NOPAL

Con el fin de prolongar la vida útil del mucílago, León-Martínez *et al.* (2010) y León-Martínez *et al.* (2011) emplearon sistemas de secado mediante técnicas de liofilización (Freeze drying) y atomización (Spray dryer). La primera se considera una de las técnicas más avanzadas para secar productos de alto valor, ya que



COTNYL S.A.
COMPROMISO CON LA CALIDAD

EL ESPECIALISTA EN TERMOFORMADO



Conozca al distribuidor de su zona

0-800-555-0175

www.cotnyl.com

info@cotnyl.com

utiliza bajas temperaturas, el producto se considera mejor que el obtenido bajo técnicas convencionales, además la deshidratación casi completa minimiza las reacciones de deterioro como el oscurecimiento no enzimático, la desnaturalización de proteínas y las reacciones enzimáticas que causan la degradación química del producto (Oikonomopoulou *et al.*, 2011). El secado por atomización es el más usado en procesos comerciales y en la industria alimentaria. Su principal ventaja es su menor costo (30-50 veces) comparado con el método de secado por liofilización (Gharsallaoui *et al.*, 2007), permitiendo la obtención de un producto estable en polvo, de baja higroscopicidad, sin la necesidad de otros compuestos adicionales (León-Martínez, *et al.*, 2010).

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

En los últimos años, varios autores han estudiado algunos efectos fisiológicos que sugieren nuevos productos farmacéuticos en base a extractos de cladodios y también de las cáscaras de los frutos. Es el caso de los trabajos efectuados por Galati *et al.* (2001; 2002a) acerca del poder protector sobre la mucosa gástrica, mediante el cual se podrían prevenir las úlceras gástricas. Estudios realizados por Corrales-García *et al.* (2004) señalan que los nopalitos tienen una capacidad taponante que está relacionada con los estudios antes mencionados. Vázquez-Ramírez *et al.* (2006) señalan que el mucílago de nopal acelera la restauración de la mucosa gástrica en gastritis alcohólica provocada en ratas. En el mercado chileno hay algunos productos de extracto de mucílago recomendados como protector de mucosa gástrica (<http://www.xpolanco.cl/naturpep-c-jarabe/>). Los estudios acerca de este producto fueron llevados a cabo por Letelier (2002), que propuso un nuevo mecanismo de protección antioxidante contra la úlcera gástrica, lo que sugiere que el mucílago puede unirse a las membranas, probablemente las cadenas de oligosacáridos presentes en las glicoproteínas; esta unión protege las estructuras químicas de estos componentes.

En otro estudio reportado por Galati *et al.* (2002b) se señala que esta cactácea presenta actividad diurética, por lo que ayuda al control de peso e hipertensión. Asimismo, la actividad antiinflamatoria de un extracto de cladodios ha sido estudiada por Loro *et al.* (1999), Park y Chun (2001) y más recientemente por Panico *et al.* (2007). Estos últimos señalan que el extracto de nopal tiene un efecto protector en las alteraciones de cartílago mayor que el del ácido hialurónico, comúnmente empleado en tratamientos para lesiones de articulaciones. Por su parte Ahamd *et al.* (1996)

estudiaron las propiedades antivirales de un extracto de *Opuntia streptacantha*. Wiese *et al.* (2004) indican que un producto elaborado en Estados Unidos, calificado como un suplemento alimenticio y elaborado a base de un extracto deshidratado de la piel de frutos de *Opuntia ficus-indica*, en forma de gelatina, podría actuar moderando los efectos posteriores de la ingesta de alcohol.

Por su parte, Kim *et al.* (2006) sugieren que la administración preventiva de extracto metanólico de *Opuntia ficus-indica* ayuda a aliviar los daños neuronales excitotóxicos provocados por una isquemia global. Kwak (2002) en su estudio menciona que los flavonoides aislados de frutos del nopal tienen un efecto neuroprotector, por lo que pueden ser utilizados como tratamiento preventivo en los desórdenes oxidativos neuronales, como el Alzheimer. Asimismo, la actividad antioxidante para prevenir el estrés oxidativo ha sido reseñada por Lee *et al.* (2002). También se han evaluado los efectos del mucílago para el alivio de piel irritada. Se observó que la aplicación cutánea indujo la reparación del tejido lesionado, acelerando la fase de reepitelización (Trombetta *et al.*, 2006; Park y Chun, 2001).

Otro efecto encontrado es la protección hepática de extractos de nopal contra daños provocados por ingesta de insecticidas organofosforados (Ncibi *et al.*, 2008). Todos estos estudios indican la necesidad de profundizar en la utilización de mucílago de nopal en un área que es de especial interés para la sociedad, como es la medicina.

APLICACIONES NO ALIMENTARIAS

Fuera del campo de la alimentación y de la medicina, hay otros usos específicos del mucílago de nopal, entre ellos, purificador de agua y adhesivo para cal (Medina Torres *et al.*, 2000; Sáenz *et al.*, 2004). López (2000) comparó la capacidad clarificante del mucílago con otros agentes tradicionales, como el sulfato de aluminio [Al₂(SO₄)₃]. El autor informó que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* y de *O. stricta* var. *dillenii* tiene una conducta similar al sulfato de aluminio para clarificar agua, encontrando que dosis cercanas a 0,8 mL L⁻¹ aplicadas a un agua con turbidez media y alta daban buenos resultados. Algunos de los parámetros utilizados en la comparación para determinar el poder clarificante fueron turbidez y el índice de Willcombs, que refleja la calidad del proceso de coagulación-floculación. El mucílago también redujo la demanda química de oxígeno (DQO) y removió metales pesados (Fe, Al, Mn) y coliformes fecales. Después del tratamiento el agua no presentó ningún olor desagradable.

Por otra parte, Ramsey (1999) estudió el uso de goma o mucílago de cladodios de nopal para estabilizar bloques de adobe, comparándolo con la cal; los resultados obtenidos no fueron exitosos como se esperaba, probablemente debido a que la dosis empleada fue baja (10%). La metodología para preparar la goma de nopal como estabilizante de bloques de adobe consiste en limpiar y remojar en agua los cladodios (1-1 en peso); las mejores condiciones de remojo fueron los 18 días-20°C (82-92% H.R.) o entre 7 y 14 días a 20-25°C (77-88% H.R.). Del mismo modo, Cárdenas *et al* (1998) efectuaron ensayos preliminares acerca del uso del jugo de nopal en pastas de Ca(OH)₂, indicando que su incorporación vuelve más débil la textura de la cal. Por su parte, Torres-Acosta *et al*. (2004) afirman que la adición de mucílago de nopal a mezclas de cementos refuerza la durabilidad de estos materiales. Sin duda, todos estos resultados justifican continuar los estudios respecto a estas propiedades.

CONSIDERACIONES FINALES

Tal como se ha descrito, el biopolímero de nopal se puede considerar como un potencial ingrediente para la industria alimentaria y farmacéutica, con alcances también a otros ámbitos no alimentarios. Su estructura molecular de carbohidrato complejo con estructura lineal y gran capacidad de absorber agua le proporciona propiedades reológicas (otorga viscosidad), medicinales (protectores gástricos de extracto de mucílago) y nutricionales (alimentos prebióticos). Al ser parte de la fibra dietaria soluble, especialmente escasa en la dieta humana, su presencia puede cobrar mayor importancia. Las características físicas y químicas de estos biopolímeros dependen en gran medida del método de extracción, por lo que los estudios en este sentido se deberían continuar a fin de disponer de procesos aplicables a mayor escala.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al GRANT CONICYT - Programa de Cooperación Científica internacional CONICYT (Chile)-CONACYT (México), proyecto PPCI 12015 "Extracción de betalainas de *Opuntia* aplicando ultrasonido y estabilización por microencapsulación".

BIBLIOGRAFÍA

Abraján, M. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis Doctoral. Depto. Tecnol. Alim. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.

Abraján, M., Robert, P., Fabry, A.M., Sáenz, C. 2015. Extracción asistida mediante ultrasonido de betalainas y polifenoles de tuna purpura (*Opuntia ficus-indica*) y estabilización por microencapsulación. INNOVA-CIBIA 2015. Montevideo, Uruguay.

Ahamd, A., Davies, J., Randall, S., Skinner, G.R.B. 1996. Antiviral properties of extract of *Opuntia streptacantha*. *Antivir. Res.* 30:75-85.

Cárdenas, A., Goycoolea, F.M., Rinaudo M. 2008. On the gelling behaviour of nopal (*Opuntia ficus-indica*) low methoxyl pectin. *Carbohyd. Polym.* 73:212-222.

Cárdenas, A., Higuera-Ciajara, I., Goycoolea, F. 1997. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 2: 152-159.

Cai, W., Gu, X., Tang, J. 2008. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpaalta*. *Carbohyd. Polym.* 71(3):403-410.

Corrales-García, J., Peña-Valdivina, C.B., Razo-Martínez, Y., Sánchez-Hernández, M. 2004. Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia* spp.). *Postharv. Biol. Technol.* 32: 169-174.

Del Valle, V., Hernández, P., Guarda, A., Galotto M.J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus-indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem* 91(4): 751-756.

Espinosa, S. 2002. Estudio de algunas características físicas de hidrocoloides provenientes de semilla de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) y de cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). Tesis Magíster Cs. Agropecuarias. Fac. Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

Galati, E.M., Monforte, M.T., Tripodo, M.M., d'Aquino, A., Mondello, M.R. 2001a. Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae): ultrastructural study. *J. Ethnopharmacol.* 76 (1):1-9.

Galati, E.M., Pergolizzi, S., Miceli, N., Monforte, M.T., Tripodo, M.M. 2002a. Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Cladodes. J. Ethnopharmacol.* 83(3): 229-233.

Galati, E.M., Tripodo, M.M., Trovato, A., Miceli, N., Monforte, M.T. 2002b. Biological effect of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) waste matter. Note I: diuretic activity. *J. Ethnopharmacol.* 79: 17-21.

García-Cruz, E. E., Rodríguez-Ramírez, J., Méndez Lagunas, L. L. and Medina-Torres, L. 2013. Rheological and physical properties of spray-dried mucilage obtained from *Hylocereus undatus* cladodes. *Carbohyd. Polym.* 91(1): 394-402.

Garti, N. 1999. Hydrocolloids as emulsifying agents for oil-in-water emulsions. *J. Disp. Sci. Technol.* 20: 327-355.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilleau, A., Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.* 40(9): 1107-1121.

Kim, J.H., Park, S.M., Ha, H.J., Moon, C.J., Shin, T.K., Kim, J.M., Lee, N.H., Kim, H.C. Jang, K.J. y Wie, M.B. 2006. *Opuntia ficus-indica* attenuates neuronal injury in vitro and in vivo models of cerebral ischemia. *J. Ethnopharmacol.* 104(1-2):257-262.

Kwak, K.P. 2002. Neuroprotective effects of the flavonoids isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. P.5. Degenerative and neurological disorders. (P.5.022).

Lee, J.C., Kim, H.R., Kim, J., Jang, Y.S. 2002. Antioxidant property of an ethanol extract of the stem of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6490-6496.

León-Martínez, F. M., Rodríguez-Ramírez, J., Medina-Torres, L. L., Méndez Lagunas, L. L., Bernad-Bernad, M. J. 2011. Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohyd. Polym.* 84(1):439-445.

León-Martínez, F. M., Méndez-Lagunas L. L., Rodríguez-Ramírez, J. 2010. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohyd. Polym.* 81(4):864-870.

- Letelier, M.E. 2002. Estudios in vitro de los mecanismos antiulcerosos de *Opuntia* sp. Informe final. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- Loro, J. F., Del Río, L., Pérez-Santana, L. 1999. Preliminary studies of analgesic and anti-inflammatory properties of *Opuntia* diluennia aqueous extract. *J. Ethnopharmacol.*, 61: 213-218.
- López, E. 2000. Utilización de productos naturales en la clarificación de aguas para consumo humano. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Química. ISPJAE. Universidad de la Habana. Cuba.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente E., Torrestiana-Sánchez, B., Katthain, R. 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*). *Food Hydrocol.* 14:417-424.
- Medina-Torres, L., García-Cruz E. E., Calderas, F., González Laredo, R. F., Sánchez-Olivares, G., Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzmán, N.E., Rodríguez-Ramírez, J. 2013. Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*). *LWT - Food Sci. Technol.* 50(2):642-650.
- Ncibi, S., Othman, M.B., Agacha, A., Krifi, M.N., Zourgui, L. 2008. *Opuntia ficus-indica* extract against chlorpyrifos induced damage on mice liver. *Food Chem. Toxicol.* 46: 797-802.
- Nelson, A. 2001. High-fiber ingredients. Eagan Press Handbook Series. Eagan Press St. Paul, Minnesota.
- Oikonomopoulou, V. P., Krokida M. K., Karathanos, V. T. 2011. Structural properties of freeze-dried rice. *J. Food Eng.* 107:326-333.
- Otálora, M. C., Carriazo J. G., Iturriaga, L., Nazareno M. A., Osorio, C. 2015. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chem.* 187: 174-81.
- Panico, A.M., Cardile, V., Garufi, F., Puglia, C., Bonina, F., Ronisvalle, S. 2007. Effect of hyaluronic acid and polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the metabolism of human chondrocyte cultures. *J. Ethnopharmacol.* 111:315-321.
- Park, E.H. y Chun, M.J. 2001. Wound healing activity of *Opuntia ficus-indica*. *Fitoterapia* 72: 165-167.
- Ramsey, J. E. 1999. Evaluación del comportamiento del adobe estabilizado con cal y goma de tuna. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima, Perú.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales García, J., Galletti, L., García de Cortázar, V., Higuera, I., Mondragón, C., Rodríguez-Félix, A., Sepúlveda, E. Varnero, M.T. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 162. Roma.
- Sáenz, C. y Sepúlveda, E. 1993. Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Alimentos*, 18: 29-32.
- Sáenz, C., Escobar, B., Estévez, A. M., Hurtado, M.L., Sepúlveda, E. 2003. Estudios preliminares de propiedades funcionales de hidrocoloides extraídos de plantas de zonas áridas. IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA IV), Valparaíso, Chile.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E., Matsuhiro B. 2004. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environment*, 57:275-290.
- Sáenz, C., Tapia, S., Chavez, J., Robert, P. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chem.* 114:616-622.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Vallejos, M.I. 2004. Efecto del almacenamiento en las propiedades reológicas y sensoriales de néctar de damasco formulado con hidrocoloide de nopal (*Opuntia ficus-indica*). XIII Seminario Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Montevideo, Uruguay.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environm.* 68(4): 534-545.
- Torres Acosta A. A., Martínez M., Celis, C. 2004. Cement based mortar improvement from nopal and *Aloe vera* additions. 4° Foro de Investigación UDEM: Universidad de Monterrey, Monterrey, Nuevo León, México.
- Trombetta, D., Puglia, C., Perri, D., Licata, A., Pergolizzi, S., Lauriano, E.R., De Pssquale, A., Saija, A., Bonina, F.P. 2006. Effect of polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (L.) cladodes on the healing of dermal wounds in rat. *Phytomed.* 13: 352-358.
- Zamora R. 2011. "Elaboración de un alimento funcional a base de *Saccharomyces boulardii* e inulina", Memoria tesis de maestro. Facultad de Químico-farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Vázquez-Ramírez, R., Olguín-Martínez, M., Hernández-Muñoz, R. 2006. Reversing gastric mucosal alterations during ethanol-induced chronic gastritis in rats by oral administration of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *World J. Gastroenterol.* 12:4318-4324.
- Vergara, C., Saavedra, J., Sáenz, C., García, P., Robert, P. 2014. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. *Food Chem.* 157:246-251.
- Wiese, J., McPherson, S., Odden, M., Shlipak, M.G. 2004. Effect of *Opuntia ficus-indica* on symptoms of the alcohol hangover. *Arch. Inter. Med.* 164:1334-1340.
- Yahia, E. M., Ornelas J. de J., Anaya, A. 2009. Extraction and chemical characteristics of mucilage from mesquite, *Aloe vera*, maguey and prickly pear cactus cladodes (nopal) and evaluation of its prebiotic effect on the growth of 2 probiotic bacteria. *Acta Hort.* 841, 625-628.
- Zambrano, M. L., Hernández, A. D., Gallardo, Y. 1998. Caracterización fisicoquímica del nopal. p. 29-42. En: M. Lajolo y E. Wenzel de Menezes, eds. *Temas en Tecnología de alimentos*. Vol. 2. Fibra Dietética. F. CYTED. Dirección de Publicaciones y Materiales Educativos, Instituto Politécnico Nacional. México.